

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LOS LABORATORIOS
ESPECIALIZADOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

GLORIA SANDRA ESPINOSA NARVÁEZ

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
VICE-RECTORÍA DE POSTGRADOS Y RELACIONES INTERNACIONALES
POSTGRADO EN ECOLOGÍA CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL
SAN JUAN DE PASTO
2005**

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LOS LABORATORIOS
ESPECIALIZADOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

GLORIA SANDRA ESPINOSA NARVÁEZ

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista
en Ecología con Énfasis en Gestión Ambiental**

**Presidente
BERNARDO CALVACHE ORTIZ M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
VICE-RECTORÍA DE POSTGRADOS Y RELACIONES INTERNACIONALES
POSTGRADO EN ECOLOGÍA CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL
SAN JUAN DE PASTO
2005**

Nota de aceptación:

Firma del presidente

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, mayo de 2005

“Las ideas y conclusiones aportadas en el Trabajo de Grado son de responsabilidad de sus autores”

Artículo 10 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a las personas y dependencias que hicieron posible la realización de este trabajo

Sección de Laboratorios y Equipos, Universidad de Nariño. Por la financiación de los análisis de laboratorio.

Bernardo Calvache Ortiz, Ms Sc., asesor. Por su respaldo y orientación.

Lucila Riascos, Bióloga y Roberto Salazar, Profesor Titular, Universidad de Nariño, jurados. Por su valioso aporte para mejorar las propuestas.

Arsenio Hidalgo, Profesor, Universidad de Nariño. Por su asesoría en el análisis estadístico.

Piedad Rebolledo Muñoz, Técnico Laboratorio de Aguas y Análisis Químico, Universidad de Nariño. Por su orientación y asesoría.

Laboratoristas y personal de apoyo, Laboratorios Especializados, Universidad de Nariño. Por su apoyo y colaboración.

María Fernanda Insuasty, Ingeniera Civil. Por su apoyo técnico.

A cada una de las personas que colaboraron con este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. OBJETIVOS	20
4.1 OBJETIVO GENERAL	20
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
5. MARCO REFERENCIAL	21
5.1 POLÍTICAS NACIONALES E INTERNACIONALES DESTINADAS AL CONTROL DE RIESGOS POR USO DE QUÍMICOS	21
5.2 CONTROL DE VERTIMIENTOS	22
5.3 IMPORTANCIA MEDIOAMBIENTAL DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS	23
5.4 PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS POR USO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS	23
5.4.1 Reducción en la fuente	24
5.4.2 Reciclaje	24
5.4.3 Tratamiento en el punto de generación, el laboratorio	24
5.5 CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE VIABILIDAD DE OPCIONES DE REDUCCIÓN DE RESIDUOS QUÍMICOS	25
5.5.1 Evaluación Medio Ambiental	25
5.5.2 Evaluación Técnica	25
5.5.3 Criterios adicionales de evaluación	25
5.6 CONTAMINACIÓN HÍDRICA	25
5.7 CONTAMINACIÓN MEDIOAMBIENTAL Y LABORATORIOS QUÍMICOS	26

6. METODOLOGÍA	27
6.1 LOCALIZACIÓN	27
6.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	27
6.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS LÍQUIDOS	28
6.3.1 Diseño del muestreo	28
6.3.2 Análisis de Laboratorio	28
6.3.3 Determinación de caudales y temperatura de efluentes	28
6.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	30
6.5 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA RESIDUOS LÍQUIDOS GENERADOS EN LOS LABORATORIOS ESPECIALIZADOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO	30
6.6 TALLER EDUCACIÓN Y CONCIENCIACIÓN DE LA DISPOSICIÓN DE VERTIMIENTOS LÍQUIDOS EN LOS LABORATORIOS ESPECIALIZADOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO	30
7. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
7.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	31
7.1.1 Tipo de fluentes	31
7.1.2 Utilización del agua	33
7.1.3 Peligrosidad de los compuestos químicos utilizados en los análisis	35
7.1.4 Implementación de técnicas de microanálisis	36
7.1.5 Reutilización y/o recuperación de solventes	37
7.1.6 Clasificación para almacenar reactivos	37
7.1.7 Consulta de etiquetas y hojas de seguridad de los reactivos	37
7.1.8 Tratamiento de residuos líquidos previo vertimiento	37
7.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS LÍQUIDOS	38
7.2.1 pH	38
7.2.2 Acidez y Alcalinidad	40

7.2.3 Dureza	42
7.2.4 Sólidos	43
7.2.5 Turbidez y Sólidos Suspendidos	45
7.2.6 Conductividad y Sólidos Disueltos	46
7.2.7 Demanda Bioquímica – Demanda Química de Oxígeno	47
7.2.8 Nitrógeno, Fósforo y Sulfatos	49
7.2.9 Metales traza	51
7.3 CARGA CONTAMINANTE DE LOS VERTIMIENTOS LÍQUIDOS	52
7.4 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO	53
7.4.1 Política Ambiental	54
7.4.2 Planeación	54
7.4.3 Implementación y Operación	55
7.4.4 Verificación, Acciones preventivas y correctivas	55
7.4.5 Revisión por las Directivas	56
7.5 PROPUESTA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA GENERADA POR LOS LABORATORIOS ESPECIALIZADOS	56
7.5.1 Reducción en la fuente	57
7.5.1.1 Cambio de reactivos	57
7.5.1.2 Cambio de procedimientos y operación	57
7.5.1.3 Implementación de políticas de procedimientos	58
7.5.2 Recuperación y reutilización	58
7.5.3 Tratamiento en el punto de generación, el laboratorio	58
7.5.3.1 Segregación de los residuos	59
7.5.3.2 Contenedores	59
7.5.3.3 Tratamiento	60

7.5.4 Disposición de residuos	61
7.5.4.1 Vertido	61
7.5.4.2 Incineración	61
7.5.4.3 Encapsulación	61
7.5.4.4 Devolución al proveedor	61
8. CONCLUSIONES	63
9. RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	68

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Muestras analizadas y descarga de vertimientos en los Laboratorios Especializados	31
Tabla 2. Tipo efluentes por laboratorio	31
Tabla 3. Peligrosidad de los compuestos químicos utilizados en los análisis	36
Tabla 4. Análisis estadístico del pH	39
Tabla 5. Análisis estadístico de Acidez y Alcalinidad	40
Tabla 6. Análisis estadístico de Dureza, Calcio y Magnesio	42
Tabla 7. Análisis estadístico de Sólidos	44
Tabla 8. Análisis estadístico de Turbidez y Sólidos suspendidos	45
Tabla 9. Análisis estadístico de Conductividad y Sólidos disueltos	47
Tabla 10. Análisis estadístico de DBO ₅ y DQO	48
Tabla 11. Análisis estadístico de Nitrógeno, Fósforo y Sulfatos	50
Tabla 12. Análisis estadístico de Metales traza	51
Tabla 13. Carga contaminante de los vertimientos	53

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Laboratorios especializados	27
Figura 2. Sitios de muestreo	29
Figura 3. Tipo de efluentes por laboratorio	32
Figura 4. Tipo de efluentes total	32
Figura 5. Caudales máximos, mínimos y promedios diarios de utilización de agua	33
Figura 6. Utilización global de agua	34
Figura 7. Peligrosidad de los compuestos químicos utilizados en los análisis	37
Figura 8. pH de los vertimientos líquidos	39
Figura 9. Acidez de los vertimientos líquidos	41
Figura 10. Alcalinidad de los vertimientos líquidos	41
Figura 11. Relación Dureza-Ca-Mg ppm	43
Figura 12. Relación de Sólidos Totales-Disueltos-Suspendidos-Sedimentables	44
Figura 13. Relación Turbiedad-Sólidos Suspendidos	46
Figura 14. Relación Conductividad-Sólidos Disueltos	47
Figura 15. Relación DBO - DQO	49
Figura 16 Relación N - P - SO ₄ %	50
Figura 17. Concentración de metales traza	52
Figura 18. Zona de almacenamiento y desactivación de residuos químicos	60

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Formato para identificación de residuos líquidos generados en los laboratorios especializados	69
Anexo B. Caracterización fisicoquímica de los vertimientos de los laboratorios	71
Anexo C. Análisis estadístico de los parámetros y Normatividad	73
Anexo D. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov	74
Anexo E. Análisis de Varianza para regresión lineal múltiple y simple	75
Anexo F. Aplicación del diseño y utilización de procedimientos. Respuesta a Emergencia por Derrames	76
Anexo G. Clasificación de peligrosidad de sustancias químicas	79
Anexo H. Incompatibilidades Químicas	82
Anexo I. Eliminación de residuos de laboratorio (Merck)	86
Anexo J. Tratamiento de residuos de laboratorio (Panreac)	89
Anexo K. Disposición de residuos químicos (Gonzalo Lira, Buen Ambiente en química)	93
Anexo L. Tratamiento residuos de laboratorio (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, España)	94
Anexo M. Manejo y Disposición de Residuos Químicos (Margaret Ann Armour, Journal of Chemical Education)	97

RESUMEN

Este trabajo se desarrolló con el propósito de caracterizar los vertimientos líquidos de los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño, Torobajo, San Juan de Pasto, y presentar una propuesta para su tratamiento. Se realizaron 16 muestreos que permitieron caracterizar fisicoquímicamente los vertimientos líquidos, presentando valores promedio de pH de 2.1; acidez elevada, 9075.51 mg/L; alcalinidades bajas, de 1.82 mg/L, que no permiten neutralizar la acidez presente, sólidos disueltos de 13465.94 mg/L, turbidez de 2637.8 UNT; conductividades elevadas, con un valor medio de 5474.79 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En el periodo de estudio, de cuatro meses, se descargó un promedio de 330.9 L/mes de vertimientos, de los cuales el mayor aporte, 41.46%, fue de carácter salino, seguido por ácidos en un 34.81%, bases con un 15.84%, y en menor proporción, con un 7.90%, solventes orgánicos.

Como eje para la disminución de vertimientos líquidos, se deben evaluar e implementar procesos de minimización de residuos, reutilización y recuperación. Se propone una separación de las corrientes de residuos de acuerdo con características de afinidad química y una desactivación en el punto de generación.

SUMMARY

This work was developed with the purpose of characterizing the liquid wastes from Laboratorios Especializados of the Universidad de Nariño, Torobajo, San Juan de Pasto, and it presents a proposal for its treatment. It were carried out 16 samplings that allowed to characterize physico chemically the liquid wastes, presenting average values of acid pH, 2.1; high acidity, 9075.51 mg/L; low alkalinities, of 1.82 mg/L that don't allow to neutralize the acidity, dissolved solids of 13465.94 mg/L; turbidity of 2637.8 UNT; high conductivities, with a mean value of 5474.79 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

In the period of study, of four months, an average of 330.9 L/month liquid wastes was discharged, from which the biggest contribution, 41.46%, was of saline character, followed by acids with 34.81%, bases with 15.84%, and in less proportion, with 7.90%, organic solvents.

As axis for decreasing liquid wastes, it is necessary to evaluate and to implement processes of minimization of wastes, re-use and recovery. It is proposed a separation of the currents of wastes according with characteristic of chemical affinity and a deactivation in the generation point.

INTRODUCCIÓN

Los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño desarrollan una actividad continua de análisis de suelos, aguas y bromatología, servicio ofrecido tanto a la comunidad universitaria como a usuarios del sur occidente del país y del Ecuador. El proceso de análisis de las muestras implica la utilización de reactivos químicos y genera, entre otros, vertimientos líquidos que son descargados directamente al Río Pasto, sin ningún tratamiento previo que disminuya su efecto nocivo sobre el ecosistema.

Por lo anterior, se hace necesario, en el marco de la gestión ambiental, evaluar e implementar al interior de la Universidad medidas para el tratamiento de los vertimientos líquidos de los laboratorios especializados, que permitan mejorar el desempeño ambiental de la institución y prevenir posibles riesgos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Este proyecto presenta un diagnóstico del estado actual de los vertimientos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, en cuanto a tipo, volumen, peligrosidad, y una propuesta de alternativas para el manejo y la disposición de las aguas residuales generadas, que contribuirá a mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente, la salud y seguridad de las personas.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Hasta el momento, no se ha realizado una caracterización de los vertimientos líquidos de los laboratorios especializados de aguas, suelos y bromatología de la Universidad de Nariño, ubicados en el bloque de laboratorios especializados, ni se cuenta con un programa para su tratamiento previo a la descarga al Río Pasto.

3. JUSTIFICACIÓN

Las acciones y políticas dirigidas al control de riesgos químicos a nivel mundial, se han intensificado en los últimos años, con el propósito de proteger el medio ambiente y la vida en el planeta. Tomando como referentes los principios de la Declaración de Río sobre Salud, Ambiente y Desarrollo, y los principios constitucionales, entre otros, se ha desarrollado en el país el Perfil Nacional para una Gestión Racional de las Sustancias Químicas, para promover su manejo y disposición seguros.

En este contexto, es de primordial importancia para la Universidad implementar acciones encaminadas a la prevención y control de riesgos en los vertimientos líquidos, por el manejo de productos químicos en las actividades de análisis en los laboratorios y de esta forma contribuir con el desarrollo sostenible de la región, asegurando desde su interior, un manejo adecuado de los residuos y el mejoramiento de su desempeño ambiental.

La propuesta que se presenta, se centra en los laboratorios de aguas, suelos y bromatología, ubicados en el bloque de laboratorios especializados, los cuales por encontrarse en un bloque nuevo y moderno, deben ser una guía en prevención de la contaminación tanto al interior de la Universidad como a nivel de otras instituciones afines, para su posible implementación en otros laboratorios después de una evaluación detallada de las condiciones específicas de cada laboratorio.

La disposición responsable y segura de los vertimientos en la Universidad de Nariño, reducirá presentes y futuras amenazas sobre el medio ambiente y la vida en un ecosistema tan intervenido como es el Río Pasto.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un diagnóstico de los vertimientos de aguas residuales de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño y proponer alternativas para su manejo, contribuyendo a mejorar el desempeño ambiental de la institución.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ↻ Caracterizar los vertimientos líquidos de los procesos de análisis.
- ↻ Proponer un manejo adecuado de los vertimientos líquidos.
- ↻ Realizar un taller de educación y concientización sobre la disposición de los vertimientos líquidos de procesos.
- ↻ Proponer un sistema de gestión para los laboratorios especializados, que permita minimizar la generación de residuos peligrosos y mitigar su impacto medioambiental.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 POLÍTICAS NACIONALES E INTERNACIONALES DESTINADAS AL CONTROL DE RIESGOS POR USO DE QUÍMICOS

En el contexto internacional, las políticas y acciones destinadas al control de riesgos químicos se han venido intensificando en las últimas décadas, como resultado, entre otros, de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, Estocolmo, 1972, la cual estableció los principios de conducta que pueden garantizar un futuro sostenible y seguro.

De la conferencia de las Naciones Unidas en Estocolmo surge el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Pnuma, y asume la creación del Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos. Además, se compromete con la protección de la capa de ozono a través del Convenio de Viena y el Protocolo de Montreal. Así mismo, como resultado de las recomendaciones de la Conferencia de Estocolmo, la OMS desarrolló el Programa de Criterios de Salud Ambiental, que posteriormente creó el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas, del cual hacen parte la OMS, PNUMA y la OIT.

Al respecto, la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico, OCDE, desde hace más de veinte años, ha venido trabajando en seguridad química, en guías para la realización de ensayos y en buenas prácticas de laboratorio.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Cnumad, convocada en 1989, destacó como prioridad la gestión ambientalmente racional, la prevención del tráfico ilícito de desechos peligrosos y de productos químicos tóxicos.

En el año de 1992 se convocó de nuevo la Cnumad, en Río de Janeiro, de la cual surgió la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que contiene 27 principios sobre conductas de las naciones y pueblos para lograr un futuro sostenible y seguro, y la agenda de trabajo Agenda 21¹.

De acuerdo al área E de la Agenda 21 “Fortalecimiento de la capacidad y los medios nacionales para la gestión ecológicamente racional de los productos químicos”, se propuso que los países debían elaborar perfiles nacionales para conocer los recursos humanos y tecnológicos con que cuentan para la gestión de sustancias químicas.

En el mismo esquema, la OIT promueve la seguridad química y ha impulsado programas relacionados con la seguridad en la utilización de sustancias químicas².

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Perfil nacional para una gestión racional de las sustancias químicas. Santafé de Bogotá: Estrategias Educativas, 1998. p.1-2

² OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO (Ginebra). Seguridad en la utilización de productos químicos en el trabajo. Santafé de Bogotá: Quebecor Impreandes, 2000. p. 1

Colombia ha sido uno de los países pioneros en América Latina en cuanto a normatividad ambiental, reflejado en la expedición del Código Nacional de los Recursos Naturales en 1974 y el Código Sanitario Nacional en 1979. En el marco jurídico e institucional de la Constitución de 1991, se incorpora la dimensión ambiental y el derecho a disfrutar de un ambiente sano.

La gestión de sustancias químicas en el país es regulada por diferentes ministerios dependiendo de sus funciones, entre ellos se encuentra el Ministerio de Medio Ambiente, de Salud y Seguridad Social.

El Perfil Nacional para una Gestión Racional de las Sustancias Químicas³, desarrollado en 1998 por los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, Medio Ambiente, Salud y Trabajo, con el apoyo del Instituto de las Naciones Unidas para la Capacitación y la Investigación Unitar, permite establecer prioridades para el control, reglamentación, uso y disposición racional de las sustancias químicas en los diferentes sectores comprometidos.

5.2 CONTROL DE VERTIMIENTOS

En la legislación nacional se establece una serie de reglamentaciones para el control de vertimientos. El Decreto 2811 de 1974 del Inderena, hoy bajo responsabilidad del Ministerio del Medio Ambiente, que contempla el Código de los Recursos Renovables, tiene como objetivo establecer normas para la preservación y protección de los recursos naturales renovables. El decreto 1594 de 1984, reglamenta el control de vertimientos a las aguas, y señala, en el artículo 84, que los residuos líquidos provenientes de laboratorios, deben ser sometidos a tratamiento especial. De igual modo, la Ley 30 de 1990 del Ministerio de Agricultura, Estatuto General de Pesca, prohíbe arrojar al agua cualquier tipo de contaminantes⁴.

A nivel regional, las Corporaciones autónomas son las encargadas de velar por el cumplimiento de la legislación ambiental, y por el desarrollo de políticas, planes, programas, y proyectos sobre el medio ambiente y recursos naturales renovables, de conformidad con las disposiciones del Ministerio del Medio Ambiente.

Es necesario resaltar, de acuerdo con Phifer⁵, que los laboratorios deben cumplir con la normatividad para el control y prevención de la contaminación que se establecen para la industria, la cual utiliza una escala mucho mayor de productos químicos.

Sin embargo, de acuerdo con el mismo autor, los laboratorios representan menos del 0.1% de las descargas contaminantes al aire y agua, por lo que las presiones reglamentarias rara vez se dirigen a ellos. Aunque el volumen total que puede estar

³ COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Op. cit., p. 2-3, 32

⁴ Ibid., p. 34-35

⁵ PHIFER, Russell. La prevención de la contaminación en las operaciones de laboratorio. En: FREEMAN, Harry. Manual de Prevención de la Contaminación Industrial. México: McGraw-Hill, 1998. p. 518

presente como descarga del laboratorio probablemente no se detecte, puede exceder los límites de descarga debido a la concentración.

5.3 IMPORTANCIA MEDIOAMBIENTAL DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS

El principal problema con el uso de sustancias químicas radica en la forma inadecuada de uso y de evacuación o disposición final de residuos, que si no se hace de una forma técnica adecuada, puede llegar a causar graves impactos en magnitud e importancia sobre el medio ambiente y la salud del hombre.

De acuerdo con el Perfil Nacional para una Gestión Racional de las Sustancias Químicas⁶ "se requieren esfuerzos integrados por parte de los diferentes sectores sociales y organizacionales para hacer que el desarrollo socioeconómico sea sostenible y humanitario, asegurando una base ambiental sólida para la salud."

En este sentido, el proyecto Fondef D97F 1066 de la Universidad de Concepción, Chile⁷, contempla la importancia de una disposición de los residuos químicos de una forma segura, eficiente, legal y de costo adecuado.

5.4 PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS POR USO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

De acuerdo con el Programa de Manejo de Residuos⁸, el manejo seguro de residuos químicos empieza con la compra de los reactivos y materiales necesarios para un análisis determinado y termina con el destino final que se da a los residuos generados, por lo tanto, y según lo señalado por Phifer⁹, el costo real de un químico será el precio de compra más el costo por la disposición final del mismo.

Es importante llevar un control de los inventarios para que las compras se reduzcan al mínimo y evitar que los químicos envejezcan en los depósitos y se conviertan en sustancias peligrosas para evacuación.

Un programa básico de manejo de residuos químicos se fundamenta en la minimización de los mismos, reciclaje y el tratamiento de los residuos generados. Se debe efectuar una separación de las distintas corrientes de residuos, lo que simplifica las decisiones, facilita el tratamiento y posibilita el reciclado si es viable.

⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Op. cit., p. 1

⁷ UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN. Proyecto Fondef D97F 1066. Reglamento de manejo de residuos peligrosos. [En línea]. Chile: Universidad de Concepción. Diciembre 1998. [Consulta: 10 enero 2004]. Disponibilidad URL: <http://www.udec.ch/sqrt/reglamento/regresiduos.html>

⁸ PROGRAMA DE MANEJO DE RESIDUOS. [En línea]. Buenos Aires. [Consulta: 20 noviembre 2003]. Disponibilidad URL: <http://www-atmo.at.fcen.uba.ar/habitat/Info/Residuos.html>

⁹ PHIFER, Op. cit., p. 514

En ocasiones es posible efectuar la neutralización, la destilación, u otros tratamientos físico-químicos sobre el residuo, en el mismo laboratorio en que son generados, éstos deben ser considerados dentro del plan interno de residuos de cada laboratorio. Los residuos deben ser dispuestos de forma que no afecten a las personas, ni al medio ambiente, para lo cual el personal del laboratorio debe conocer y usar métodos adecuados para desechar los distintos tipos de residuos que generan y asumir su responsabilidad por la realización de las prácticas en forma adecuada.

De acuerdo con el Proyecto Fondef D97F 1066¹⁰ de la Universidad de Concepción, Chile, se presentan a continuación algunas formas de prevención y mitigación de impactos por el uso de sustancias químicas en los laboratorios.

5.4.1 Reducción en la fuente. Implica la reducción o eliminación de un residuo químico peligroso en un proceso. Se puede lograr a través de:

🔍 **Cambio de reactivos.** Sustitución por otros menos tóxicos o seguros a nivel medioambiental.

🔍 **Cambios de procedimientos y operación.** Contempla aspectos como el entrenamiento de los usuarios, control de inventarios, motivar la iniciativa de los usuarios para aumentar la conciencia de la necesidad de minimización de residuos, reducir el número de fugas y derrames, disminuir la escala de volúmenes de químicos usados en el laboratorio.

🔍 **Implementación de políticas de procedimientos.** Se deben establecer procedimientos para ayudar al control de la generación de residuos, tales como: Adquirir material no tóxico o el menos tóxico para el uso, Uso de productos compatibles, Comprar sólo lo necesario, Tratar de adquirir materiales en contenedores del tamaño y la cantidad necesitada, Promover el uso en conjunto de los químicos o el intercambio de los mismos entre usuarios comunes, Evitar comprar químicos con una limitada vida segura, Mantener un inventario dinámico para los materiales en stock.

5.4.2 Reciclaje. Incluye tanto la reutilización, como la recuperación. El reciclaje es cualquier actividad que reduce el volumen de residuos peligrosos y/o tóxicos con la generación de un material valioso o una corriente de energía. La reutilización, recuperación, y reciclaje deben ser las primeras consideraciones antes de clasificar un químico como un desecho.

5.4.3 Tratamiento en el punto de generación, el laboratorio. El tratamiento en el laboratorio reduce o elimina las características que hacen de un residuo químico, un residuo peligroso. El residuo químico peligroso debe ser manejado, etiquetado, y almacenado de forma segura. Se deben separar residuos químicos peligrosos en contenedores según los tipos de materiales, por ejemplo, ácidos, inflamables, o bases. La segregación se requiere porque algunos residuos químicos peligrosos pueden ser altamente reactivos si se mezclan con un residuo peligroso incompatible. También,

¹⁰ UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, Op. cit.

mezclas impropias pueden ser no reciclables, o pueden requerir análisis y procedimientos de disposición costosos.

El tratamiento es la reducción o eliminación de la toxicidad de un residuo químico peligroso por:

④ **Alteración de los constituyentes tóxicos del residuo a formas menos tóxicas o no tóxicas.** Un cambio en el número de oxidación de un metal lo puede hacer menos tóxico.

④ **Disminución de la concentración de constituyentes tóxicos en el residuo.** Empleando métodos distintos a la dilución. Los pasos de tratamiento están incluidos como parte del procedimiento de laboratorio, por ejemplo en el mismo laboratorio donde y cuando los subproductos son generados, previniendo la inclusión de subproductos en la corriente de residuos.

5.5 CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE VIABILIDAD DE OPCIONES DE REDUCCIÓN DE RESIDUOS QUÍMICOS

El Proyecto Fondef de la Universidad de Concepción¹¹ contempla que las opciones propuestas deberían ser evaluadas de acuerdo a los siguientes criterios:

5.5.1 Evaluación Medio Ambiental. Determina si una opción propuesta generará un residuo que será menos o más ambientalmente perjudicial que el residuo originalmente generado.

5.5.2 Evaluación Técnica. La evaluación técnica determina si una opción propuesta de minimización de residuos químicos será viable en una aplicación específica. Todas las opciones deberían ser revisadas por los grupos afectados para asegurar la viabilidad y acogida de una opción.

5.5.3 Criterios adicionales de evaluación. Consideraciones como la frecuencia y cantidad de residuos químicos generados, propiedades peligrosas de los residuos químicos, regulaciones, y necesidades económicas deben ser evaluadas cuando se seleccione una opción para la minimización de residuos químicos.

5.6 CONTAMINACIÓN HÍDRICA

Según Doménech¹², el agua de los ríos es un vehículo para el transporte de residuos generados por la actividad del hombre, y aunque posee mecanismos de auto depuración, si se sobrepasan ciertos límites se pueden originar problemas severos. Algunos de los contaminantes que se pueden encontrar en las aguas superficiales son: Contaminantes inorgánicos a baja concentración, Nutrientes en exceso, Contaminantes que alteran el pH y la salinidad, Contaminantes de residuos urbanos.

¹¹ UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, Ibid.

¹² DOMÉNECH, Xavier. Química Ambiental. El impacto Ambiental de los Residuos. 3 ed. Madrid: Miragrano Ediciones, 1993. p. 61

Osantowski¹³, señala que ante el peligro potencial de generación y descarga de aguas residuales, es indispensable enfatizar en la reducción en la fuente, reutilización, reciclado y capacitación del personal directamente involucrado en la generación de contaminantes hídricos.

5.7 CONTAMINACIÓN MEDIOAMBIENTAL Y LABORATORIOS QUÍMICOS

La industria química ha sido pionera a nivel mundial en adoptar códigos de conducta voluntarios para promover buenas prácticas de manejo de productos químicos peligrosos, a través de programas de Responsabilidad Integral. La preocupación creciente por un desarrollo sostenible aunado a las exigencias de la normatividad legal, han propiciado que los laboratorios químicos empiecen a adoptar medidas para incorporar la dimensión ambiental en sus procesos de análisis.

Es así como los laboratorios químicos, y especialmente los de las instituciones educativas, han realizado programas de gestión integral en sus actividades, encaminados a prevenir la contaminación por el uso y disposición de químicos. En países como España, Argentina y Chile se han logrado grandes avances en el desarrollo de manuales de seguridad para los laboratorios y en gestión integral de residuos; el año anterior la Universidad Politécnica de Valencia fue la primera en su país en obtener el certificado de calidad en gestión ambiental Iso 14000. En Colombia también se cuenta con trabajos realizados por universidades como la del Valle, Antioquia, Javeriana y del Quindío, entre otras.

¹³ OSANTOWSKI, Richard. Prevención genérica de la contaminación. En: FREEMAN, Harry. Manual de Prevención de la Contaminación Industrial. México: McGraw-Hill, 1998. p. 592

6. METODOLOGÍA

6.1 LOCALIZACIÓN

Este trabajo se realizó en los Laboratorios de Aguas, Suelos y Bromatología, bloque de Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño, sede Torobajo, noroeste de la ciudad de San Juan de Pasto, los cuales ocupan un área de 725 m², ver figura 1.

Figura 1. Laboratorios Especializados



6.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se elaboró un formato (ver Anexo A) que se aplicó en los laboratorios especializados (suelos, aguas – análisis químico y bromatología), en éste se recopiló información sobre tipo de muestras analizadas, cantidad de muestras mes, caudal de agua utilizado en procesos de destilación, refrigeración, lavado de vidriería; generación de descargas con temperaturas superiores a temperatura ambiente, reactivos utilizados. También se incluyó el flujo de agua utilizado en los procesos y una tabla para identificar el carácter ácido, básico o neutro de los productos de reacción evacuados como efluentes líquidos en los procesos de análisis.

Además, para determinar el nivel de gestión de los vertimientos líquidos, se cuestionó sobre la implementación de técnicas de microanálisis, la reutilización y/o recuperación de solventes, la clasificación utilizada para almacenar reactivos; la consulta de etiquetas y hojas de seguridad de los reactivos utilizados y la realización de algún tratamiento previo a su vertimiento.

Para identificar la sensibilización de los analistas frente a los vertimientos, se preguntó si se consideraba que los procesos realizados ocasionaban algún tipo de contaminación y si se estaría en disposición de implementar procedimientos que contribuyan a mejorar el desempeño ambiental de los laboratorios especializados.

6.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

6.3.1 Diseño del muestreo. Se tuvo en cuenta las normas establecidas en los métodos estándar de la APHA (1992), y las recomendaciones hechas por Piedad Rebolledo, Técnico Laboratorio de Aguas, Universidad de Nariño.

☉ **Sitio de muestreo.** Por la imposibilidad de realizar el muestreo en la caja de desagüe del bloque de laboratorios especializados, ya que allí confluyen aguas lluvias, sanitarias y las provenientes de las pocetas de los laboratorios, fue necesario realizar los muestreos en cuatro puntos que corresponden a las pocetas por las que se evacuan los vertimientos líquidos de los laboratorios de aguas, suelos y bromatología (ver figura 2).

☉ **Tipo de muestra.** Se tomaron muestras compuestas, tomando alícuotas de los vertimientos líquidos cada media hora, las cuales se mezclaron en un recipiente plástico de 20 L de capacidad. Al finalizar el muestreo, se agitó la muestra con una varilla de vidrio y se tomó una muestra representativa de 2.5 L, en recipiente de plástico, para el análisis de laboratorio.

☉ **Tiempo de duración del muestreo.** Comprendió las horas de la jornada laboral, en las cuales se evacuaban los residuos de laboratorio, con el fin de obtener una muestra representativa. Durante los primeros ocho muestreos fue de siete horas diarias y los ocho últimos de cinco, por haber solo un funcionario que realizaba esta labor de media jornada en los laboratorios especializados.

☉ **Fecha de muestreo.** Los muestreos se realizaron semanalmente, en un periodo comprendido entre el 28 de abril y el 11 de septiembre de 2003, sin incluir el mes de julio, por ser época de receso académico.

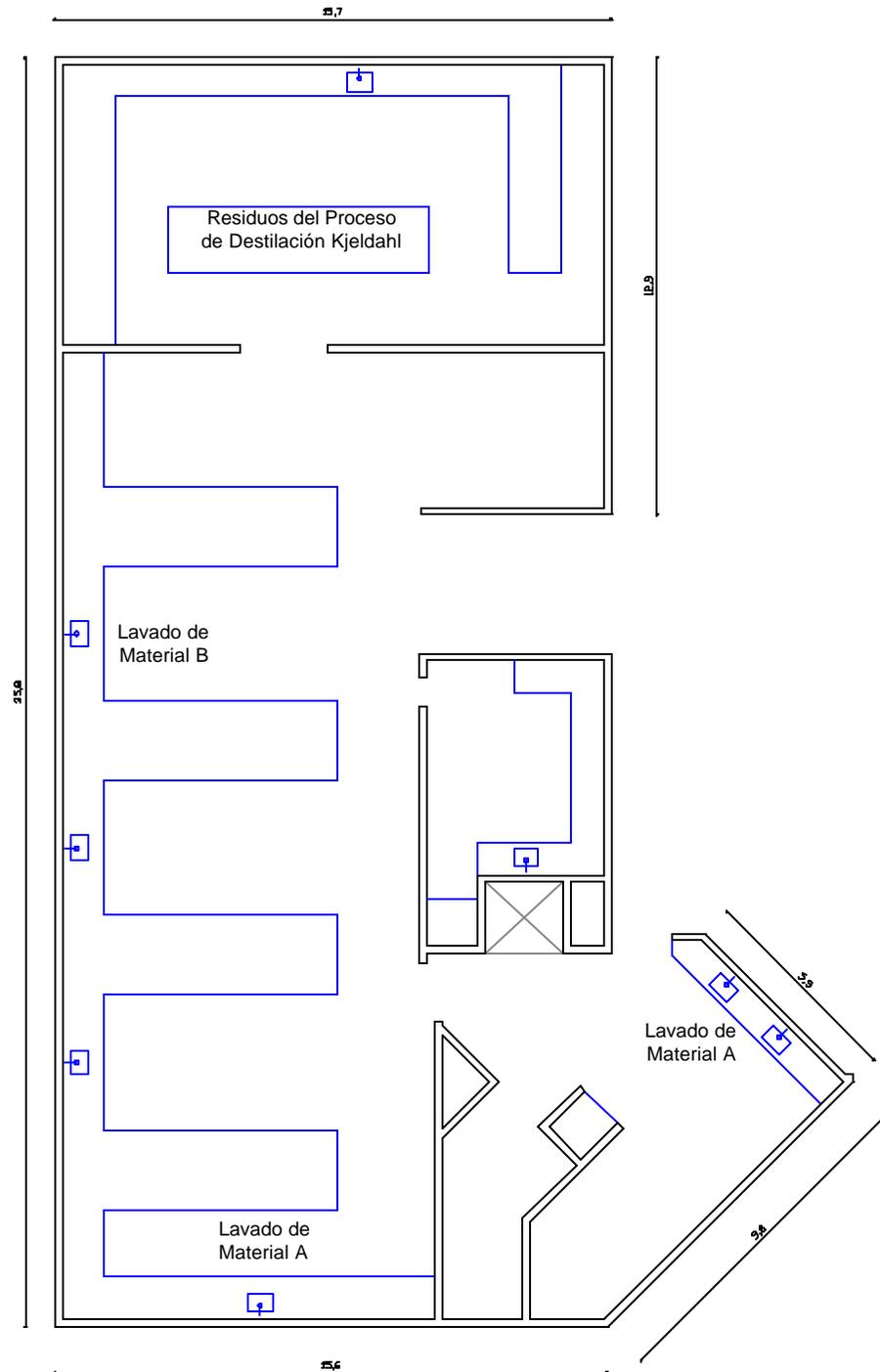
☉ **Número de muestras.** Una muestra semanal, para un total de diez y seis muestras. Los días de muestreo se alternaron semanalmente, con el fin de obtener una muestra que reflejara la actividad de los laboratorios en el transcurso de la semana.

6.3.2 Análisis de Laboratorio. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Aguas de la Universidad de Nariño; se evaluaron los siguientes parámetros: DBO₅, DQO, pH, conductividad, turbidez, acidez, alcalinidad, dureza, sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, metales (cobre, hierro, zinc, cromo, manganeso), calcio, fósforo, magnesio, sulfatos, nitrógeno total; siguiendo metodologías estandarizadas en el Laboratorio de Aguas de la Universidad de Nariño, a partir de los manuales de la Apha y Acodal.

6.3.3 Determinación de Caudales y Temperatura de Efluentes. Para estimar la utilización del agua en los laboratorios, se realizó la determinación de caudales usados en lavado de vidriería, destilación y refrigeración, empleando el método volumétrico, que consistió en medir el tiempo necesario para llenar un volumen de dos litros. Para

determinar la temperatura del agua de salida en los procesos de destilación y refrigeración, se utilizó un termómetro escala 0-100 °C.

Figura 2. Sitios de muestreo



6.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de los vertimientos líquidos se evaluaron con estadística descriptiva e inferencial, utilizando el programa Excel y Statgraphics 5.0. Se determinaron medidas de tendencia central y de variabilidad, así como la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov para determinar si los datos presentaban una distribución normal. Se calcularon intervalos de confianza para los parámetros evaluados. Para evaluar la significancia en la asociación de los parámetros turbiedad - sólidos suspendidos, conductividad - sólidos disueltos, DBO₅ – DQO, dureza – calcio - magnesio, sólidos totales – disueltos – suspendidos – sedimentables, se realizó análisis de regresión simple y múltiple.

Se plantearon las siguientes hipótesis:

H₀: La muestra proviene de una población normalmente distribuida

H₁: La muestra proviene de una población que no tiene una distribución normal

6.5 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA RESIDUOS LÍQUIDOS GENERADOS EN LOS LABORATORIOS ESPECIALIZADOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño generan una cantidad de vertimientos líquidos cada mes, esto representa un problema potencialmente serio y complejo de contaminación hídrica si no se maneja correctamente. Con base en los resultados obtenidos en la caracterización de los vertimientos de los laboratorios, se realizó una propuesta para un sistema de gestión de vertimientos líquidos generados en estos laboratorios.

6.6 TALLER DE EDUCACIÓN Y CONCIENTIZACIÓN SOBRE LA DISPOSICIÓN DE VERTIMIENTOS LÍQUIDOS DE PROCESOS EN LOS LABORATORIOS ESPECIALIZADOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO

El primer paso para un manejo adecuado de los vertimientos líquidos es la concientización sobre la importancia y la responsabilidad individual de los generadores. Se realizó un taller, dirigido a los laboratoristas y personal encargado de lavado de vidriería, para crear conciencia sobre la disposición de residuos químicos líquidos en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

7. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

A continuación se presenta la información obtenida con la aplicación de los formatos a los laboratoristas.

7.1.1 Tipo de efluentes. En el periodo de muestreo en los laboratorios de suelos, bromatología y aguas - análisis químico, se analizaron en promedio 160, 60 y 48 muestras mensuales respectivamente. Como resultado de los procesos de análisis de muestras, se descargó un promedio de 330.9 L/mes de vertimientos, de los cuales 153.6L provenían del laboratorio de aguas, 115.2L de suelos y 62.1L de bromatología (Tabla 1).

Tabla 1. Muestras analizadas y descarga de vertimientos en los Laboratorios Especializados

Laboratorio	Tipo muestras analizadas	Muestras/mes	Vertimientos L/mes
Suelos	Suelos uso agrícola	160	115.2
Bromatología	Concentrados, materias primas, sales mineralizadas, productos cárnicos, tejidos vegetales	60	62.1
Aguas-análisis químico	Aguas, leches, residuos sólidos, alimentos	48	153.6
Total		268	330.9

Los vertimientos mencionados en la Tabla 1, contienen residuos de evacuación de los procesos de análisis e incluyen productos de reacción de carácter ácido, básico, sales y solventes orgánicos, ver Figura 3 y Tabla 2.

Tabla 2. Tipo efluentes por laboratorio

Laboratorio	Tipo efluente L/mes				Total
	ácidos	bases	sales	solv org	
suelos	49,6	8	41.6	16	115,2
aguas químico	29,28	28,8	91.68	3.84	153,6
bromatología	36,3	15,6	3.9	6.3	62,1
Total	115,18	52,4	137.18	26.14	330,9

Figura 3. Tipo de efluentes por laboratorio

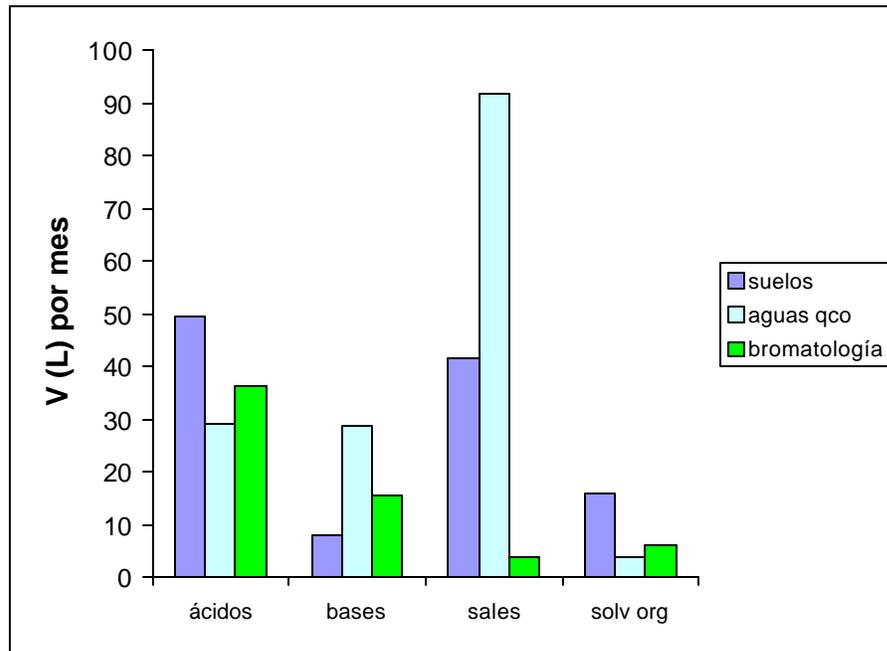
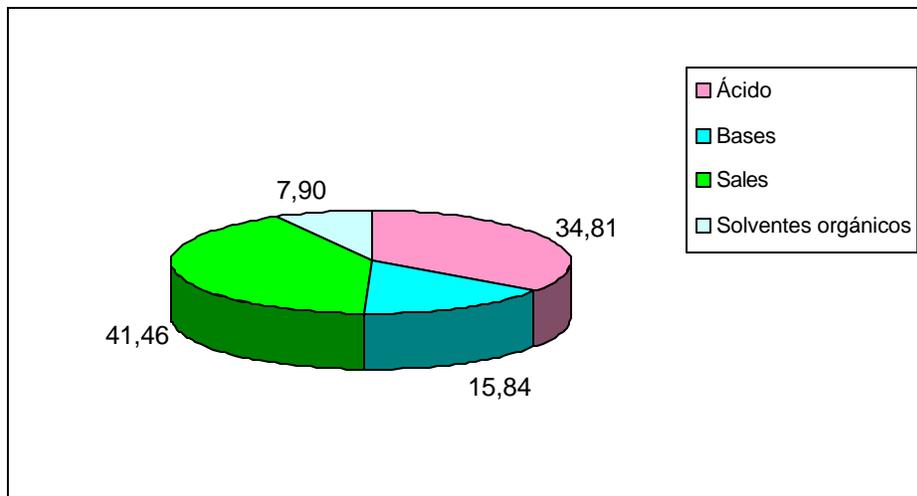


Figura 4. Tipo de efluentes total



El mayor volumen de residuos líquidos evacuados corresponde a vertimientos de carácter salino (Figura 4), con un total de 137.18 L/mes (41.46%), seguido por residuos líquidos ácidos, con 115.18 L/mes (34.81%), siendo el laboratorio de suelos el que más contribuye a este valor, con 49.6, seguido por bromatología con 36.3 y aguas-químico con 29.28 L/mes. El volumen de bases fue de 52.4 L, con un aporte del 15.84%. Los solventes orgánicos fueron los vertimientos descargados en menor proporción (Figura 4) con 26.14

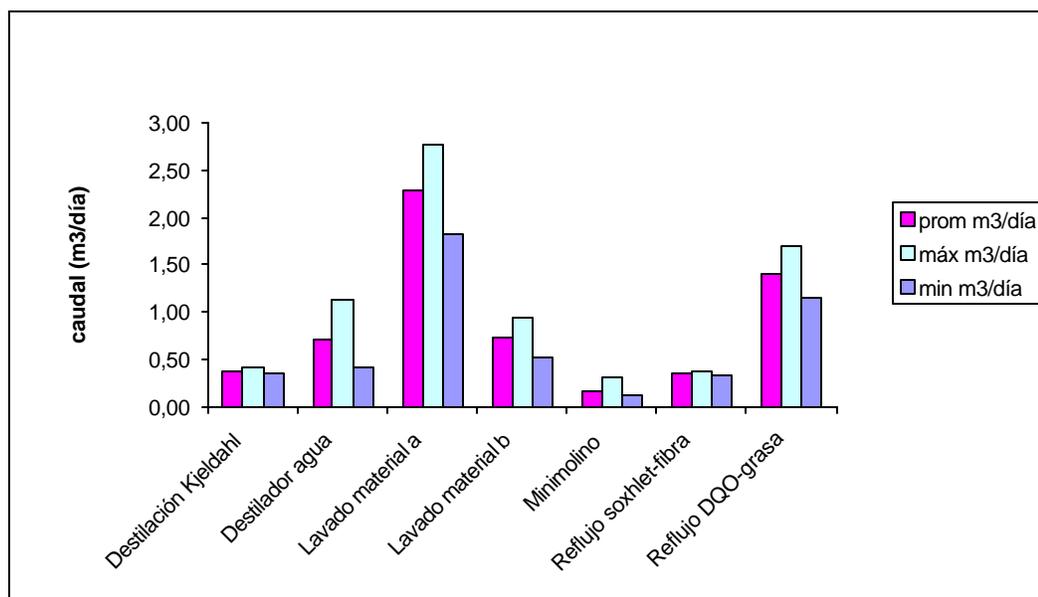
L/mes (7.90%), los cuales incluyen básicamente etanol, acetona, cloroformo, metanol y mezclas de etanol - éter de petróleo.

Con el propósito de implementar un tratamiento de los vertimientos líquidos generados, se propone separar los efluentes de acuerdo a su composición, en contenedores especiales, los cuales podrán ser almacenados por un periodo corto para su tratamiento posterior y evacuación.

7.1.2 Utilización del agua. En los laboratorios, el agua se utiliza en los procesos de destilación, refrigeración y lavado de material, pudiéndose diferenciar en siete componentes: destilación Kjeldahl, destilación de agua, refrigeración del mini molino, refrigeración soxhlet-fibra, refrigeración DQO-soxhlet, lavado de material "a" (suelos y aguas-químico) y lavado de material "b" (bromatología).

El consumo más elevado se presentó en lavado de material "a" (suelos y aguas-químico), con un promedio de 2.27 m³/día, fluctuando en un rango de 2.77 - 1.81 m³/día (Figura 5). En éste proceso, el agua incorpora detergentes y productos de reacción de los análisis, produciéndose una disminución en la concentración de estos últimos, pero así mismo, un aumento en el volumen de efluente contaminado.

Figura 5. Caudales máximos, mínimos y promedios diarios de utilización de agua

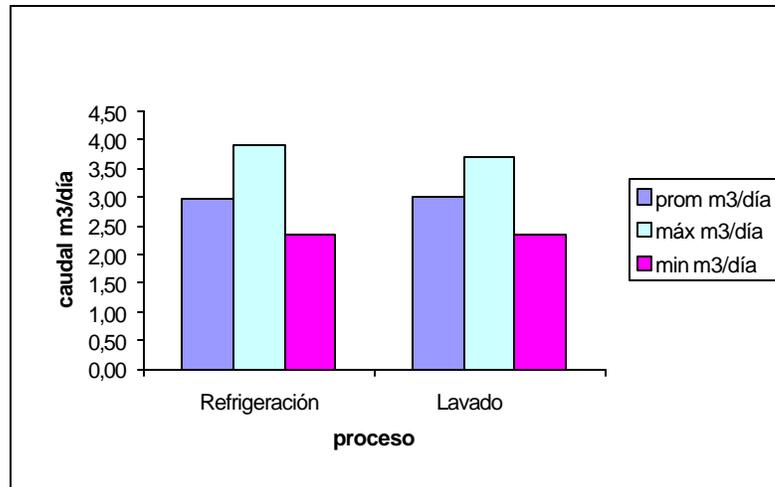


El consumo más bajo se obtuvo en la refrigeración del mini molino, con un valor promedio de 0.16 m³/día, máximo de 0.32 m³/día y mínimo de 0.11 m³/día.

Ya que la destilación y refrigeración utilizan agua para enfriamiento en los procesos de destilación Kjeldahl, destilación de agua, refrigeración mini molino, refrigeración soxhlet-fibra, refrigeración DQO-soxhlet, se agruparon estos procesos para compararlos con el consumo total de agua de lavado de material "a" y "b" (Figura 6); obteniéndose un

consumo equivalente en ambos casos, siendo el consumo de agua para los procesos de refrigeración en promedio de 2.99 m³/día, con un caudal máximo utilizado de 3.91 y mínimo de 2.34 m³/día ; el lavado de material representa un consumo global de 3.01 m³/día en promedio, fluctuando entre 3.71 y 2.33 m³/día. Todas las aguas de refrigeración, con excepción de la destilación Kjeldahl, con 0.38 m³/día en promedio, podrían recircularse.

Figura 6. Utilización global de agua



Los valores obtenidos coinciden con lo expresado por Fair¹⁴, quien señala que las aguas efluentes de enfriamiento constituyen los mayores volúmenes de aguas residuales industriales, pero su efecto contaminante es ligero, ya que se encuentran contaminadas principalmente por calor, que se puede disminuir por dilución o por enfriamiento evaporativo. Es así como el agua de enfriamiento del proceso de destilación de agua se evacua con una temperatura promedio de 36 °C, variando en un rango entre 51 °C y 17°C. Aunque el promedio de temperatura es elevado para la vida acuática del Río Pasto, no ocasiona contaminación térmica, debido a la difusión de la temperatura a lo largo de la tubería y a la dilución térmica al mezclarse con las demás corrientes de agua.

El mismo autor menciona que las aguas de enjuague constituyen el segundo volumen en importancia, aunque generalmente se diluyen, pueden causar problemas por su gran volumen y elevado contenido de sustancias contaminantes. Como se mencionó anteriormente, las aguas residuales de los análisis, que se evacuan en el lavado, contienen una amplia gama de productos de reacción, que deben ser tratados adecuadamente previa su disposición final; entre éstos se puede mencionar complejos coloreados, sulfatos, acetatos, cloruros, soluciones ácidas inorgánicas, soluciones básicas.

¹⁴ FAIR, Gordon Maskew, GEYER, John Charles y OKUN, Daniel Alexander. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales: Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Vol II. México: Editorial Limusa, 1997. p. 686.

Para determinar el caudal máximo diario evacuado en los laboratorios especializados, se tuvo en cuenta que todos los procesos estuvieran funcionando, esto es, el destilador Kjeldahl, destilador de agua, lavado de material a y b, y los procesos de refrigeración del mini molino, soxhlet-fibra y DQO-grasa (Figura 5), incluyendo el tiempo diario máximo de funcionamiento de los mismos. Se calculó un caudal diario evacuado de 5.99 m³/día, fluctuando en un rango comprendido entre 7.61 y 4.68 m³/día.

De igual modo, se determinó el caudal mínimo diario evacuado, teniendo en cuenta que el destilador de agua casi siempre está en funcionamiento, el cual requiere en promedio 0.70 m³/día, con un rango comprendido entre 1.13 y 0.42 m³/día.

Es importante mencionar que como en el momento no hay separación de corrientes de lavado y refrigeración, se hace necesario el tratamiento de los vertimientos en el punto de generación, para evitar un incremento de los caudales a ser tratados.

7.1.3 Peligrosidad de los compuestos químicos utilizados en los análisis. De acuerdo con Cortinas de Nava¹⁵, la peligrosidad de las sustancias químicas es inherente a ellas y esta definida por sus características tóxicas, corrosivas, inflamables y explosivas, entre otras. Considerando que el riesgo para el medio ambiente y la salud de las personas depende de la cantidad, frecuencia y tiempo de exposición a los compuestos químicos, éste puede ser prevenido con un manejo y disposición seguros.

En los laboratorios especializados se manejan en los análisis de rutina, alrededor de 80 compuestos químicos (ver tabla 3 y figura 7), de los cuales el 4.81% no presentan peligrosidad conocida hasta el momento, sin que esto descarte futuros cambios en la inclusión en la clasificación de peligrosidad por parte del RTECS Registro de Efectos Tóxicos de Sustancias Químicas.

El 31.73% de los compuestos químicos utilizados son nocivos, es decir, pueden afectar la salud de las personas por inhalación, ingestión o penetración cutánea; el 20.19% puede provocar efectos agudos, graves o crónicos a través de las mismas vías, el 11.54% pueden causar algún tipo de irritación en la piel o mucosas y el 1.92% pueden producir cáncer o aumentar su frecuencia de aparición.

Así mismo, el 12.50% de los compuestos empleados pueden presentar un peligro inmediato o a largo plazo para el medio ambiente.

En relación con sus propiedades fisicoquímicas, el 8.65% son corrosivas y pueden destruir tejidos vivos; el 6.73% son inflamables y el 1.92% son oxidantes, es decir, pueden presentar reacciones altamente exotérmicas al entrar en contacto con otras sustancias.

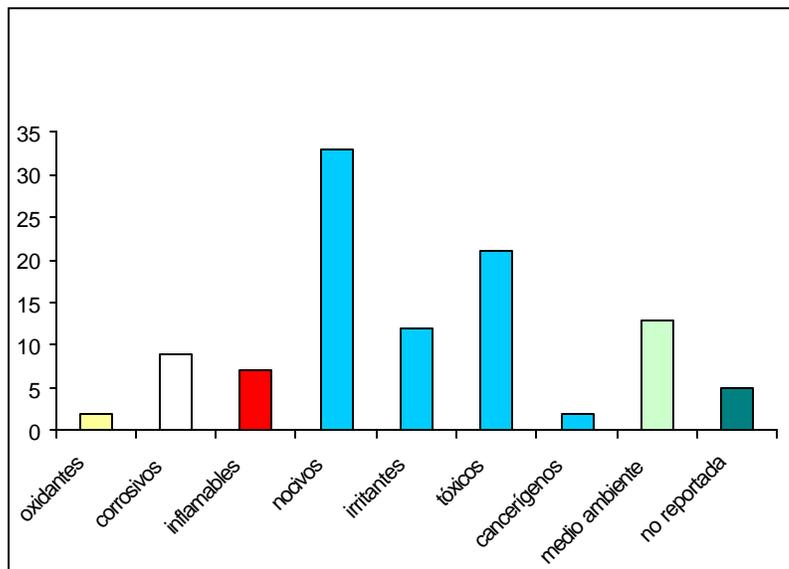
¹⁵ CORTINAS DE NAVA, Cristina. Promoción de la Prevención y Reducción de Riesgos Químicos Ambientales. México: Instituto Nacional de Ecología, 1999. p. 14

Tabla 3. Peligrosidad de los compuestos químicos utilizados en los análisis

Peligrosidad	%	Sustancias químicas
Oxidantes	1.92	Permanganato de potasio, nitrato férrico
Corrosivas	8.65	Ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido perclórico, hidróxido de potasio, hidróxido de sodio, nitrato de plata, nessler B
Inflamables	6.73	Metanol, etanol, éter etílico, alcohol butílico terciario, alcohol octílico
Nocivas	31.73	Ácido bórico, acetato de potasio, alcohol octílico, yodo, sulfocianuro de potasio, sulfato ferroso, sulfato de cobre, permanganato de potasio, lauril sulfato de sodio, cloruro de estaño, tiosulfato de sodio, óxido de lantano, edta sal disódica, verde de metilo, rojo de metilo, verde de bromocresol
Irritantes	11.54	Ácido sulfanílico, alcohol isopropílico, bromuro de cetil trimetil amonio, edta, edta sal disódica, cloruro de potasio, murexida, nitrato férrico, sulfato ferroso amoniacal, verde de bromocresol
Tóxicas	20.19	Ácido oxálico, ácido tioglicólico, azida de sodio, cloruro de bario, cloruro de mercurio, cromato de potasio, dicromato de potasio, difenilamina, dtpa, etoxietanol, fluoruro de sodio, metanol, molibdato de amonio, orto toluidina, orto fenantrolina, selenio, etoxietanol
Cancerígenas	1.92	Formaldehído, alfa naftilamina
Medio Ambiente	12.50	Cloruro de mercurio, dicromato de potasio, difenilamina, negro de eriocromo t, nitrato de plata, orto toluidina, permanganato de potasio, sulfato de cobre, sulfato de manganeso, tartrato de sodio y potasio, yodo, nessler A
No reportado	4.81	Bactogelatina, fosfato disódico, fosfato de calcio, glicerina

7.1.4 Implementación de técnicas de microanálisis. En el laboratorio de aguas – análisis químico, se realiza la determinación de nitrógeno, DQO, saponificación y sulfatos por microanálisis. El laboratorio de bromatología realiza la determinación de nitrógeno por microanálisis; además, se ha reducido en un 80% la escala de trabajo para la determinación de fibra cruda, fibra detergente neutro y ácido. El laboratorio de suelos inició un proceso de validación de metodologías para reducir la escala de trabajo en la extracción de bases intercambiables, pero los resultados no han sido positivos hasta el momento por grandes fluctuaciones de los valores obtenidos con respecto a la media esperada. Es necesario continuar con la estandarización de técnicas de micro análisis para reducir la escala de trabajo, ya que la minimización del residuo es el primer paso en la prevención de la contaminación y para un tratamiento costo efectivo.

Figura 7. Peligrosidad de los compuestos químicos utilizados en los análisis



7.1.5 Reutilización y/o recuperación de solventes. El éter etílico se recupera y reutiliza en la determinación de grasas, tanto para análisis de aguas como alimentos. La acetona se reutiliza en procesos de lavado de fibra, aunque no en su totalidad. El alcohol, en algunos casos, se reutiliza como combustible para mecheros.

7.1.6 Clasificación para almacenar reactivos. En el depósito de reactivos de los laboratorios especializados no existía un criterio único para almacenar los reactivos, además, se manejaban inventarios separados por laboratorio, aunque se compartía un mismo espacio físico. Se unificó el almacenamiento y clasificación de los reactivos por grupos de peligrosidad e incompatibilidades, siguiendo la normatividad establecida.

7.1.7 Consulta de etiquetas y hojas de seguridad de los reactivos. En cada laboratorio se consultan las etiquetas y los catálogos para obtener información sobre medidas de seguridad en el manejo de productos químicos. Las hojas de seguridad MSDS están disponibles en la Jefatura de Laboratorios en formato cd rom, o se pueden consultar en línea en las páginas de los fabricantes más representativos de productos químicos. Los sistemas de gestión recomiendan que éstas se encuentren en cada laboratorio, para un manejo seguro de los reactivos.

7.1.8 Tratamiento de residuos líquidos previo vertimiento. Ninguno de los laboratorios realiza algún tratamiento de los residuos líquidos originados, 330.9L/mes; el único proceso que reduce la contaminación es la dilución que se produce en el lavado, sin embargo, esta no es una metodología aceptada de tratamiento para reducir toxicidad. Se percibe una gran conciencia sobre la contaminación efectuada, principalmente atmosférica y al agua. Además, hay una gran disposición en implementar procedimientos que contribuyan al manejo de los vertimientos líquidos de los laboratorios.

7.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

Este aspecto es fundamental para poder plantear un tratamiento de las aguas residuales, y para la gestión de la calidad medioambiental, según lo expresado por Metcalf¹⁶. En el Anexo B se presentan los resultados de la caracterización fisicoquímica de los vertimientos de los laboratorios. En el Anexo C se presenta un compendio de los promedios, valores máximos, mínimos, desviación típica e intervalos de confianza, de los parámetros evaluados; así como la normatividad que regula la calidad de agua vigente en el país, entre ella el Decreto 1594 de 1984 (reglamentación de usos del agua y residuos líquidos) y el Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud (normas de calidad de agua potable). Ya que el país no cuenta con una regulación específica para las aguas residuales de laboratorios de análisis químico, se realizó una comparación con los valores límites para las aguas residuales de los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, España, los cuales se tomaron como referente.

Así mismo, en el Anexo D se presentan los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, la cual permitió determinar si los parámetros evaluados seguían un modelo de distribución normal, encontrándose que solo los sólidos totales y disueltos seguían esta distribución, con un 90 % de confiabilidad. Por lo anterior, los intervalos de confianza calculados para todos los parámetros, a excepción de los sólidos totales y disueltos, no permiten hacer inferencias con respecto a la población.

Es necesario resaltar que al realizar los muestreos en los puntos de evacuación y no en la caja de desagüe, por la confluencia de aguas lluvias, sanitarias y las provenientes de las pocetas de los laboratorios, se obtuvo valores elevados en los parámetros evaluados, debido a que no se presentó una dilución con aguas procedentes de refrigeración o destilación. Al respecto, Phifer¹⁷ plantea que los químicos que están presentes como descarga del laboratorio pueden exceder los límites de vertimiento, no por volumen sino por concentración.

De acuerdo con Metcalf¹⁸, se está replanteando la validez de mezclar vertidos industriales con vertidos domésticos, debido a los constituyentes tóxicos que pueden tener los primeros, aún cuando estén en concentraciones muy bajas. Por lo anterior, sería importante separar las aguas de los laboratorios de las provenientes de los servicios sanitarios y de las aguas lluvias.

7.2.1 pH. Metcalf¹⁹, señala que el pH es un parámetro de calidad de gran importancia, ya que influye en muchos procesos químicos y biológicos. Aguas residuales con concentraciones de ión hidrógeno inadecuadas presentan dificultades de tratamiento por

¹⁶ METCALF & EDDY Inc. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3ed. Tomo I. México: McGraw-Hill, 1996. p. 53

¹⁷ PHIFER, Op. cit., p. 519

¹⁸ METCALF & EDDY, Op. cit., p. 6

¹⁹ Ibid., p. 95

medios biológicos, y además, el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales.

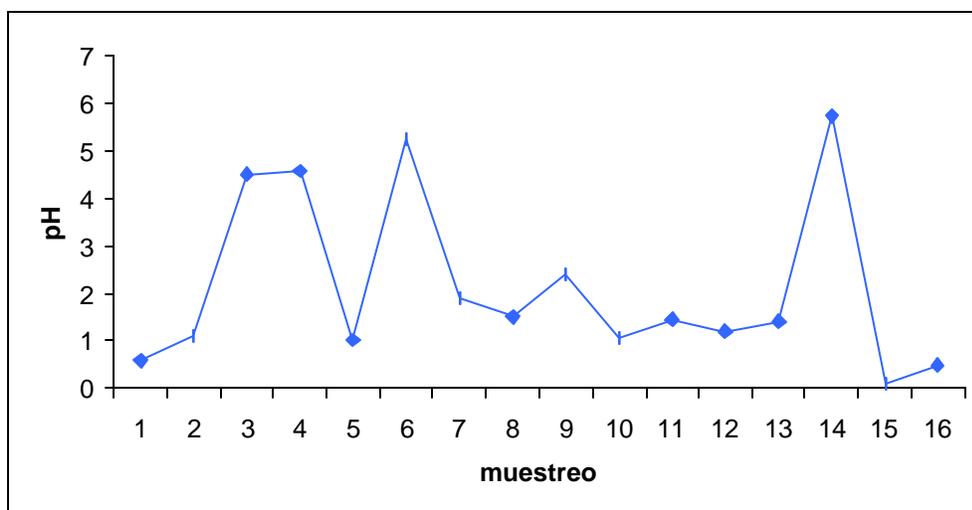
De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 8 y Tabla 4), se puede observar una marcada tendencia a valores de pH muy ácidos, lo cual le confiere a los vertimientos líquidos de los laboratorios características corrosivas, Salazar²⁰, por la presencia de productos de reacción de ácido sulfúrico, nítrico, perclórico, entre otros. El decreto 1594 de 1984²¹ establece como rango permisible de 5 a 9 unidades, valores inferiores a 5 indican presencia de ácidos inorgánicos, por lo tanto, se debe controlar este parámetro con procesos de neutralización. En la Tabla 4 se puede observar que los intervalos de confianza están por debajo de la normatividad establecida, aunque no se pueden hacer inferencias de la población, ya que este parámetro no presentó una distribución normal (ver Anexo D).

Tabla 4. Análisis estadístico del pH

Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación típica	Intervalo de confianza	Normatividad*
pH	5.73	0.1	2.14	1.81	1.24 – 3.05	5 - 9

* Decreto 1594 de 1984, Usos del agua y residuos líquidos

Figura 8. pH de los vertimientos líquidos



²⁰ SALAZAR CANO, Roberto. Teoría y Diseño de los Tratamientos de Aguas Residuales. Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería. Pasto: Editorial Universitaria, 2002. p. 22

²¹ CÓDIGO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES Y DE PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE. 3 ed. Bogotá: Legis Editores S.A., 2002. p. 250

7.2.2 Acidez y Alcalinidad. Según la Apha²², la alcalinidad y la acidez son las capacidades neutralizantes de ácidos y bases del agua, se expresan como mg/L de CaCO₃. Asociada a éstas, se define la capacidad tampón como la cantidad de ácido o base fuerte, necesaria para cambiar el valor del pH de un litro de una muestra en una unidad.

La acidez presentó un valor promedio de 9075.51 mg/L, con desviación típica de 11257.54 (Tabla 5), reflejo de la gran variabilidad de los valores con relación a la media. Se puede establecer que las descargas de los laboratorios de extensión tienen un carácter fuertemente ácido (Figura 9), valores directamente relacionados con los pH obtenidos. Al respecto, Rojas²³ plantea que la acidez es producida por la presencia de fracciones no ionizadas de ácidos minerales débiles, de sales hidrolizadas y de ácidos minerales.

Tabla 5. Análisis estadístico de Acidez y Alcalinidad

Parámetro mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación típica	Intervalo de confianza	Normatividad*
Acidez	33760	37.8	9075.51	11257.54	3446.74 – 14704.28	50
Alcalinidad	18.9	0	1.82	5.22	-0.79 – 4.43	100

* Decreto 475 de 1998

El valor admisible de acidez para agua potable, 50 mg/L, establecido en el decreto 475 de 1998, es inferior a los límites de confianza calculados (tabla 5); sin embargo, debido a que este parámetro no presentó una distribución normal (ver Anexo D) los resultados no se pueden extrapolar a la población.

La alcalinidad no presentó una distribución normal (ver Anexo D), probablemente porque solo en dos de los muestreos realizados se encontraron valores de alcalinidad, como se aprecia en la figura 10, siendo éstos de 10.2 y 18.9 mg/L; por lo tanto los límites de los intervalos de confianza (tabla 5) no permiten hacer inferencias para la población.

No obstante, los resultados del análisis estadístico de la alcalinidad muestran un promedio de 1.82 con valores máximos y mínimos inferiores al admisible para agua potable, de 100 mg/L (Tabla 5). La alcalinidad se debe básicamente, según Apha²⁴ a la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y puede incluir también la contribución de boratos,

²² AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y Residuales. 17 ed. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1992. p. 4-106

²³ ROJAS, Olga. Análisis Físicoquímicos de Aguas: Métodos Normalizados. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Departamento de Procesos Químicos y Biológicos, Sección de Saneamiento Ambiental. Cali, 1988. p. 129

²⁴ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, Op. cit., p. 2-38

fosfatos, silicatos y otras bases, cuando se hallen presentes; así como amoníaco y elementos como calcio, magnesio, sodio y potasio, de acuerdo con Metcalf²⁵. Debido a los bajos valores obtenidos, la alcalinidad de los vertimientos de los laboratorios no permite regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos.

Figura 9. Acidez de los vertimientos líquidos

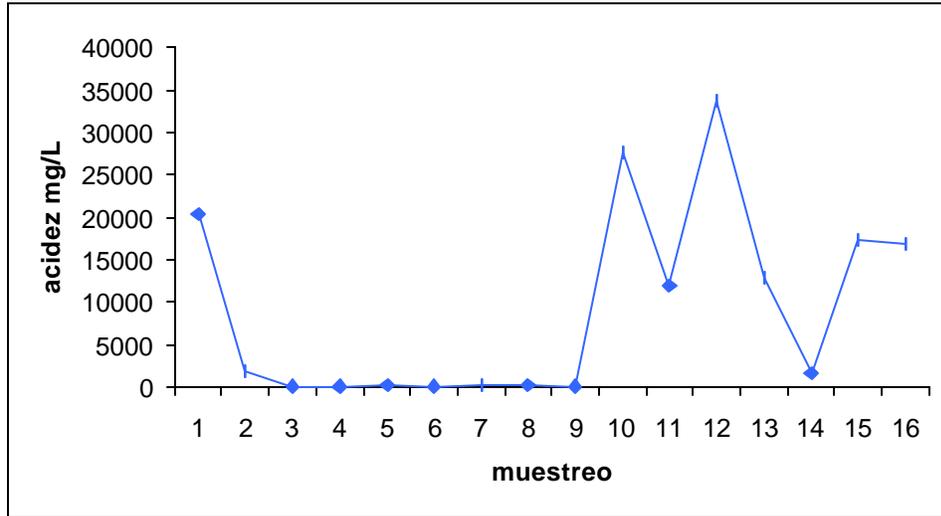
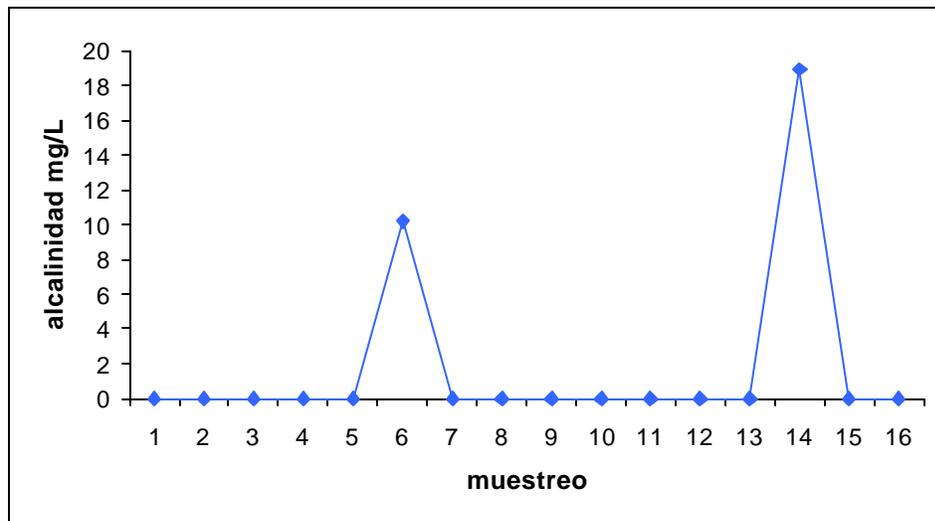


Figura 10. Alcalinidad de los vertimientos líquidos



²⁵ METCALF & EDDY, Op. cit., p. 97

El decreto 1594 de 1984, capítulo VI, artículo 72, De las Normas de Vertimiento²⁶, no establece explícitamente restricciones a ácidos o bases, o soluciones ácidas o básicas que puedan causar contaminación cuando el vertimiento se hace a un cuerpo de agua; sin embargo, el artículo 90 del mismo decreto señala que no se permitirán vertimientos que alteren las características existentes en un cuerpo de agua. Por lo anterior, se deben adoptar medidas de neutralización para eliminar la acidez de los vertimientos líquidos.

7.2.3 Dureza. Según Rojas²⁷, la dureza está representada por la presencia de cationes divalentes como calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre; debido a que los iones calcio y magnesio se encuentran en mayor concentración en relación a los demás, generalmente se define como la suma de las concentraciones de estos dos cationes, ambos expresados como carbonato de calcio, en miligramos por litro. De igual modo, Salazar²⁸ menciona que puede estar asociada a otros parámetros como pH y alcalinidad, pudiendo formar compuestos insolubles que se depositan en las tuberías.

El valor promedio obtenido fue de 694.84 mg/L, indicativo de aguas duras, de acuerdo a lo expresado por Salazar²⁹, quien refiere para este tipo de aguas valores superiores a 200 mg/L. Así mismo, este valor es superior a la normatividad establecida en el decreto 475 de 1998. La dureza fluctuó entre 6.4 mg/L y 2000 mg/L (ver Tabla 6 y Figura 11).

Tabla 6. Análisis estadístico Dureza, Calcio y Magnesio

Parámetro mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación típica	Intervalo de confianza	Normatividad*
Dureza	2000	6.4	694.84	500.68	444.50 – 945.18	30 - 150
Calcio	1311	3.7	407.54	355.84	229.62 – 585.46	60
Magnesio	756	2.7	282.79	221.87	171.86 – 393.73	36

* Decreto 475 de 1998

En el análisis de varianza para la regresión múltiple se obtuvo un p-value inferior a 0.01 (ver Anexo E), lo cual permite establecer una relación estadísticamente significativa entre dureza y las variables calcio y magnesio, con un 99 % de nivel de confianza; de igual modo, el estadístico R^2 indica que el modelo explica en un 99.94% la variabilidad en la dureza. El mayor aporte a la dureza, lo realiza el catión calcio, con un valor promedio de 407.54 mg/L, seguido por el magnesio con un promedio de 282.79 mg/L (Figura 11).

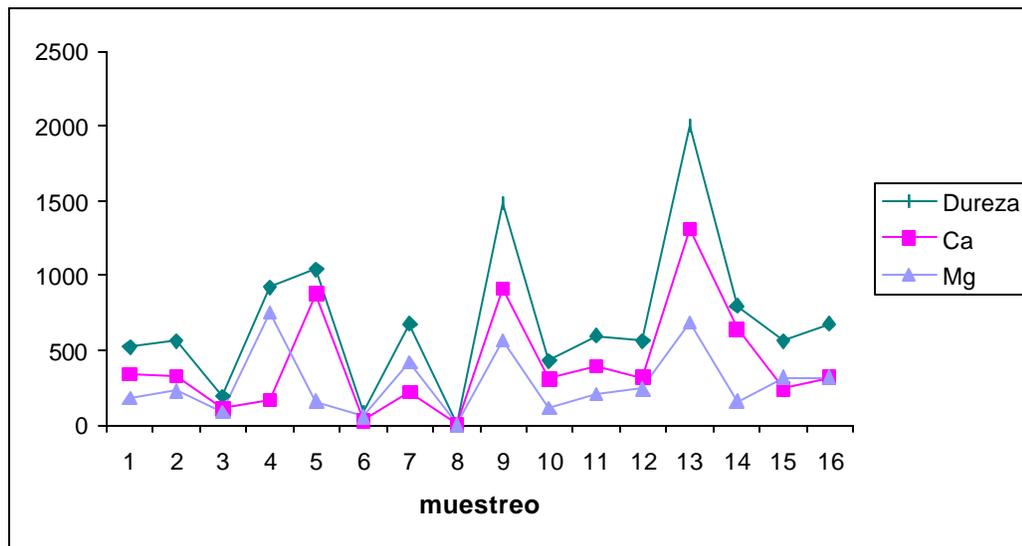
²⁶ CÓDIGO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES Y DE PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE, Op. cit., p. 250, 252

²⁷ ROJAS, Op. cit., p. 71

²⁸ SALAZAR, Op. cit., p. 27

²⁹ Ibid., p. 27

Figura 11. Relación Dureza-Ca-Mg ppm



7.2.4 Sólidos. Según la Apha³⁰, los sólidos totales son los residuos de material que quedan después de evaporación y secado de la muestra; incluyen los sólidos suspendidos o fracción de sólidos no filtrables, los sólidos disueltos o fracción filtrable y los sólidos sedimentables o fracción que sedimenta en el fondo de un cono Imhoff en un periodo de tiempo de sesenta minutos. Así mismo, expresa que los análisis de sólidos son importantes en procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

Los análisis de laboratorio muestran un valor promedio para sólidos totales de 15459.06 mg/L, disueltos de 13465.94 mg/L, suspendidos de 1993.13 mg/L y sedimentables de 7.93 mg/L-h (ver Figura 12 y Tabla 7), los cuales presentaron grandes desviaciones con relación a la media. Los sólidos totales se encuentran por encima del límite establecido en el decreto 475 de 1998, el cual fija un valor inferior a 500 mg/L para agua potable.

La mayor proporción de sólidos es la equivalente a los disueltos o filtrables, que incluye sólidos coloidales con partículas de tamaño entre 0.001 y 1 micrómetro, y sólidos disueltos compuestos por moléculas orgánicas, inorgánicas, iones en solución, originados como productos de reacción de los análisis realizados en los laboratorios. La fracción coloidal de los sólidos disueltos no se puede eliminar por sedimentación; usualmente, es necesario realizar oxidación biológica o coagulación, complementadas con sedimentación, según lo afirmado por Metcalf³¹.

³⁰ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, Op. cit., p. 2-63

³¹ METCALF & EDDY, Op. cit., p. 60

Tabla 7. Análisis estadístico de sólidos

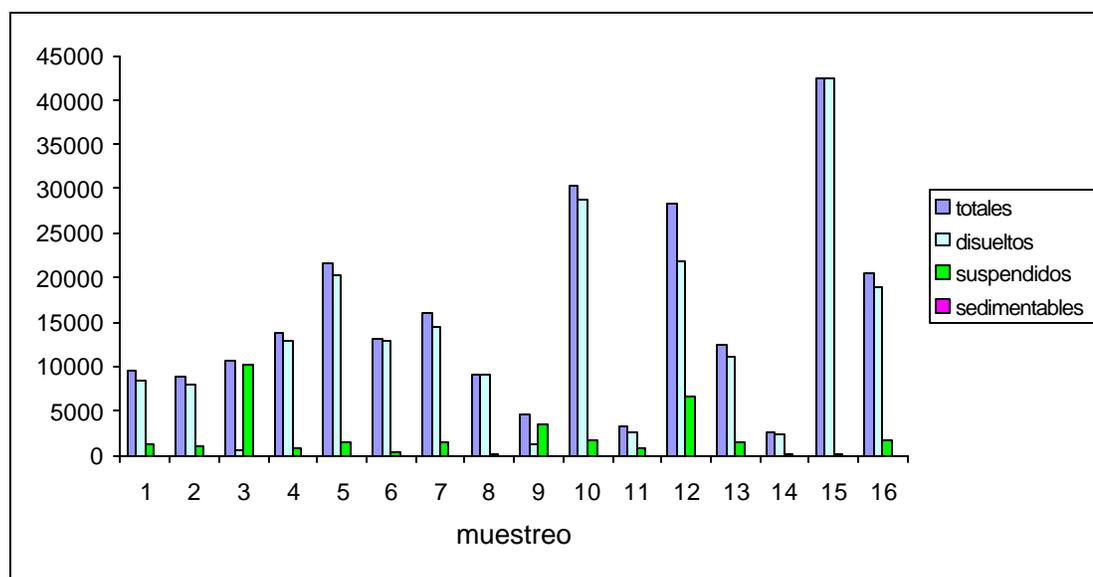
Parámetro mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación típica	Intervalo de confianza	Normatividad
S. totales	42485	2519	15459.06	10885.13	10016.50 – 20901.63	<500 *
S. disueltos	42362	542	13465.94	11136.71	7897.58 – 19034.29	
S. suspend	10132	120	1993.13	2686.99	649.63 – 3336.62	700 **
S. sediment	28.9	0.2	7.93	10.45	2.7 - 13.16	≤10 ***

* Decreto 475 de 1998

** Manual de Procedimientos FCPR-11, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España

*** Artículo 73, Decreto 1594 de 1984

Figura 12. Relación de Sólidos Totales-Disueltos-Suspendidos-Sedimentables



De todos los parámetros evaluados, solo los sólidos totales y disueltos se ajustaron a una distribución normal con un 90% de confianza, de acuerdo con la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (Anexo D), por lo tanto se puede inferir que los vertimientos líquidos de los laboratorios poseen una concentración superior a la requerida en la normatividad.

El promedio de sólidos suspendidos se encuentra por encima del límite fijado por la Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, de 700 mg/L; para la eliminación de éste tipo de sólidos Catalán Lafuente³² sugiere la decantación o la floculación, esta última se realiza con sales de aluminio, hierro, cal, entre otros, previa regulación del pH. Los sólidos suspendidos obtenidos en los muestreos están relacionados con la eliminación de aguas que contienen suelo en medio acuoso directamente a las pocetas, en la determinación de

³² CATALÁN LA FUENTE, José. Química del Agua. España: Talleres Figuras Alonso, 1981. p. 148

pH, por lo cual se puede implementar un proceso de filtración para controlar este parámetro.

La menor proporción de sólidos corresponde a los sedimentables, que representa la baja cantidad de fango que se puede obtener en la decantación primaria del agua residual de acuerdo con Metcalf³³; así mismo, el valor promedio se encuentra dentro de los límites establecidos en el artículo 73 del decreto 1594, el cual es de 10 mL/L.

El análisis de varianza para los sólidos explica en un 100 % la variabilidad de los sólidos totales como resultado de las variaciones en los sólidos disueltos, sedimentables y suspendidos (ver Anexo E), con lo cual se confirma la interrelación entre estos parámetros.

7.2.5 Turbidez y Sólidos Suspendidos. Apha³⁴ define la turbidez como una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. Es producida por materias en suspensión como arcillas, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros micro organismos. Según Metcalf³⁵, es un parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

Las muestras evaluadas presentaron un valor promedio de turbidez de 2637.8 UNT, con un valor máximo de 13400 y mínimo de 236; en relación a los sólidos suspendidos los valores fueron de 1993.13, 10132 y 120 mg/L respectivamente (Figura 13 y Tabla 8). Ambos parámetros presentaron grandes variaciones con relación a los promedios, lo que se manifiesta en las desviaciones típicas.

Tabla 8. Análisis estadístico de Turbidez y Sólidos suspendidos

Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación típica	Intervalo de confianza	Normatividad
Turbiedad	13400	236	2637.38	3495.41	889.67 – 4385.08	10 *
S. suspend	10132	120	1993.13	2686.99	649.63 – 3336.62	700 **

* Artículo 39, Decreto 1594 de 1984

** Manual de Procedimientos FCPR-11, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España

En el análisis de varianza (Anexo E), no se encontró una relación estadística significativa entre turbidez y sólidos suspendidos, a un nivel de confianza del 90%; la variación en los sólidos explica en un 0.33% la variación en la turbidez, por lo que los incrementos en ésta se pueden asociar con compuestos coloreados presentes en las muestras. Al respecto,

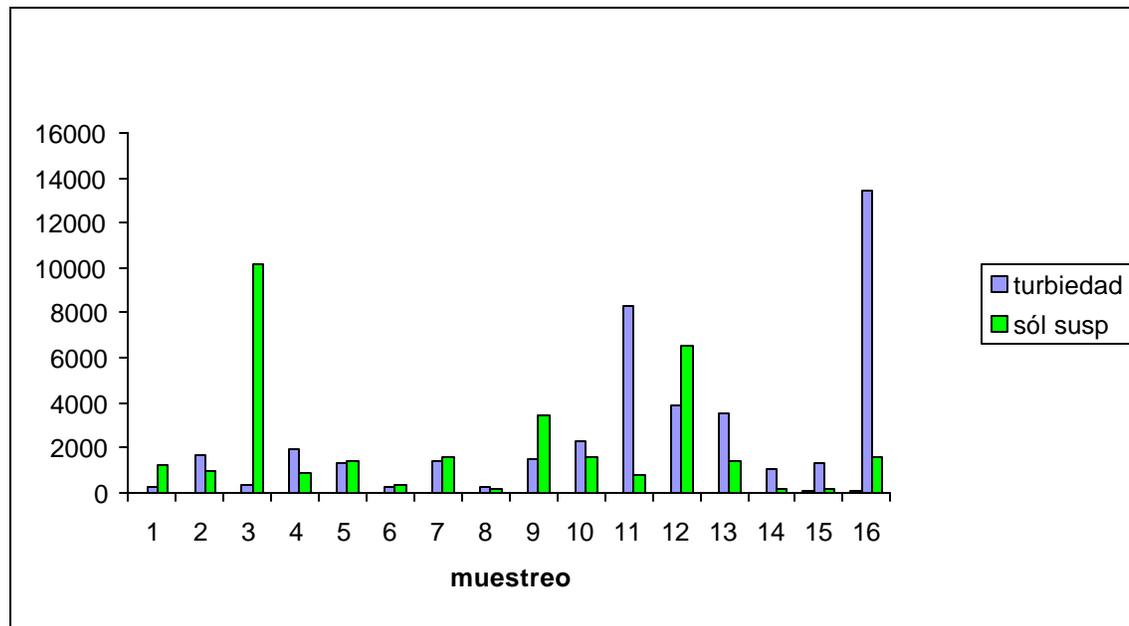
³³ METCALF & EDDY, Op. cit., p. 60

³⁴ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, Op. cit., p. 2-12

³⁵ METCALF & EDDY, Op. cit., p. 72

Salazar³⁶, plantea que el concepto de turbidez está ligado al de color aparente, el que presenta el agua inmediatamente después de ser tomada.

Figura 13. Relación Turbiedad-Sólidos Suspendingidos



7.2.6 Conductividad y Sólidos Disueltos. La conductividad, de acuerdo con la Apha³⁷, es una expresión de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica; depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición.

En el periodo evaluado, se obtuvieron conductividades elevadas, con promedio de 5474.79, máxima de 26800 y mínima de 30.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 9 y Figura 14), y desviaciones típicas que se relacionan con la gran variabilidad de los valores con respecto a la media. El promedio se encuentra por encima de lo establecido en el Manual de Procedimientos FCPR-11 de la Universidad de Granada para las aguas residuales procedentes de los laboratorios. Las altas conductividades se encuentran correlacionadas con los valores de pH bajo y alta acidez de los vertimientos.

Ya que el valor del p-value en el análisis de varianza es superior a 0.10 (Anexo E), no hay una relación estadística significativa entre conductividad y sólidos disueltos con un 90% de confianza, de igual modo el coeficiente de correlación indica una relación débil entre las variables. Lo anterior debido probablemente a que los sólidos disueltos pueden estar

³⁶ SALAZAR, Op. cit., p. 20

³⁷ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, Op. cit., p. 2-63

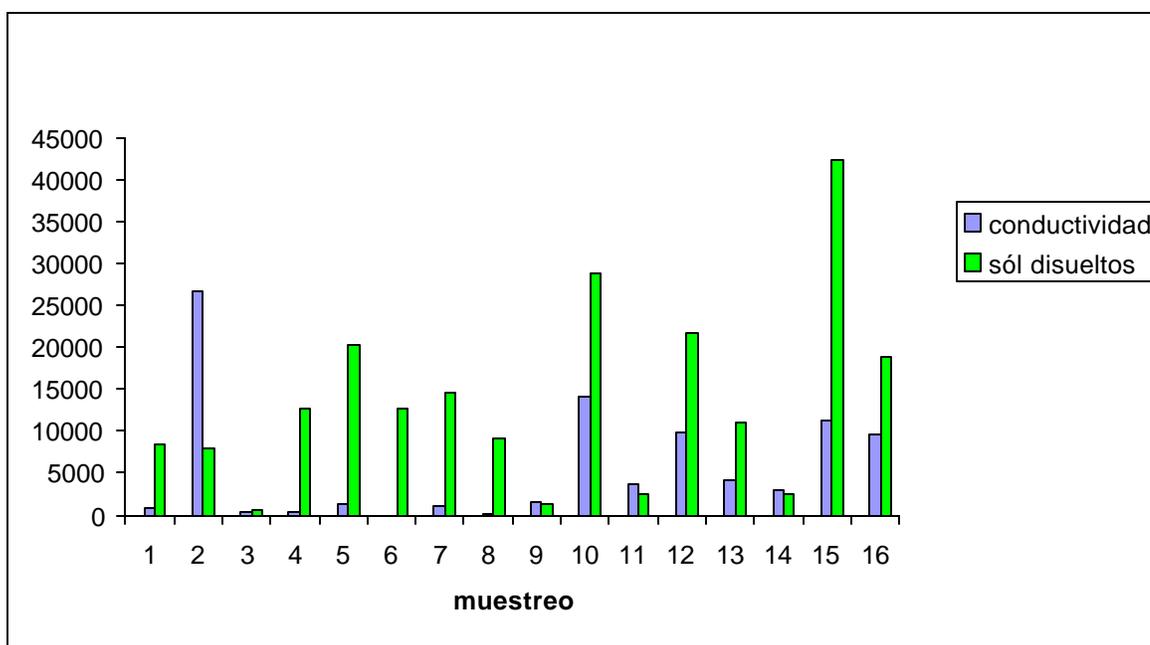
presentes en su mayoría como compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas y en menor proporción como iones en disolución en el agua, de acuerdo con Metcalf³⁸.

Tabla 9. Análisis estadístico de Conductividad y Sólidos disueltos

Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación típica	Intervalo de confianza	Normatividad
Conductividad	26800	30.5	5474.79	7299.12	1825.23 – 9124.35	3000 *
S.disueltos	42362	542	13465.94	11136.71	7897.58 – 19034.29	

* Manual de Procedimientos FCPR-11, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España

Figura 14. Relación Conductividad-Sólidos Disueltos



7.2.7 Demanda Bioquímica – Demanda Química de Oxígeno. De acuerdo con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS³⁹, la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO se define como la cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura definidos; Metcalf⁴⁰, menciona

³⁸ METCALF & EDDY, Op. cit., p. 60

³⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000. Sección II, Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. Bogotá, nov de 2000. p. E-7

⁴⁰ METCALF & EDDY, Op. cit., p. 91

como uno de los limitantes de esta determinación, la necesidad de un pretratamiento de la muestra cuando posee residuos tóxicos.

Así mismo, el RAS⁴¹ define la Demanda Química de Oxígeno DQO como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido a altas temperaturas. Al respecto, Barba Ho⁴² destaca que hay muchas sustancias que no son orgánicas, como sulfuros, sulfitos, tiosulfatos, nitritos, iones ferrosos, entre otros, que entran en la medición de la DQO debido a su oxidabilidad con dicromato.

Los valores promedio obtenidos para DBO₅ y DQO fueron de 1678.73 y 3576.46 mg/L respectivamente, presentándose grandes fluctuaciones alrededor de la media (ver Tabla 10 y Figura 15); esto coincide con lo expresado por Metcalf⁴³, quien señala que la DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, por la presencia de un mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica; así mismo, Catalán⁴⁴ expresa que valores de DBO bajos, en relación a los de DQO, pueden indicar presencia de sustancias tóxicas o bacteriostáticas.

Tabla 10. Análisis estadístico de DBO₅ y DQO

Parámetro mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación típica	Intervalo de confianza	Normatividad*
DBO ₅	5940	34.7	1678.73	1631.61	862.92 – 2494.54	700
DQO	9870	45.6	3576.46	3168.78	1992.06 – 5160.85	1400

* Manual de Procedimientos FCPR-11, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España

Barba Ho⁴⁵ reporta para aguas residuales de industrias químicas, valores de DBO₅ en rangos desde 850 hasta 62000 ppm, y para DQO desde 162 hasta 165000 ppm. La amplitud en estos rangos indica la dificultad en tener un referente de comparación, debido, en el caso de la DQO a las diferencias en eficiencia de oxidación de algunos compuestos químicos.

El Manual de Procedimientos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, establece como límites para las aguas residuales de sus laboratorios, valores de DQO y DBO₅, de 1400 mg/L y 700 mg/L respectivamente, los cuales son inferiores a los valores

⁴¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, Op. cit., p. E-7

⁴² BARBA HO, Luz Edith. Química Asociada con la Contaminación del Agua. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Departamento de Procesos Químicos y Biológicos, Sección de Saneamiento Ambiental. Cali, 1989. p. 29

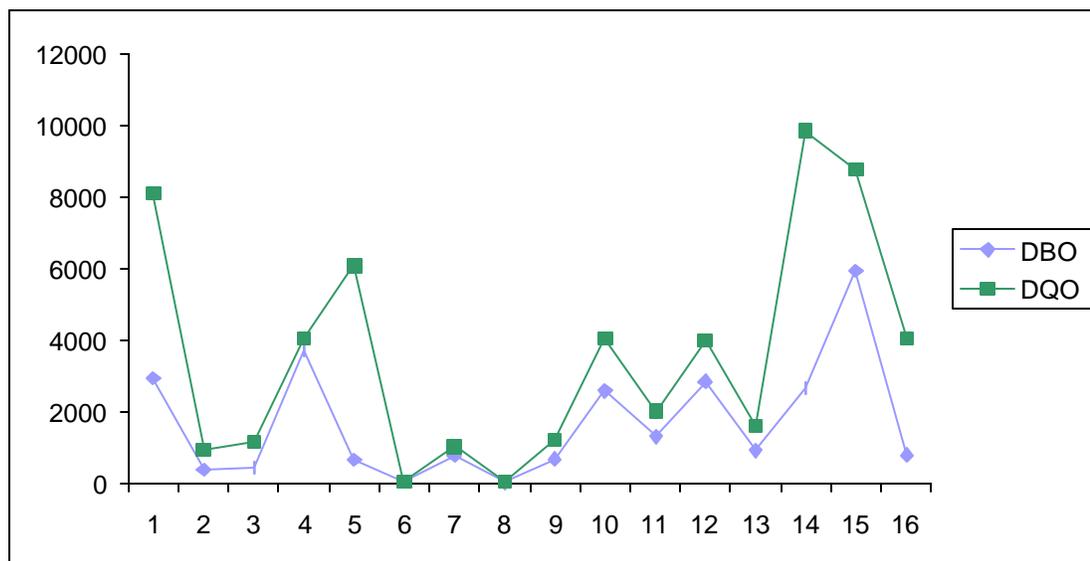
⁴³ METCALF & EDDY, Op. cit., p. 93

⁴⁴ CATALÁN LA FUENTE, Op. cit., p. 306

⁴⁵ BARBA HO, Op. cit., p. 29, 84

obtenidos. Por lo tanto, es necesario implementar acciones para disminuir los niveles de DBO y DQO en los vertimientos líquidos de los laboratorios especializados, que de acuerdo con la legislación colombiana debe ser de una reducción en la carga contaminante del 80%.

Figura 15. Relación DBO – DQO



En relación con el análisis de varianza, se encontró una relación estadística significativa entre la DQO y DBO₅, a un 99% de nivel de confianza (Anexo E), los cambios en la DBO₅ explican en un 55.25% los cambios en la DQO, así mismo el coeficiente de correlación indica una relación moderadamente fuerte entre los dos parámetros.

7.2.8 Nitrógeno, Fósforo y Sulfatos. De acuerdo con la Apha⁴⁶, el nitrógeno orgánico y el amoníaco se pueden determinar juntos y se denominan nitrógeno Kjeldahl. En relación con el fósforo, la Apha⁴⁷ menciona que se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfato, clasificado en ortofosfatos, fosfatos condensados, piro, meta y otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente. En relación con el ión sulfato, Catalán⁴⁸ afirma que se encuentra disuelto en las aguas, en forma de sales, debido a su estabilidad y resistencia a la reducción.

Se obtuvieron valores promedio para sulfatos, nitrógeno y fósforo de 8389.48, 1110.69 y 32.91 mg/L respectivamente, alrededor de los cuales se presentaron grandes variaciones (Tabla 11 y Figura 16). El Decreto 1594 de 1984 en su artículo 38 reglamenta como valor

⁴⁶ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, Op. cit., p. 4-125

⁴⁷ Ibid., p. 4-187

⁴⁸ CATALÁN LA FUENTE, Op. cit., p. 209

máximo para sulfatos 400 mg/L, en aguas para consumo humano. La Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, establece como límites para sulfatos, nitrógeno y fósforo, concentraciones de 500, 100 y 15 mg/L, en su orden, por lo cual se deben evaluar medidas que reduzcan su concentración en los efluentes, ya que en el caso de los fosfatos, pueden inhibir la floculación y sedimentación en las plantas de tratamiento de aguas, de acuerdo con lo expresado por Catalán⁴⁹.

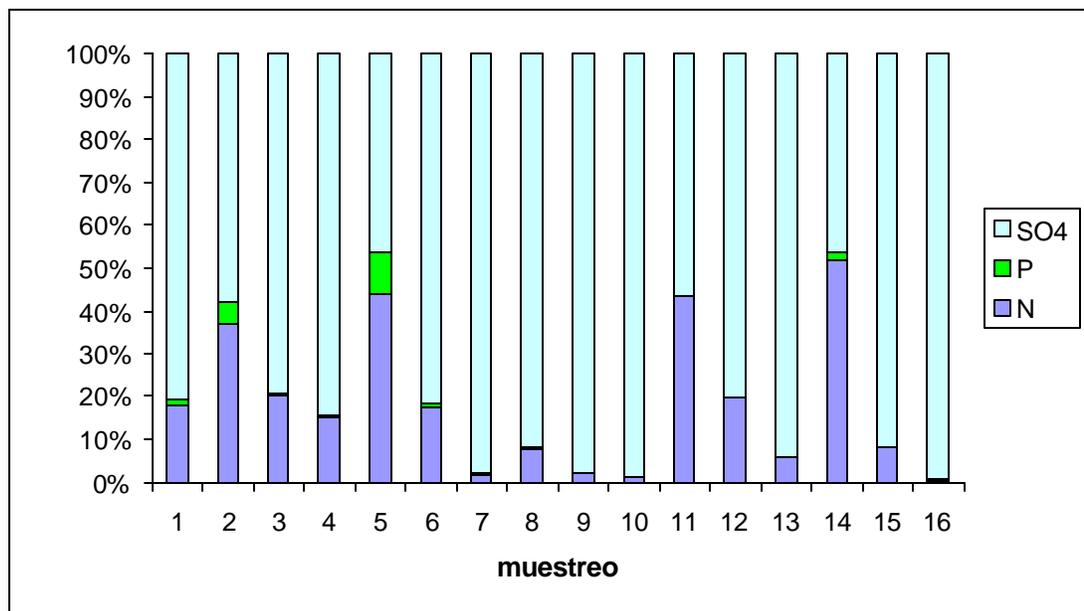
Tabla 11. Análisis estadístico de Nitrógeno, Fósforo y Sulfatos

Parámetro mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación típica	Intervalo de confianza	Normatividad
Nitrógeno	6720	11.2	1110.69	1825.59	187.89 – 2023.48	100 *
Fósforo	195.5	0.84	32.91	52.21	6.81 – 59.02	15 *
Sulfatos	48737	214	8389.48	14232.25	1273.35 – 15505.61	400 **

* Manual de Procedimientos FCPR-11, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España

** Artículo 38, Decreto 1594 de 1984

Figura 16. Relación N - P - SO₄ %



En los vertimientos líquidos de los laboratorios se esperaría encontrar el nitrógeno en forma de ion amonio, que predomina a pH ácidos, según lo expresado por Metcalf⁵⁰. Un aspecto importante a tener en cuenta es que las altas concentraciones de sulfatos podrían

⁴⁹ Ibid., p. 255

⁵⁰ METCALF & EDDY, Op. cit., p. 97

contribuir a disminuir la toxicidad de los metales pesados, ya que, de acuerdo a Catalán⁵¹, los valores del producto de solubilidad de sus sales son muy bajos, contribuyendo eficazmente a disminuir su toxicidad.

7.2.9 Metales traza. Catalán⁵² menciona que los metales traza se encuentran en el agua en concentraciones inferiores a 1 ppm, en forma de solución verdadera como iones o sales, en forma molecular o iónica, como iones simples, complejos o hidratados, pares de iones, entre otros; también se pueden encontrar en forma insoluble como materia en suspensión o adsorbidos por partículas orgánicas o inorgánicas, o como precipitado. De las diversas formas en que se encuentren los oligoelementos va a depender sus propiedades. Generalmente no se encuentran en aguas naturales y su presencia indica contaminación industrial.

En el agua se encuentran presentes como metales traza muchos metales pesados, definidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico⁵³ como elementos tóxicos con un peso molecular alto y una densidad generalmente superior a 5 g/cm³, incluyéndose en este grupo metales como plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel, zinc, cromo.

En los vertimientos líquidos de los laboratorios de extensión, se evaluaron los metales traza cobre, cromo (total), manganeso, hierro y zinc; los cuales presentaron, a excepción del zinc, concentraciones promedio por encima de los límites que fija el decreto 1594 de 1984 (ver Tabla 12 y Figura 17). Así mismo, estos valores son superiores a los límites de la Universidad de Granada para los vertimientos de los laboratorios en relación a los elementos cobre, cromo total, manganeso, hierro de 3, 4, 2 y 10 ppm; el promedio de la concentración de zinc se encuentra dentro del límite de la normatividad española, que fija un valor máximo de 10 ppm.

Tabla 12. Análisis estadístico de Metales traza

Parámetro mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación típica	Intervalo de confianza	Normatividad*
Manganeso	109	0.2	16.14	27.07	2.60 – 29.68	0.2
Hierro	174.8	1.16	19.92	42.27	-1.22 – 41.06	5.0
Cobre	21.6	0.19	3.19	6.20	0.09 – 6.29	0.2
Cromo	425	5.25	88.28	124.06	26.25 – 150.31	0.05
Zinc	10.8	0.4	2.48	2.55	1.20 – 3.76	15

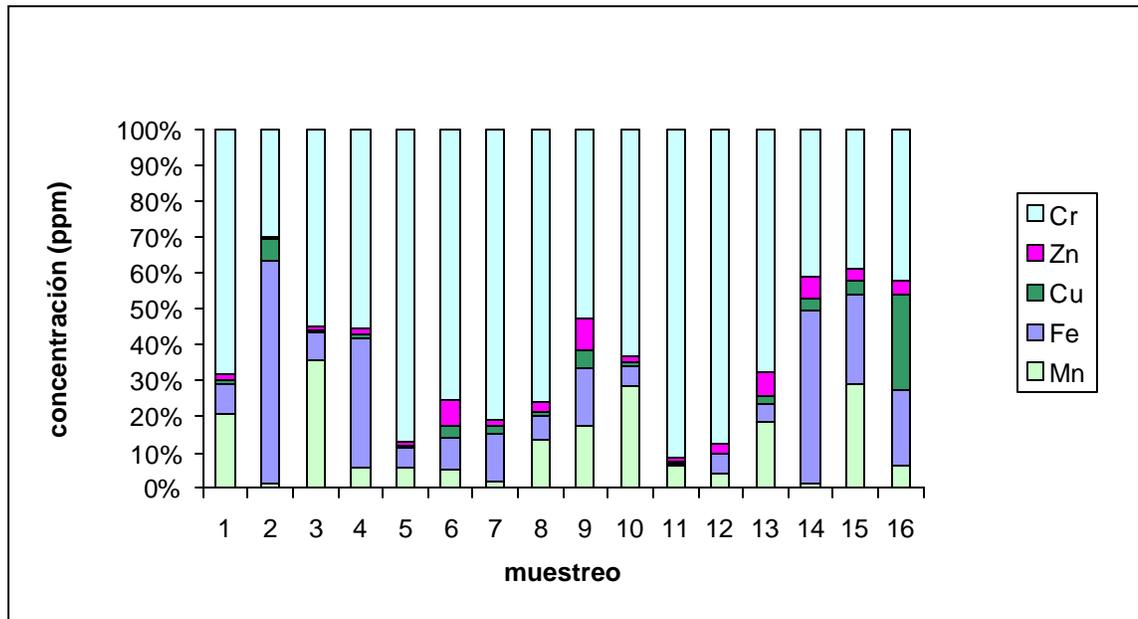
*Artículos 38,40, Decreto 1594 de 1984

⁵¹ CATALÁN LA FUENTE, Op. cit., p. 258-259

⁵² Ibid., p. 259

⁵³ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, Op. cit., p. E-9

Figura 17. Concentración de metales traza



El metal que se encontró en mayor concentración fue el cromo, con un promedio de 88.28 mg/L, estos valores corresponden a cromo total; según Catalán⁵⁴, se puede presentar en forma hexavalente, muy soluble, o trivalente, insoluble. En menor concentración se encontró el zinc, con un promedio de 2.48 mg/L, el mismo autor expresa que puede estar en forma inorgánica, iónica o coloidal.

Catalán⁵⁵ señala que el manganeso está asociado al hierro en aguas ácidas, por lo tanto, se puede encontrar ligado al hierro en los vertimientos de los laboratorios, por sus características fuertemente ácidas. Por otra parte, el cobre presente en los vertimientos puede estar asociado a materia orgánica coloidal.

7.3 CARGA CONTAMINANTE DE LOS VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

El Decreto 1594 de 1984⁵⁶ define la carga como el producto de la concentración promedio por el caudal promedio determinados en el mismo sitio; este valor es de gran importancia para establecer el grado de cumplimiento en la remoción de sólidos suspendidos y demanda bioquímica de oxígeno, establecidas en el capítulo sexto del citado decreto, Del vertimiento de residuos líquidos, artículo 72, De las normas de vertimiento; el cual reglamenta que todo vertimiento a un cuerpo de agua para usuarios nuevos debe cumplir,

⁵⁴ CATALÁN LA FUENTE, Op. cit., p. 268, 266

⁵⁵ Ibid., p. 270, 267

⁵⁶ CÓDIGO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES Y DE PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE, Op. cit., p. 251

entre otros, con una remoción de sólidos suspendidos y de la demanda bioquímica de oxígeno de, como mínimo, el 80% en carga.

La carga contaminante de los vertimientos líquidos (ver Tabla 13), se determinó aplicando la ecuación propuesta en el artículo 75 del decreto 1594 de 1984.

Tabla 13. Carga contaminante de los vertimientos líquidos

Parámetro	Concentración promedio (ppm)	Caudal promedio (L/seg)	Carga contaminante (Kg/día)
Sólidos suspendidos	1993.13	0.207	10.40
DBO ₅	1678.73	0.207	8.76
DQO	3576.46	0.207	18.66

7.4 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Según Cortinas de Navas⁵⁷, la gestión es un proceso con funciones de organización técnica y social, en el que una estructura jerárquicamente organizada asegura la realización de sus actividades de acuerdo a la dirección trazada a través de sus objetivos. El modelo de gestión participativa reconoce la capacidad que tienen los diferentes grupos sociales de influir en las decisiones que afecten su salud y seguridad, así como sus bienes y la calidad del ambiente. Así mismo, señala como instrumentos de gestión la información, divulgación, educación, capacitación y participación social.

La NTC Iso 14004⁵⁸ define un sistema de gestión ambiental como parte del sistema global de administración, formado por una estructura organizacional específica que da orden y consistencia a una institución para orientar las inquietudes ambientales con asignación de recursos y responsabilidades, y una evaluación progresiva de las prácticas, procedimientos y procesos. Es conveniente que estos aspectos se coordinen con los esfuerzos en gestión que ya se han hecho en otras áreas en la institución, por ejemplo, en salud y seguridad ocupacional.

De lo anterior se puede inferir que el Sistema de Gestión Ambiental debe corresponder a un compromiso reflejado en una política general que propenda por el desarrollo de la Universidad, preservando y, en lo posible, mejorando las condiciones medioambientales. Un Sistema de Gestión Ambiental no es una obligación legal, pero si debe ser un compromiso ético de la institución, adoptado voluntariamente para resolver los problemas

⁵⁷ CORTINAS DE NAVA, Cristina. Comunicación de Riesgos: Para el Manejo de Sustancias Peligrosas con énfasis en Residuos Peligrosos. México: Instituto Nacional de Ecología, 2000. p. 22

⁵⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Sistemas de administración ambiental: Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo. Santafé de Bogotá: Icontec, 1996. p. 2. (NTC - ISO 14004)

ambientales, de salud y seguridad generados en sus actividades, de manera responsable. El sistema debe incluir todos los factores ambientales como agua, manejo de residuos, energía y emisiones al aire.

La Sección de Laboratorios debe tener como prioridad en su organización el establecimiento de un Programa de Gestión Ambiental, que involucre criterios de calidad y aplicación de buenas prácticas de laboratorio.

En primer lugar, se debe iniciar por conformar al interior de la universidad y con el apoyo de la administración, un grupo de carácter multidisciplinario, con representantes de cada dependencia, que pueden estar coordinados por Salud Ocupacional. La institución debe asignar recursos anuales, para el logro de las metas ambientales propuestas. Se propone seguir como modelo el Sistema de Gestión Ambiental NTC ISO 14001⁵⁹, que establece los elementos de un sistema de gestión efectivo para ayudar a la consecución de las metas ambientales.

Los principios del sistema de gestión ambiental a implementar deben estar enmarcados en el mejoramiento continuo y comprenden:

7.4.1 Política Ambiental. La Universidad debe definir su política ambiental, basada en la prevención de la contaminación, en el marco del mejoramiento continuo y en el cumplimiento de la legislación vigente en el país, debe reflejar el compromiso y la visión ambiental. La política ambiental se debe revisar y ajustar periódicamente para incorporar las nuevas exigencias del entorno, bajo un enfoque permanente de mejora continua.

7.4.2 Planeación. Después de establecer la política ambiental, se debe diseñar un plan para cumplir con sus lineamientos, este puede estar enfocado hacia:

Realizar un diagnóstico ambiental inicial. Como primer paso, se deben identificar todas las actividades y prácticas docentes, de investigación y de servicios realizadas en los laboratorios, establecer que efecto tienen sobre el agua, el uso de la energía y las emisiones al aire; los residuos producidos y cantidades, cuantificar el consumo de reactivos, evaluar el riesgo químico y biológico. La evaluación realizada en este proyecto permite tener un diagnóstico ambiental inicial de los vertimientos líquidos de los laboratorios especializados. En relación con los laboratorios de docencia, el diagnóstico lo podrían realizar los laboratoristas con el acompañamiento de docentes de cada área. Es necesario mencionar que ya se ha realizado una evaluación preliminar de los residuos generados en las actividades de los laboratorios, para cumplir con los requerimientos de la Secretaría de Salud, con relación a la gestión integral de residuos sólidos hospitalarios y similares.

Establecer metas medioambientales prioritarias. A partir de la evaluación ambiental inicial, se debe concertar anualmente los objetivos medioambientales, que asocien la política ambiental a la solución de los aspectos ambientales más significativos, evaluando

⁵⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC Sistemas de administración ambiental: Especificaciones con guía para uso. Santafé de Bogotá: Icontec, 1996. p. 7-13. (NTC - ISO 14001)

prioridades de cumplimiento, responsables, plazos, recursos necesarios e indicadores. Las acciones deben estar encaminadas en primer lugar a reducir el riesgo y la generación de residuos en el origen, reciclar, tratar y disponer, consideradas en su orden como opciones de gestión.

El propósito debe ser adecuar poco a poco las actuaciones y procesos para cumplir con la legislación en materia medioambiental. Se debe partir de pequeños cambios que pueden requerir de poca inversión y tener un gran impacto en la reducción del riesgo, como identificar posibilidades de sustitución de reactivos peligrosos, disminuir la escala de análisis e implementar técnicas menos contaminantes.

En este sentido, los protocolos seguidos en cada una de las prácticas de laboratorio deberían ser evaluados y replanteados con el fin de que incluyan la forma de reciclar, desactivar o disponer los productos finales de reacción. Además se debe promover el uso eficiente de recursos como el agua y energía.

Elaborar el programa de gestión ambiental. Debe contemplar las acciones a desarrollar para alcanzar los objetivos medioambientales, enmarcado en la prevención de la contaminación e incluyendo actividades, cronogramas, recursos necesarios y responsabilidades.

Establecer un programa de capacitación. El factor humano es determinante en el éxito de la gestión ambiental, por lo tanto se debe diseñar un programa de educación periódico en manejo seguro de productos químicos, gestión de residuos y seguridad en laboratorios, entre otros.

7.4.3 Implementación y Operación. En esta fase se deben desarrollar procesos que permitan mejorar el desempeño ambiental, en lo posible prevenir antes que tratar, esto es, ejecutar el programa de gestión ambiental. Se requiere de un compromiso presupuestal para mejorar los procesos y adoptar tecnologías más limpias que permitan reducir, reusar o recuperar, de igual forma es necesario capacitar al personal, incluyendo docentes, estudiantes y laboratoristas. Esta etapa se realiza una vez se ha recopilado la información necesaria de impactos generados, de legislación aplicable, se han definido objetivos, metas y se han planificado las actividades.

El contar con una documentación de procedimientos, instrucciones, información de los procesos, organigramas y planes de emergencia entre otros, contribuirá al correcto funcionamiento del sistema. En el Anexo E, se presenta una aplicación del diseño y la utilización de un procedimiento operativo para el control de derrames, en el sistema de administración ambiental Iso 14001.

7.4.4 Verificación, Acciones preventivas y correctivas. Cuando se ha puesto en marcha el sistema de gestión medioambiental, éste debe ser capaz de detectar y corregir cualquier tipo de deficiencia presentada, buscando las causas para poder evitar su reparación. Se deben establecer y mantener procedimientos documentados para monitorear y medir con regularidad los aspectos que puedan tener un impacto significativo en el medio ambiente, dentro de los cuales se puede incluir un seguimiento al desempeño medioambiental, los controles operacionales correspondientes, la calibración y el mantenimiento de los equipos de monitoreo, la conservación de los registros.

Además, se deben llevar registros con la fecha y la firma del responsable que permitan demostrar la implantación y operatividad del sistema de gestión medioambiental al interior de la universidad o ante terceros. Esta comprobación general del funcionamiento del sistema se hace a través de una auditoría; por personal interno o externo con criterio objetivo, con la cual se puede evaluar el cumplimiento de las metas ambientales y proponer ajustes.

Los resultados obtenidos deben ser analizados y empleados para determinar las áreas que evolucionan satisfactoriamente, así como las que necesitan acciones correctivas.

7.4.5 Revisión por las Directivas. Debe facilitar la retroalimentación entre la administración y los empleados. Anualmente, se presentarán los resultados del Programa de Gestión Medioambiental, valorando el grado de cumplimiento para realizar los ajustes correspondientes al funcionamiento del sistema de gestión medioambiental. Además, se debe evaluar la necesidad de ajustar la política, los objetivos u otros elementos del sistema para lograr el mejoramiento continuo.

7.5 PROPUESTA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA GENERADA POR LOS LABORATORIOS ESPECIALIZADOS

Cortinas de Nava⁶⁰ expresa que el enfoque para reducir y prevenir la contaminación ambiental no se debe centrar al final de los procesos, sino que es necesario buscar alternativas que vayan al origen del problema y que sean costo efectivas, mejorando el desempeño ambiental de la institución, en términos de consumo de agua, de reactivos, a través de sustitución de materiales peligrosos, adopción de tecnologías más limpias, reuso, reciclado y regeneración de residuos, prevención de la contaminación y disminución de la generación de residuos en la fuente.

La NTP 276 de el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo⁶¹, España, establece que se deben tener en cuenta y valorar algunos aspectos para la elección de un modelo de gestión de residuos adecuado, tales como volumen de residuos generados, periodicidad de generación, facilidad de neutralización, posibilidad de recuperación, reciclado o reutilización, costo del tratamiento y de otras alternativas.

La propuesta que se presenta para la prevención de la contaminación hídrica se basa en el Proyecto Fondef D97F 1066 de la Universidad de Concepción, Chile. Cada uno de los generadores de residuos en los laboratorios especializados, en actividades de docencia, investigación o extensión, son conocedores de los procesos que desarrollan y son quienes deben ayudar a evaluar, implementar y mejorar cada una de las propuestas contando con el apoyo de la administración en capacitación y asignación de recursos.

⁶⁰ CORTINAS DE NAVA, Op. cit., p. 49

⁶¹ ESPAÑA. MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES. Eliminación de residuos en el laboratorio: Procedimientos generales. (NTP 276). [En línea]. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consulta: 3 junio 2004]. Disponibilidad URL: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_276.htm

7.5.1 Reducción en la fuente. Esta es la primera medida que se debe adoptar para reducir o eliminar la generación de un residuo peligroso en las actividades de los laboratorios; es necesario resaltar la importancia de evaluaciones de tipo técnico, ambiental y económico para determinar la viabilidad de las opciones. Se debe valorar la implementación de las siguientes alternativas:

7.5.1.1 Cambio de reactivos. En los laboratorios especializados se trabaja con 1.92% de compuestos cancerígenos, 12.50% peligrosos para el medio ambiente y 20.19% tóxicos (tabla 3); por lo que se debe evaluar la posibilidad de cambio de estos reactivos químicos de marcada acción biológica por otros de menor toxicidad; este cambio de reactivos puede implicar la adopción de nuevas técnicas analíticas e incluso una mayor instrumentalización en las determinaciones. En la utilización de solventes orgánicos se puede evaluar el cambio a solventes con menor toxicidad, mayor punto de ebullición o menor inflamabilidad. Es el caso del cloroformo, solvente orgánico halogenado que puede ser reemplazado por diclorometano, previa evaluación de su aplicabilidad en el análisis.

7.5.1.2 Cambio de procedimientos y operación.

Almacenamiento de reactivos. En este momento, el depósito de reactivos tiene un sistema común de almacenamiento, separado en nocivos, irritantes, inflamables, corrosivos, tóxicos, oxidantes y peligrosos para el medio ambiente, de acuerdo con características de peligrosidad (Anexo G) e incompatibilidades (Anexo H), en cargas verticales en estanterías en madera. Este cambio de procedimiento implica además que se tenga mayor control y un manejo más dinámico de las existencias. Es conveniente a largo plazo adecuar el depósito con ventilación forzada, instalación eléctrica e iluminación anti deflagrante y estantería metálica, exceptuando los compuestos corrosivos, para los que se recomienda la estantería actual en madera.

Implementación de técnicas de microanálisis. Se debe continuar la evaluación de técnicas que permitan disminuir la escala de trabajo y por tanto el volumen de vertimientos generados, específicamente en la extracción de las bases intercambiables en suelos; grasas y demanda bioquímica de oxígeno en aguas. De igual modo, la cuantificación de materia orgánica por espectrofotometría reduciría significativamente el volumen residual, comparado con la técnica volumétrica usada en el momento en los laboratorios de aguas-químico y bromatología. Esta opción puede requerir inversión para cambio de equipos y material, pero a mediano plazo puede significar menos costos por disposición de residuos.

Tratamiento primario de aguas residuales. Para disminuir la concentración de sólidos suspendidos en las aguas residuales, de 1993.13 mg/L en promedio en el periodo de muestreo, se propone la implementación de un tratamiento primario de filtración de las aguas procedentes del análisis de pH en suelos. Ni el filtrado ni los sólidos retenidos, 800g semanales, requieren un tratamiento previo a su descarga o disposición final, ya que en esta determinación, el suelo solo se mezcla con agua. El suelo retenido se puede utilizar como material de relleno. En la poceta de lavado de vidriería "a" se puede adecuar un filtro que retenga partículas de suelo de menos de 0.1mm.

Reducción de los caudales de aguas residuales. Según Metcalf⁶², la reducción de los caudales de las aguas residuales depende directamente de la reducción en el consumo interno de agua, por lo cual los términos caudal de agua residual y consumo interno se encuentran correlacionados. Para reducir el consumo de agua en los laboratorios se propone el aprovechamiento de las aguas de refrigeración, el cual es de 2.61 m³/día, para el lavado de material o su recirculación, con una evaluación técnica, ambiental y de costo beneficio. Las aguas residuales a tratar procedentes de los procesos de análisis, 330.9 L/mes, pueden reducirse en la medida en que se adopten metodologías de reducción en la fuente.

7.5.1.3 Implementación de políticas de procedimientos. Estos procedimientos pueden contribuir a la disminución de volúmenes de residuos generados en los laboratorios, algunos se han citado en apartados anteriores:

Evaluar probable sustitución de reactivos tóxicos en técnicas analíticas, especialmente los de acción cancerígena potencial o comprobada.

Comprar sólo la cantidad de reactivos necesarios para evitar que el almacenamiento prolongado los convierta en químicos de desecho.

Coordinar la realización de análisis comunes entre los laboratoristas para usar en conjunto los químicos.

Revisar semestralmente los reactivos almacenados.

Tener a disposición las Hojas de Seguridad de los productos químicos, las cuales brindan información ambiental y recomendaciones para la disposición final.

7.5.2 Recuperación y Reutilización. Consiste en efectuar un tratamiento al residuo que permita recuperar algún o algunos elementos o compuestos que su elevado valor o toxicidad hace aconsejable no eliminar. Es un procedimiento especialmente indicado para los metales pesados y sus compuestos, y puede requerir de una purificación previa a la reutilización.

Como se señaló anteriormente, la reutilización del etanol, éter etílico y acetona es una alternativa de reciclaje que se aplica en los laboratorios especializados. No obstante, sería de un impacto costo beneficio importante, el poder recuperar y purificar por medio de destilación estos solventes, que representan un 7.9% de los efluentes, y reutilizarlos en los procesos analíticos que los requieren, a excepción del éter etílico que si se recupera y reutiliza en la determinación de extracto etéreo.

7.5.3 Tratamiento en el punto de generación, el laboratorio. Aunque tradicionalmente las estrategias para el manejo de residuos, cuando se aplican, son de tipo terminal, en el ámbito de la gestión ambiental se deben evaluar en primer lugar, cada una de las alternativas preventivas citadas anteriormente, esto es, reducción en la fuente, reutilización y recuperación. En jerarquía de importancia, se continúa con la evaluación del tratamiento de los residuos, para finalizar con la disposición final.

De acuerdo con el Proyecto Fondef D97F 1066⁶³ de la Universidad de Concepción, Chile, el tratamiento es la reducción o eliminación de la toxicidad de un residuo químico

⁶² METCALF & EDDY, Op. cit., p. 46

⁶³ UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, Op. cit.

peligroso por alteración de los constituyentes tóxicos del residuo a formas menos tóxicas o no tóxicas o por disminución de la concentración de constituyentes tóxicos en el residuo, por métodos distintos a la dilución. A continuación se presentan los pasos a seguir para implementar un tratamiento adecuado a los efluentes de los laboratorios especializados.

7.5.3.1 Segregación de los residuos. Se sugiere la segregación de las corrientes de residuos, según su naturaleza, en contenedores especiales para su disposición final, ya que el tratamiento de volúmenes pequeños facilita el manejo y además, se evita el disponer de grandes zonas de almacenamiento que se pueden convertir en un peligro potencial si no se manejan adecuadamente.

Con el propósito de evitar que mezclas de residuos hagan más complejo su manejo, es necesario que se identifiquen los productos de reacción en cada análisis y se agrupen los que presenten afinidad para un tratamiento en particular. Inicialmente, se propone la siguiente segregación de residuos:

- A. Solventes orgánicos no halogenados
- B. Solventes orgánicos halogenados
- C. Soluciones salinas
- D. Soluciones acuosas ácidas
- E. Soluciones acuosas básicas
- F. Soluciones con cromo

7.5.3.2 Contenedores. Según lo establecido en el ChemDat⁶⁴ y por la Unidad de Medio Ambiente de la Universidad de Sevilla⁶⁵, los contenedores deben poder cerrarse, ser de material estable, seguro contra rupturas, a prueba de fugas, de tipo y tamaño adecuado al residuo a contener y en algunos casos deben ser combustibles.

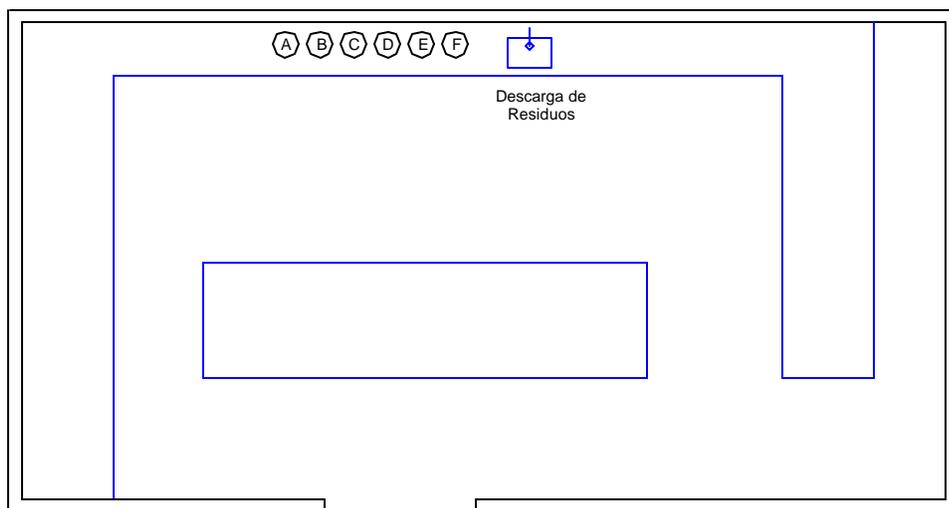
Se sugieren envases de 20 L en polietileno de alta densidad, que se pueden emplear para la mayor cantidad de residuos peligrosos, de tal forma que el material residual se almacene por cortos periodos de tiempo, máximo un mes, para evitar peligro por fugas. En el caso de los solventes orgánicos, se recomienda que se almacenen en el envase original. Los residuos se deben ubicar en un lugar separado y bien ventilado. Los recipientes colectores se deben rotular claramente de acuerdo con su contenido, y deben llevar los símbolos de peligrosidad y las frases R (riesgos específicos de sustancias peligrosas) y S (consejos de prudencia). Los contenedores deben permanecer cerrados para evitar evaporación y su tamaño se debe seleccionar de acuerdo al volumen de los residuos. Ya que en los laboratorios no se diseñó un espacio para el almacenamiento temporal y tratamiento de residuos, se puede disponer de la zona de digestión para este fin (figura 18).

⁶⁴ MERCK. ChemDat: The Merck Chemical Database. ([CD-ROM]. Darmstadt- Germany. 2004.

⁶⁵ UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Envasado de los residuos peligrosos. España: Unidad de Medio Ambiente. Servicio de mantenimiento. [En línea]. España. [Consulta: 8 octubre 2004]. Disponibilidad URL: <http://www.forpas.us.es/uma/rp/caracte.htm>

7.5.3.3 Tratamiento. En los Anexos I, J, K, L y M se presentan algunas propuestas de desactivación de productos químicos, extractada de Buen Ambiente en Química, de la Universidad de Santiago, The Merck Chemical Database, Panreac, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo y del Journal of Chemical Education.

Figura 18. Zona de almacenamiento y desactivación de residuos químicos



- A. Solventes orgánicos no halogenados
- B. Solventes orgánicos halogenados
- C. Soluciones salinas
- D. Soluciones acuosas ácidas
- E. Soluciones acuosas básicas
- F. Soluciones con cromo

Es necesario que se determinen muy bien los productos de reacción obtenidos en cada análisis para implementar su tratamiento, realizando ensayos a escala con el fin de detectar problemas imprevisibles, establecer las modificaciones pertinentes y validar estas metodologías. Estos procedimientos los debe realizar personal con capacitación adecuada y con las medidas de protección requeridas, en cabina de extracción de gases, porque se pueden generar reacciones químicas peligrosas.

Neutralización. Ya que el problema más inmediato a corregir es la elevada acidez de los efluentes de los laboratorios especializados, se recomienda utilizar la metodología de neutralización ácido base propuesta por Margaret Ann Armour⁶⁶, que tiene la ventaja de utilizar residuos o excesos de soluciones ácidas minerales con bases, y ajuste posterior del pH con carbonato de sodio o hidróxido de sodio. Con este procedimiento, se podría tratar mensualmente 167.58L/mes, es decir un 50.64% de los efluentes.

⁶⁶ ARMOUR, Margaret-Ann. Safety in the chemical laboratory: Chemical waste management and disposal. En: Journal of chemical education. Vol. 65, No. 3 (mar. 1988). p. A64

Reducción del cromo. Otro parámetro importante a controlar en los efluentes es la concentración de cromo, que fue en promedio de 88.28 mg/L. Es necesario segregarse las aguas residuales que contengan cromo, las cuales provienen de la determinación de materia orgánica y cloruros. Como producto de reacción en la determinación de materia orgánica, el cromo queda en un estado reducido que es la forma no tóxica de este metal. Se recomienda adaptar la metodología propuesta en el Anexo M, formando hidróxido de cromo insoluble por la reducción del cromo con una solución de tiosulfato de sodio.

7.5.4 Disposición de residuos. La normatividad de residuos especiales está reglamentada en el país por el Ministerio de Salud, en el Decreto 1594 de 1984 y en la Resolución 2309 del 24 de febrero de 1986. En la región hay un gestor externo que puede brindar el servicio de disposición de residuos químicos peligrosos. La selección de cualquier tipo de eliminación de residuos debe estar sujeta al cumplimiento de la normatividad vigente, y en la mayoría de los casos a la aprobación por parte del ente regulador.

7.5.4.1 Vertido. Recomendable para residuos no peligrosos y peligrosos, una vez reducida su peligrosidad mediante neutralización o tratamiento adecuado. El vertido se puede realizar directamente a las aguas residuales o bien a un vertedero, preparado convenientemente para prevenir contaminaciones en la zona y preservar el medio ambiente.

7.5.4.2 Incineración. Los residuos son quemados en un incinerador, con características de diseño especial, y reducidos a cenizas. Es un método muy utilizado para eliminar residuos de tipo orgánico y material biológico. Debe controlarse la temperatura y la posible toxicidad de los humos producidos. La instalación de un incinerador sólo está justificada por un volumen importante de residuos a incinerar o por una especial peligrosidad de los mismos. El residuo inerte debe ser dispuesto de manera adecuada. El gestor externo que presta sus servicios en la ciudad, recibe residuos previamente desactivados, a excepción de material radiactivo y metales pesados. Sin embargo, esta alternativa es altamente cuestionada debido al poco control que se tiene en la emisión de dioxinas en estos hornos.

7.5.4.3 Encapsulación. En el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y similares en Colombia⁶⁷, se determina para compuestos citotóxicos, como una alternativa a la incineración, que los residuos se llenen en contenedores especiales hasta el 50% de su capacidad, posteriormente, adicionar una mezcla de cal, cemento y agua en relación en peso de 15:15:5, hasta llenar el contenedor. Se sella el contenedor y se deja en reposo por un periodo de 15 a 28 días. Los residuos quedan aislados en el bloque, para disposición en celda especial en relleno sanitario. Esta técnica se puede aplicar a residuos cancerígenos o muy tóxicos; y se sugiere para el residuo sólido procedente de la reducción de las soluciones de cromo.

7.5.4.4 Devolución al proveedor. Se recomienda devolver al proveedor todos los productos que hayan envejecido en las estanterías del depósito. Sin embargo, esta no es

⁶⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y similares en Colombia. 2000. p 68-69

una posibilidad factible en nuestro medio; por lo cual es necesario enfatizar en reducir las existencias al mínimo y comprar solo lo que se va a utilizar en un periodo corto de tiempo, que puede ser un año, teniendo especial cuidado con los químicos que presenten fecha de vencimiento.

8. CONCLUSIONES

En los laboratorios especializados de aguas-análisis químico, suelos y bromatología se generan vertimientos líquidos de composición muy variable no sólo por la diversidad de productos de reacción química, sino también por las interacciones de tipo acumulativo o antagónico que puedan presentarse entre éstos.

En el periodo de estudio, se descargó un promedio de 330.9 L/mes de vertimientos, de los cuales el mayor aporte, 41.46%, fue de carácter salino, seguido por residuos ácidos, con 34.81%, bases con 15.84% y solventes orgánicos en menor proporción, con 7.90%.

En relación al consumo interno de agua para los procesos realizados en los laboratorios, el caudal utilizado en el lavado de material de vidriería, con un promedio de 3.01 m³/día, es equivalente al utilizado para procesos de refrigeración, de 2.99 m³/día.

Los vertimientos líquidos de los laboratorios de extensión presentan como características valores de pH ácidos con promedio de 2.1, acidez elevada con promedio de 9075.51 mg/L, alcalinidades bajas promedio de 1.82 mg/L, que no permiten una acción buffer. Además, una concentración promedio de sólidos disueltos de 13465.94 mg/L, turbidez de 2637.8 UNT y conductividades elevadas, con promedio de 5474.79 μ S/cm.

Actualmente, los vertimientos líquidos evacuados en los laboratorios de extensión de la Universidad de Nariño, reciben una dilución en el momento de descarga, lo cual no constituye un tratamiento aceptable para residuos químicos.

Las acciones de tratamiento inmediato a realizar con los efluentes de los laboratorios especializados son la segregación de corrientes de residuos, la neutralización de soluciones residuales ácidas con soluciones residuales básicas hasta ajuste del pH, la reducción y precipitación química del cromo en solución y la retención de sólidos en suspensión.

La ejecución de un programa de gestión para el manejo de residuos tóxicos y peligrosos requiere de un compromiso institucional para la implementación y mejora del mismo, así como de cada uno de los generadores en el reconocimiento de sus responsabilidades individuales.

Es necesario crear una mayor conciencia en cada uno de los involucrados con el manejo de sustancias químicas en el sentido que la prevención de riesgos asociados con manejo de sustancias peligrosas solo se puede lograr si se establece una cultura de la seguridad.

9. RECOMENDACIONES

Capacitar a cada uno de los generadores de residuos para que con la asesoría necesaria puedan identificar sus emisiones, valorar los impactos producidos y generar opciones de prevención de la contaminación.

Encaminar esfuerzos hacia alternativas de reducción en la fuente, recuperación y reutilización como base de una gestión interna en los laboratorios de la Universidad de Nariño.

Valorar metodologías de biorremediación de los efluentes procedentes de los análisis químicos.

Elaborar el manual de gestión integral de los laboratorios de la institución, evaluando en conjunto los componentes del sistema, como agua, manejo de residuos, energía y emisiones al aire.

Normalizar las técnicas de desactivación de residuos peligrosos, teniendo en cuenta aspectos técnicos, ambientales y de costos.

Lograr el apoyo institucional para implementar un sistema de gestión medioambiental que garantice la preservación de la salud y el medio ambiente y refleje el compromiso institucional con la sostenibilidad ambiental.

Evaluar la factibilidad de reutilización de 2.61 m³/día de agua, utilizados en procesos de refrigeración, los cuales se podrían aprovechar para recirculación o lavado de vidriería.

Evaluar posibilidades de infiltración de los vertimientos desactivados como método de disposición final, previa realización de estudios geohidromorfológicos del terreno.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y Residuales. 17 ed. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1992.

ARMOUR, Margaret-Ann. Safety in the chemical laboratory: Chemical waste management and disposal. En: Journal of chemical education. Vol. 65, No. 3 (mar. 1988); p. A64- A68

BARBA HO, Luz Edith. Química Asociada con la Contaminación del Agua. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Departamento de Procesos Químicos y Biológicos, Sección de Saneamiento Ambiental. Cali, 1989. 165 p

CATALÁN LA FUENTE, José. Química del Agua. España: Talleres Figuras Alonso, 1981. 423 p

CÓDIGO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES Y DE PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE. 3 ed. Bogotá: Legis Editores S.A., 2002. 406 p

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Perfil Nacional para una Gestión Racional de las Sustancias Químicas. Santafé de Bogotá: Estrategias Educativas Ltda., 1998. 119 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000. Sección II, Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. Bogotá, nov de 2000. 144 p

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Disposiciones Sanitarias sobre Aguas. Bogotá, 1984. 138 p

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución 2309 del 24 de febrero de 1986. 14 p

COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y similares en Colombia, 2000. 73 p

CORTINAS DE NAVA, Cristina. Comunicación de Riesgos: Para el Manejo de Sustancias Peligrosas con énfasis en Residuos Peligrosos. México: Instituto Nacional de Ecología, 2000. 110 p

_____. Promoción de la Prevención y Reducción de Riesgos Químicos Ambientales. México: Instituto Nacional de Ecología, 1999. 223 p

DOMÉNECH, Xavier. Química Ambiental: El impacto Ambiental de los Residuos. 3 ed. Madrid: Miragrano Ediciones, 1993. 254 p

ESPAÑA. MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES. Eliminación de residuos en el laboratorio: Procedimientos generales. (NTP 276). [En línea]. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consulta: 3 junio 2004]. Disponibilidad URL: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_276.htm

FAIR, Gordon Maskew, GEYER, John Charles y OKUN, Daniel Alexander. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales: Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Vol II. México: Editorial Limusa, 1997. 764 p

FREEMAN, Harry M. Manual de Prevención de la Contaminación Industrial. México: McGraw-Hill, 1998. 943 p

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC Sistemas de administración ambiental: Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo. Santafé de Bogotá: Icontec, 1996. 41 p. (NTC - ISO 14004)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC Sistemas de administración ambiental: Especificaciones con guía para uso. Santafé de Bogotá: Icontec, 1996. 26 p. (NTC - ISO 14001)

LIRA, Gonzalo. Buen ambiente en química: Compendio para manejo, tratamiento y monitoreo de residuos peligrosos en un laboratorio químico o bioquímico. [En línea]. Chile: Universidad de Santiago de Chile, 1999. [Consulta: 20 noviembre 2003]. Disponibilidad URL: <http://lauca.usach.cl/ima/buenambiente/residuos.htm>

MERCK. ChemDat: The Merck Chemical Database. [CD-ROM]. Darmstadt- Germany, 2004.

METCALF & EDDY Inc. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3 ed. Tomo I. México: McGraw-Hill, 1996. 752 p

OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO (Ginebra). Seguridad en la utilización de productos químicos en el trabajo. Santafé de Bogotá: Quebecor Impreandes, 2000. 109 p.

PANREAC. Catálogo General 2001. Creación grafiques Canigó S.L. 1160 p

PROGRAMA DE MANEJO DE RESIDUOS. [En línea]. Buenos Aires. [Consulta: 20 noviembre 2003]. Disponibilidad URL: <http://www-atmo.at.fcen.uba.ar/habitat/Info/Residuos.html>

ROJAS, Olga. Análisis Físicoquímicos de Aguas: Métodos Normalizados. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Departamento de Procesos Químicos y Biológicos, Sección de Saneamiento Ambiental. Cali, 1988. 251 p

SALAZAR CANO, Roberto. Teoría y Diseño de los Tratamientos de Aguas Residuales. Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, Pasto: Editorial Universitaria, 2002. 362 p

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN. Proyecto Fondef D97F1066. Reglamento de manejo de residuos peligrosos. [En línea]. Chile: Universidad de Concepción. Diciembre 1998.

[Consulta: 10 enero 2004]. Disponibilidad URL:
<http://www.udec.ch/sqrt/reglamento/reglresiduos.html>

UNIVERSIDAD DE GRANADA. Manual de Procedimientos FCPR-11: Control analítico de las aguas residuales. [En línea]. España. [Consulta: 13 enero 2005]. Disponibilidad URL:
http://www.ugr.es/~gabpca/ciencias/FCPR_11anexo2.htm

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. Manual de gestión de residuos peligrosos. [En línea]. España. [Consulta: 8 febrero 2005]. Disponibilidad URL:
http://www3.usal.es/personal/usalud/calid_amb/manual.htm

UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Envasado de los residuos peligrosos. España: Unidad de Medio Ambiente. Servicio de mantenimiento. [En línea]. España. [Consulta: 8 octubre 2004]. Disponibilidad URL: <http://www.forpas.us.es/uma/rp/caracte.htm>

A N E X O S

ANEXO A Formato para identificación de residuos líquidos generados en los laboratorios especializados

Fecha : _____

Laboratorio : _____

La siguiente encuesta tiene como objetivo identificar los efluentes líquidos generados en los laboratorios especializados de aguas, suelos y bromatología de la Universidad de Nariño. Agradezco de antemano su colaboración.

1. Qué tipo de muestras procesa en el laboratorio? _____

2. En promedio, cuántas muestras / mes analiza? _____

3. Qué caudal de agua (L/min) utiliza en los siguientes procesos
 Destilación : _____ Refrigeración : _____
 Lavado de vidriería : _____ Otros : _____

4. Genera descargas líquidas con temperaturas superiores a la temperatura ambiente? No : ____ Sí : ____
 Proceso T°
 _____ _____
 _____ _____
 _____ _____
 _____ _____

5. Realice un diagrama donde se contemplen los procesos de análisis que usted realiza y el flujo de agua utilizado en los mismos (hoja adjunta)

6. La siguiente tabla tiene como finalidad permitir identificar los reactivos que son evacuados como efluentes líquidos en los procesos de análisis

Parámetro evaluado	reactivo	Cantidad/100 muestras	Forma de evacuación	
			directa	tratamiento

7. Ha implementado técnicas de microanálisis? Sí : ___ No : ___Cuál / Por qué :

8. Reutiliza y/o recupera algún solvente utilizado en los procesos de análisis?

9. Qué clasificación utiliza para almacenar los reactivos?

10. Consulta las etiquetas y hojas de los seguridad reactivos antes de utilizarlos? _____

11. Realiza algún tipo de tratamiento de los residuos líquidos previo a su vertimiento? No : ___ Si : ___Cuál :

12. Considera Usted que los proceso de análisis realizados ocasionan algún tipo de contaminación ambiental? _____

13. Estaría en disposición de implementar procedimientos que contribuyan con un mejor desempeño ambiental de los laboratorios especializados de la Universidad? _____

ANEXO B. Caracterización Físicoquímica de Aguas Residuales de los Laboratorios

Parámetro	Muestreo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Abr-28	May-06	May-15	May-21	May-29	Jun-09	Jun-17	Jun-25
pH	0,59	1,1	4,51	4,57	1,03	5,23	1,9	1,51
Acidez mg/L	20360	1880	49,6	37,8	192	46	198	194,8
Alcalinidad mg/L	0	0	0	0	0	10,2	0	0
Conductividad uS/cm	740	26800	295	325	1377	30,5	987	47,2
Turbiedad UNT	260	1640	275	1893	1320	240	1420	236
Calcio mg/L	340	330	109	164	879	29	225	3,7
Dureza total mg/L	520	560	196	920	1040	85	680	6,4
Sulfatos mg/L	378	284	2843	37800	295,7	214	3780	632
Nitrógeno total mg/L	84	182	728	6720	280	46,2	61,6	53,2
Fósforo total mg/L	7,4	24,6	5,6	195,5	60,5	1,83	14,23	1,97
Magnesio mg/L	180	230	87	756	161	56	425	2,7
Manganeso mg/L	27	4	109	4,3	2	1	0,5	2,2
Hierro mg/L	10,9	174,8	22,3	26,7	1,87	1,6	3,1	1,16
Cobre mg/L	1	15,9	2,02	0,8	0,2	0,6	0,4	0,2
Cromo mg/L	88,6	85,4	167,3	41,2	29,5	14,1	18,9	12,6
Zinc mg/L	2,7	1,4	3,2	1,4	0,4	1,4	0,4	0,4
Sólidos totales mg/L	9558	8982	10674	13688	21633	13133	16037	9144
Sólidos disueltos mg/L	8342	8038	542	12860	20234	12844	14518	9002
Sólidos suspendidos mg/L	1216	944	10132	828	1399	289	1519	142
Sólidos sedimentables mg/L-h	7,5	2,7	28,9	0,4	5,6	2,4	23	0,2
DBO ₅	2930	390	450	3740	680	53	782	34,7
DQO	8128	950	1150	4064	6096	45,6	1036	68,7

Parámetro	Muestreo							
	9	10	11	12	13	14	15	16
	Ago-19	Ago-22	Ago-25	Ago-28	Sep-02	Sep-03	Sep-08	Sep-11
pH	2,4	1,06	1,46	1,2	1,41	5,73	0,1	0,49
Acidez mg/L	100	27560	11960	33760	12920	1640	17370	16940
Alcalinidad mg/L	0	0	0	0	0	18,9	0	0
Conductividad uS/cm	1425	14200	3700	9800	4200	2870	11200	9600
Turbiedad UNT	1440	2240	8260	3840	3470	984	1280	13400
Calcio mg/L	912	310	390	320	1311	640	240	318
Dureza total mg/L	1480	430	600	560	2000	800	560	680
Sulfatos mg/L	4987	1098	2362	13387	5189	2625	9620	48737
Nitrógeno total mg/L	123,8	11,2	1820	3340	308	2929	833	251
Fósforo total mg/L	0,98	2,16	2,6	0,84	20,3	96,5	18,4	73,2
Magnesio mg/L	568	120	210	240	689	160	320	320
Manganeso mg/L	7,9	36,9	24,2	19	8	0,2	6,9	5,1
Hierro mg/L	7,43	6,8	2,7	27,4	2,08	6,18	5,9	17,8
Cobre mg/L	2,4	1,7	0,19	1,6	1	0,4	1	21,6
Cromo mg/L	24,25	82,1	345	425	29,1	5,25	9,28	34,9
Zinc mg/L	4,1	2,1	3,9	10,8	2,7	0,8	0,7	3,3
Sólidos totales mg/L	4608	30457	3244	28347	12352	2519	42485	20484
Sólidos disueltos mg/L	1225	28873	2501	21791	11002	2399	42362	18922
Sólidos suspendidos mg/L	3383	1584	743	6556	1350	120	123	1562
Sólidos sedimentables mg/L-h	28	0,5	0,6	0,8	5,8	19	0,8	0,7
DBO ₅	700	2600	1320	2860	920	2660	5940	800
DQO	1219	4064	2032	4016	1622	9870	8798	4064

ANEXO C. Análisis estadístico de los parámetros y Normatividad

Parámetro						Intervalo de confianza		Normatividad
	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviac típica	Lím sup	Lím inf		
pH	2,14	5,73	0,1	1,8097	3,05	1,24	5 -9 ¹	
Acidez mg/L	9075,51	33760	37,8	11257,5441	14704,28	3446,74	50 ³	
Alcalinidad mg/L	1,82	18,9	0	5,2174	4,43	-0,79	100 ³	
Conductividad uS/cm	5474,79	26800	30,5	7299,1203	9124,35	1825,23	3000 ⁴	
Turbiedad UNT	2637,38	13400	236	3495,4101	4385,08	889,67	10 ³	
Calcio mg/L	407,54	1311	3,7	355,8386	585,46	229,62	60 ³	
Dureza total mg/L	694,84	2000	6,4	500,6792	945,18	444,50	160 ³	
Sulfatos mg/L	8389,48	48737	214	14232,2531	15505,61	1273,35	400 ²	
Nitrógeno total mg/L	1110,69	6720	11,2	1825,5947	2023,48	197,89	100 ⁴	
Fósforo total mg/L	32,91	195,5	0,84	52,2069	59,02	6,81	15 ⁴	
Magnesio mg/L	282,79	756	2,7	221,8682	393,73	171,86	36 ³	
Manganeso mg/L	16,14	109	0,2	27,0754	29,68	2,60	0,2 ²	
Hierro mg/L	19,92	174,8	1,16	42,2736	41,06	-1,22	5,0 ²	
Cobre mg/L	3,19	21,6	0,19	6,1993	6,29	0,09	0,2 ²	
Cromo mg/L	88,28	425	5,25	124,0640	150,31	26,25	0,1 ²	
Zinc mg/L	2,48	10,8	0,4	2,5530	3,76	1,20	15 ²	
Sólidos totales mg/L	15459,06	42485	2519	10885,1311	20901,63	10016,50	< 500 ³	
Sólidos disueltos mg/L	13465,94	42362	542	11136,7063	19034,29	7897,58		
Sólidos suspendidos mg/L	1993,13	10132	120	2686,9945	3336,62	649,63	700 ⁴	
Sólidos sedimentables mg/L-h	7,93	28,9	0,2	10,4550	13,16	2,70	10 ¹	
DBO5	1678,73	5940	34,7	1631,6131	2494,54	862,92	700 ⁴	
DQO	3576,46	9870	45,6	3168,7872	5160,85	1992,06	1400 ⁴	

¹ Artículo 72-73, decreto 1594 de 1984

² Artículo 38-40, decreto 1594 de 1984

³ Decreto 475 de 1998

⁴ Manual de procedimientos FCPR-11, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España

ANEXO D. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov

Parámetro	P - Value	Normalidad	Nivel de confianza
pH	< 0.01	No	99 %
Acidez mg/L	< 0.01	No	99 %
Alcalinidad mg/L	< 0.01	No	99 %
Conductividad uS/cm	< 0.01	No	99 %
Turbiedad UNT	< 0.01	No	99 %
Calcio mg/L	< 0.01	No	99 %
Dureza total mg/L	< 0.05	No	95 %
Sulfatos mg/L	< 0.01	No	99 %
Nitrógeno total mg/L	< 0.01	No	99 %
Fósforo total mg/L	< 0.01	No	99 %
Magnesio mg/L	< 0.10	No	90 %
Manganeso mg/L	< 0.01	No	99 %
Hierro mg/L	< 0.01	No	99 %
Cobre mg/L	< 0.01	No	99 %
Cromo mg/L	< 0.01	No	99 %
Zinc mg/L	< 0.10	No	90 %
Sólidos totales mg/L	≥ 0.10	Si	≥ 90 %
Sólidos disueltos mg/L	≥ 0.10	Si	≥ 90 %
Sólidos suspendidos mg/L	< 0.01	No	99 %
Sólidos sedimentables mg/L-h	< 0.01	No	99 %
DBO ₅	< 0.01	No	99 %
DQO	< 0.05	No	95 %

ANEXO E. Análisis de Varianza para regresión lineal múltiple y simple

Parámetro	P value	Coefficiente de correlación	R² %	Nivel de confianza %
Dureza total mg/L Calcio mg/L Magnesio mg/L	0.000		99.94	99
Sólidos totales mg/L Sólidos disueltos mg/L Sólidos suspendidos mg/L Sólidos sedimentables mg/L-h			100.0	
Turbiedad UNT Sólidos suspendidos mg/L	0.831	-0.058	0.33	90
Conductividad μ S/cm Sólidos disueltos mg/L	0.177	0.355	12.62	90
DQO DBO ₅	0.001	0.743	55.25	99

ANEXO F. Aplicación del diseño y utilización de procedimientos. Respuesta a Emergencia por Derrames

1.0 Propósito

Este procedimiento operativo se aplicará siempre que se produzca un derrame de un químico.

1.1 Finalidad

Al tener una respuesta planeada ante los derrames, la Universidad de Nariño esta preparada para cumplir sus objetivos estratégicos de prevención de la contaminación y de reducción de impactos negativos sobre el medio ambiente.

1.2 Alcance y Objetivos

Este procedimiento se aplicará en caso de derrame de cualquier material considerado como peligroso. Su principal objetivo es prevenir la descarga accidental al medio ambiente y proteger salud de las personas.

1.3 Responsabilidades

El jefe de Laboratorios es el responsable de la implementación y el mantenimiento de este procedimiento.

1.4 Procedimiento

1.4.1 Evaluación de incidente. Cuando se produzca algún derrame, se deberá hacer una evaluación inmediata de la situación.

1.4.1.1 Evalúe el área. La persona responsable en el lugar del derrame deberá determinar inmediatamente si el derrame esta poniendo en peligro al medio ambiente, a las personas que se encuentran en el lugar, materiales o equipos. En todo momento esta persona debe llevar el equipo de protección adecuado. Si se ha producido algún peligro, se deberá iniciar la evacuación.

1.4.1.2 Localice el origen del derrame. Identificar el producto químico que provocó el incidente.

1.4.1.3 Consulte la etiqueta del producto para determinar contenido y riesgos. Los productos químicos peligrosos identificados en el contenedor, deben ser examinados y se deben consultar las fichas de seguridad.

1.4.1.4 Si no existe un peligro inmediato, se debe realizar un intento inicial para interrumpir el derrame, que debe ser llevado a cabo por personal con equipo protector. Se debe hacer actuando sobre el origen; detener el derrame de líquidos con material absorbente.

1.4.1.5 Registre todo lo observado para comunicarlo a la jefatura de laboratorios.

1.4.2 Evacuación. Si el vertido esta produciendo un peligro inmediato se debe activar los procesos de evacuación. La evacuación rápida y segura del personal es una prioridad.

1.4.2.1 Se debe poner en marcha la alarma de evacuación.

1.4.2.2 El área afectada por el vertido debe ser sellada bajo la supervisión del encargado del área.

1.4.3 Notificación a la Jefatura de Laboratorios. Se debe informar lo más pronto posible a la jefatura, para que se controle la emergencia.

1.4.3.1 Se debe suministrar información sobre personas, equipos, materiales y áreas afectadas. Se debe incluir ubicación, productos comprometidos, cantidad, condición actual.

1.4.3.2 Se debe buscar más información y si es necesario recurrir a asesoría externa.

1.4.4 Asegurar el área. Es necesario asegurar el área donde se ha producido el derrame con el fin de prevenir mayores complicaciones.

1.4.4.1 Alertar al personal del área sobre el derrame y evitar que se acerque a la zona.

1.4.4.2 Ventilar el área.

1.4.4.3 Acordonar el área.

1.4.4.4 Proteger con material absorbente equipos y materiales

1.4.4.5 Apagar cualquier equipo o fuente de ignición.

1.4.4.6 Localizar medios de extinción de incendios, como extintores o arena.

1.4.5 Control de la situación. Antes de realizar cualquier intervención, es necesario llevar los elementos de protección adecuados como ropa impermeable y resistente a productos químicos, guantes protectores, gafas de seguridad, mascarilla para gases.

1.4.5.1 Localice el origen del derrame o fuga y controle la situación.

1.4.5.2 Controle con barreras y/o materiales absorbentes.

1.4.5.3 Si el derrame es exterior, realizar barreras con tierra y zanjas.

1.4.5.4 Evite la contaminación del medio ambiente.

1.4.6 Limpieza de la zona contaminada.

1.4.6.1 Intente recuperar el derrame.

1.4.6.2 Trate el derrame:

Ácidos. Neutralizar con adsorbente neutralizador o bicarbonato de sodio

Bases. Neutralizar con adsorbente neutralizador o ácido clorhídrico o sulfúrico 0.1M.

Líquidos inflamables. Adsorber con carbón activado.

Otros líquidos no inflamables, ni tóxicos, ni corrosivos. Utilizar aserrín.

Ácido fluorhídrico. Utilizar una solución de hidróxido de calcio o de carbonato de calcio.

Cetonas. Emplear una solución de bisulfito sódico en exceso.

Formol. Utilizar una solución de hipoclorito sódico.

1.4.6.3 Lave la zona afectada con agua, en caso de que no haya incompatibilidad

1.4.6.4 Rotule los recipientes que contienen los residuos.

1.4.6.5 Desactive los residuos

1.4.7 Descontaminación de personal y equipos.

1.4.7.1 Se debe disponer de una zona de descontaminación; lavar equipos y ropa utilizada.

1.4.7.2 Las personas que participaron en la descontaminación deben bañarse.

1.5 Definiciones

Emergencia. Situación que requiere respuesta inmediata.

Derrame. Cualquier vertido accidental de una sustancia líquida con efectos peligrosos.

1.6 Documentos relacionados

Utilización de equipo de protección

Activación de alarmas

Control de derrames

Desactivación de residuos químicos
Proceso de alerta a la comunidad universitaria

1.7 Puntos de Auditoría

Existen procedimientos e instrucciones de emergencia en todas las áreas que se almacenan o manejan productos químicos?

Se han documentado los derrames y se ha identificado la causa de los mismos?

Adaptado de:

MUNEVAR, Alejandro. Iso 14001. Memorias de clase. Postgrado en Ecología. Universidad de Nariño San Juan de Pasto, mayo de 2004

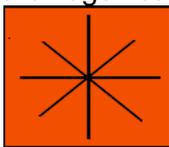
LIRA, Gonzalo. Buen ambiente en química: Compendio para manejo, tratamiento y monitoreo de residuos peligrosos en un laboratorio químico o bioquímico. [En línea]. Chile: Universidad de Santiago de Chile, 1999. [Consulta: 20 noviembre 2003]. Disponibilidad URL: <http://lauca.usach.cl/ima/buenambiente/residuos.htm>

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. Manual de gestión de residuos peligrosos. [En línea]. España. [Consulta: 8 febrero 2005]. Disponibilidad URL: http://www3.usal.es/personal/usalud/calid_amb/manual.htm

ANEXO G. Clasificación de peligrosidad de sustancias químicas

Sustancia	Peligro	Ejemplo	Precaución
<p>Explosiva</p> 	<p>Sustancias que pueden explotar bajo determinadas condiciones como calentamiento, sin calentamiento adicional, por golpes o rozamientos. Algunas son dañinas para la salud y atacan la piel</p>	<p>dicromato de amonio, ácido pícrico, trinitroclorobenceno</p>	<p>Evitar derrame, choque, fricción, formación de chispas y acción del calor. No verter nunca al desagüe, ni botar a la basura</p>
<p>Comburente</p> 	<p>Pueden inflamar sustancias combustibles o favorecer la propagación de incendios, dificultando su extinción. Frecuentemente son sustancias muy corrosivas y dañinas para la salud</p>	<p>permanganato de potasio, ácido nítrico fumante, peróxido de hidrógeno</p>	<p>Evitar cualquier contacto con sustancias inflamables</p>
<p>Inflamables</p> 	<p>Presentan riesgo de incendio. Algunas tienen efectos narcóticos y desengrasan la piel</p> <ul style="list-style-type: none"> ☉ autoinflamables ☉ gases fácilmente inflamables ☉ sensibles a la humedad ☉ Líquidos inflamables 	<p>Alquilos de aluminio, fósforo Butano, propano</p> <p>Litio, borohidruro de sodio</p> <p>Acetona, benceno</p>	<p>Evitar contacto con piel. Buena ventilación.</p> <p>Evitar contacto con el aire Evitar formación de mezclas inflamables gas-aire y aislar de fuentes de ignición Evitar contacto con agua o humedad Aislar de llamas, fuentes de calor y chispas</p>

<p>Tóxicas</p>  <p>Tóxico Toxic Toxique</p> <p>T</p>	<p>Tras inhalación, ingestión o absorción a través de la piel pueden presentarse trastornos orgánicos de carácter grave o incluso muerte. Poseen frecuentemente características corrosivas, autoinflamables o de fácil combustión</p>	<p>Trióxido de arsénico, cloruro de mercurio (II), tetracloruro de carbono</p>	<p>Evitar contacto con piel, ojos o prendas de vestir. No verter desechos en el desagüe</p>
<p>Nocivas</p>  <p>Nociva</p> <p>X_n</p>	<p>Al ingerir, inhalar o estar en contacto con piel o mucosas, pueden ocasionar daños leves a la salud. Poseen frecuentemente características corrosivas, autoinflamables o de fácil combustión.</p>	<p>Tricloroetileno, glicol, butanol</p>	<p>Evitar contacto, inhalación de vapores. No verter al desagüe</p>
<p>Corrosivas</p>  <p>Corrosivo Corrosive Corrosif</p> <p>C</p>	<p>Pueden ocasionar irritaciones o daños irreparables, destruyen tejido vivo y otros materiales. Posee un pH 2 ó 12.5. Pueden presentar características venenosas o activar la combustión</p>	<p>Bromo, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, nítrico, fluorhídrico, acético. Hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de amonio</p>	<p>No inhalar vapores, evitar contacto con piel, ojos, ropa</p>
<p>Irritantes</p>  <p>Irritante Irritant Irritant</p> <p>Xi</p>	<p>Pueden producir acción irritante sobre piel, ojos, y órganos respiratorios. Poseen frecuentemente características dañinas a la salud, autoinflamables o de fácil combustión. Pueden producir graves daños a los ojos</p>	<p>Solución de amoníaco, cloruro de bencilo</p>	<p>No inhalar vapores, evitar contacto con piel, ojos. No verter al desagüe</p>

<p>Peligrosa para medio ambiente</p> 	<p>Pueden producir daño al ecosistema acuático o no acuático por cambio en el equilibrio natural, inmediatamente o con posterioridad</p>	<p>Xileno, clorobenceno, nitrobenzeno, dicromato de potasio</p>	<p>Evitar evacuar al medio ambiente</p>
<p>Carcinogénica</p> 	<p>Pueden producir cáncer o aumentar su frecuencia por inhalación, ingestión o penetración cutánea</p>	<p>α - naftilamina, formaldehído</p>	<p>No inhalar vapores, evitar contacto, ingestión. No verter al desagüe</p>
<p>Mutagénicos</p>	<p>Sustancias o preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden producir defectos genéticos hereditarios o aumentar su frecuencia</p>	<p>Hidracina, yoduro de cadmio</p>	<p>No inhalar vapores, evitar contacto, ingestión. No verter al desagüe</p>
<p>Tóxicos para la reproducción</p>	<p>Sustancias o preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden producir malformaciones congénitas no hereditarias o aumentar su frecuencia, o afectar de forma negativa la capacidad reproductiva femenina</p>	<p>Quinina, andrógenos, dietilbestrol</p>	<p>No inhalar vapores, evitar contacto, ingestión. No verter al desagüe</p>

Adaptado de:

MERCK. ChemDat: The Merck Chemical Database. [CD-ROM]. Darmstadt- Germany. 2004

UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Envasado de los residuos peligrosos. España: Unidad de Medio Ambiente. Servicio de mantenimiento. [En línea]. España. [Consulta: 8 octubre 2004]. Disponibilidad URL: <http://www.forpas.us.es/uma/rp/caracte.htm>

ANEXO H. Incompatibilidades Químicas

Compuesto	Incompatibilidades químicas y condiciones a evitar
1,1-Dicloroetano	Se descompone al calentar originando fosgeno y cloruro de hidrógeno. Reacciona con oxidantes fuertes, metales alcalinos y alcalinotérreos y polvos metálicos con riesgo de incendio o explosión. En contacto con bases fuertes forma acetaldehído (gas tóxico e inflamable).
1,1,1- Tricloroetano	Bases fuertes, aluminio, oxidantes fuertes, Mg, Na, K, luz ultravioleta, calor, acetona, óxidos de nitrógeno, metales pulvulentos.
1,2- Dicloroetano	Metales alcalinos y alcalinotérreos, aluminio o magnesio en polvo, amidas alcalinas, ácido nítrico.
1,2-Butanidiol	Oxidantes fuertes.
1,2-Dibromometano	Al, Mg, Na, Zn, K,Ca, agentes oxidantes, bases, amoníaco líquido. En contacto con superficies calientes se desprende bromuro de hidrógeno.
1,2-Dicloroetileno	En contacto con llamas y superficies calientes se forman gases y vapores tóxicos. Reacciona con oxidantes fuertes. Puede formar peróxidos explosivos. Puede explotar por calentamiento intenso o contacto con las llamas.
1,4-Dioxano	Puede formar peróxidos explosivos. Reacciona vigorosamente con oxidantes y ácidos fuertes. Reacciona explosivamente con algunos catalizadores.
2- Amino fenol	Ácidos fuertes y oxidantes fuertes.
Acetaldehído	Puede formar peróxidos explosivos en contacto con el aire. Reacciona con oxidantes. Puede polimerizar por influencia de ácidos, trazas metálicas y materiales alcalinos.
Acetato de amilo	Agentes oxidantes fuertes.
Acetato de amonio	Agentes oxidantes fuertes, ácidos fuertes.
Acetato de etilo	Calentamiento. Metales alcalinos, flúor, hidruros, oxidantes fuertes, agua con aire y luz. Luz ultravioleta, bases y ácidos, plásticos.
Acetona	Calentamiento. Hidróxidos alcalinos, halógenos, hidrocarburos halogenados, halogenuros de halógeno, metales alcalinos, nitrosilos, metales, etanolamina, 1,1,1,-tricloroetano. Puede formar peróxidos explosivos en contacto con oxidantes fuertes como ácido acético, ácido nítrico, y peróxido de hidrógeno.
Ácido acético glacial	Calentamiento fuerte. Anhídridos/agua, aldehídos, alcoholes, halogenuros de halógeno, oxidantes fuertes, metales, hidróxidos alcalinos, halogenuros de no metales, etanolamina, bases fuertes, reacciona con oxidantes como el trióxido de cromo o permanganato de potasio, ataca muchos metales formando hidrógeno.
Ácido benzoico	Flúor, oxígeno. Oxidantes.
Ácido bórico	Potasio
Ácido cítrico	Agentes oxidantes, reductores, bases, nitratos metálicos.
Ácido clorhídrico	Aluminio, aminas, carburos, hidruros, flúor, metales alcalinos, metales, permanganato de potasio, soluciones fuertes de hidróxidos alcalinos, halogenatos, ácidos sulfúrico concentrado, óxidos de semimetales, aldehídos, sulfuros, siliciuro de litio, éter vinilmetílico, etileno, oxidantes fuertes y aluminio. Ataca los metales formando hidrógeno.
Ácido cloroacético	Por calentamiento libera gases tóxicos y corrosivos de cloruro de hidrógeno y fosgeno. Reacción con bases.
Ácido fluorhídrico	Glicerol con ácido nítrico, hidróxido de amonio, hidróxido de sodio, permanganato de potasio.
Ácido fórmico	Calentamiento. Soluciones de hidróxidos alcalinos, aluminio, oxidantes fuertes, ácido sulfúrico, óxidos no metálicos, nitrocompuestos orgánicos, catalizadores metálicos, óxidos de fósforo, peróxido de hidrógeno. Ataca

Ácido L-ascórbico	muchos metales en presencia de agua. Ataca muchos plásticos.
Ácido láctico	Calentamiento.
Ácido nítrico	Ácido nítrico, ácido fluorhídrico.
Ácido orto-fosfórico	Calentar. Inflamables orgánicos, compuestos oxidables, disolventes orgánicos, alcoholes, cetonas, aldehídos, anhídridos, aminas, anilinas, nitrilos, nitrocompuestos orgánicos, hidracina, acetiluros, metales y aleaciones metálicas, óxidos metálicos, metales alcalinos y alcalinotérreos, amoníaco, soluciones de hidróxidos alcalinos, ácidos, hidruros, halógenos, compuestos halogenados, óxidos no metálicos, halogenuros de no metales, hidruros de no metales, no metales, fósforos, nitruros, siliciuro de litio, peróxido de hidrógeno, metales en polvo, resinas de intercambio aniónicas.
Ácido oxálico	Calentamiento fuerte. Bases, metales, óxidos metálicos, nitrometano, bases fuertes.
Ácido perclórico	En presencia de calor se descompone originando ácido fórmico y monóxido de carbono. Reacciona con oxidantes fuertes. Reacciona con algunos compuestos de plata formando oxalato de plata explosivo. Soluciones de hidróxidos alcalinos, amoníaco, halogenatos, oxidantes, metales alcalinos y agua/calor. Reacciona con compuestos de plata, mercurio e hipoclorito sódico.
Ácido pícrico	Nitrilos, alcoholes, semimetales, óxidos de semimetales, sustancias inflamables, halogenuros de halógeno, éteres, metales, ácidos, anhídridos, halógenos, sulfóxidos, inflamables orgánicos, hidrocarburos halogenados, compuestos orgánicos, óxidos no metálicos, reductores, ácido nítrico, ácido sulfúrico concentrado, calor, hidrógeno, impurezas/polvo.
Ácido sulfúrico	Puede descomponerse con explosión por choque, fricción o sacudida. Puede estallar por calentamiento intenso. Formación de compuestos inestables al choque frente al contacto con cobre, plomo, mercurio y cinc. Reacción con oxidantes y agentes reductores.
Ácidos orgánicos	Calentamiento fuerte. Agua, metales alcalinos y alcalinotérreos, compuestos alcalinos y alcalinotérreos, amoníaco, soluciones de hidróxidos alcalinos, ácidos, metales (origina hidrógeno), fósforo, halogenuros de halógeno, halogenatos, permanganatos, nitratos, carburos, sustancias inflamables, disolventes orgánicos, acetiluros, nitrilos nitrocompuestos orgánicos, anilinas, peróxidos, picratos, nitruros, cobre, acetaldehído.
Acrilamida	Ácido sulfúrico, bases, amonio, aminas alifáticas, alcanolaminas, aminas aromáticas.
Alcohol butílico	Por calentamiento intenso o influencia de la luz puede polimerizar violentamente. Al descomponerse por calor puede producir gases tóxicos y óxidos de nitrógeno. Reacción violenta con oxidantes.
Alcohol metílico	Calor, sustancias oxidantes, peróxidos orgánicos, aluminio, trióxido de cromo.
Alcoholes y glicoles	Halogenuros de ácido, metales alcalinos y alcalinotérreos, oxidantes, hidruros, dietilo de cinc, halógenos, hipoclorito de sodio. Se descompone por calentamiento intenso desprendiendo formaldehído y monóxido de carbono.
Aldehídos	Ácido sulfúrico, ácido nítrico, bases, aminas alifáticas, isocianatos.
Amidas	Ácidos minerales no oxidantes, ácido sulfúrico, ácido nítrico, bases, amoníaco, aminas alifáticas, alcanolaminas, aminas aromáticas, ácidos fuertes, materias oxidantes.
Amoníaco	Ácido sulfúrico, ácido nítrico, amoníaco, isocianatos, fenoles, cresoles.
Anhídridos orgánicos	Soluciones de hidróxidos alcalinos, ácidos, halógenos y oxidantes. Se forman compuestos inestables frente al choque con óxidos de mercurio, plata y oro. Incompatible con ácidos. Ataca el cobre, aluminio y cinc y sus aleaciones.
Azidas	Ácidos minerales no oxidantes, ácido sulfúrico, ácido nítrico, bases, amoníaco, aminas alifáticas, aminas aromáticas.
Calcio hidróxido	Explosivo en contacto con cobre, plomo, aluminio, ácido nítrico, cloruro de benzoilo.
Cetonas	Ácidos, hidrógeno sulfuro, metales ligeros.
	Ácido sulfúrico, ácido nítrico, aminas alifáticas, alcanolaminas.

Cloruro de amonio	Calentamiento fuerte. Hidróxidos alcalinos, cloro, cloratos, nitratos, nitritos, halogenuros de halógeno. Reacciona con ácidos fuertes, amoníaco.
Dicloruro de mercurio	Explosivo en contacto con fósforo, antimonio, arsénico, sales de plata, por calor o impacto.
Dicromato potásico	Inflamables orgánicos, anhídridos, hidracina y derivados, hidroxilamina, sulfuros/agua, reductores, ácido sulfúrico concentrado, glicerina, boro, hierro magnesio, metales en polvo.
EDTA	Calentamiento. Agentes oxidantes fuertes, bases fuertes y cobre. Niquel.
Esteres	Ácido sulfúrico, ácido nítrico.
Alcohol etílico	Calentamiento fuerte. Metales alcalinos y alcalinotérreos, óxidos alcalinos, oxidantes fuertes.
Etanolamina	Calentamiento fuerte. Ácidos fuertes y oxidantes.
Éter dietílico	Halógenos, halogenuros de halógeno, no metales, oxihalogenuros no metálicos, oxidantes fuertes, cromilo cloruro, nitratos, cloruros metálicos, ácidos metálicos, material orgánico, compuestos de azufre, cromatos.
Éteres	Ácidos fuertes.
Éteres de glicol	Ácido sulfúrico, isocianatos.
Etilen glicol	Dióxido de carbono, agua pulverizada.
Fluoruro de sodio	Ácidos.
Formaldehído	Calentamiento. Metales alcalinos, ácidos, óxidos de nitrógeno, peróxido de hidrógeno, oxidantes, ácido per fórmico, oxidantes fuertes (peróxido de hidrógeno), carbonato de magnesio, bases fuertes, fenol, urea.
Glicerina	Forma acroleína en contacto con superficies calientes. Reacciona con oxidantes fuertes con riesgo de incendio y explosión.
Hidrocarburos aromáticos	Ácido nítrico.
Hidrógeno peróxido (>60%)	Metales alcalinos y alcalinotérreos, sales alcalinas, hidróxidos alcalinos, metales, óxidos metálicos, sales metálicas, no metales, óxidos no metálicos, aldehídos, alcoholes, aminas, amoníaco, hidracina, hidruros, sustancias inflamables, éteres, ácidos, anhídridos, oxidantes, compuestos orgánicos, peróxidos, impurezas (polvo, disolventes orgánicos, nitrocompuestos orgánicos, latón, Pt, Ag, Cu, Cr, Fe, Zn, Pb, Mn).
Hidróxido de potasio	Reacciona violentamente con ácidos fuertes y con estaño, cinc, aluminio y plomo originando hidrógeno. Metales, ácidos, alcoholes, dióxido de cloro, tetrahidrofurano.
Hidróxido de sodio	Metales, metales ligeros, ácidos, nitrilos, metales alcalinotérreos en polvo, compuestos de amonio, cianuros, magnesio, nitrocompuestos orgánicos, inflamables orgánicos, fenoles y compuestos oxidables. Junto con cinc, estaño, plomo y aluminio se puede formar hidrógeno.
Hipoclorito de calcio	Calentamiento. Aminas, antraceno, carbón, etanol, glicerol, óxidos de hierro o manganeso, grasa o aceite, mercaptanos, nitrometano, material orgánico, sulfuros orgánicos, azufre. Puede explotar en contacto con tetracloruro de carbono.
Hipoclorito de sodio	Aminas, calor, ácidos, metanol en presencia de ácidos, materiales orgánicos combustibles.
Mercurio	Amoníaco, óxido de etileno, oxidantes, nitratos, cloratos, ácido nítrico con etanol, acetiluros, metales alcalinos, azidas, aminas, halógenos, ácidos, halogenóxidos.
Nitrato de amonio	Al calentar se puede producir combustión violenta o explosión. Se descompone por calentamiento intenso produciendo óxidos de nitrógeno. Reacciona con materiales combustibles y reductores.
Nitrato de sodio	Se descompone al calentar desprendiendo óxidos de nitrógeno y oxígeno. Reacciona con materiales combustibles y reductores. Materiales fácilmente oxidables, aluminio, óxido de aluminio, fibras orgánicas.
Nitrito de sodio	Puede estallar por calentamiento intenso. Se descompone en contacto con ácidos débiles. Reacciona con materiales combustibles y reductores originando riesgo de incendio y explosión. Hidrazina, haluros de amonio, sales de amonio, tiocianatos, potasio cianato, ferricianuros, material combustible, cianuros metálicos, fenol, sodio disulfito, sodio tiosulfato, urea, madera.

Permanganato de potasio	Ácido acético, acetona, alcoholes con ácido nítrico, glicerol, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, peróxido de hidrógeno, compuestos orgánicos oxigenados, etilen glicol, propano 1,2-diol, manitol, trietanolamina, acetaldehído, polipropileno, ácido sulfúrico, N,N-dimetilformamida, glicerina, azufre, ácido fluorhídrico, fósforo, compuestos de amonio.
Plata nitrato	Amonio hidróxido, etanol, amonio, amonio con sodio carbonato o sodio hidróxido, bases, aluminio, carbón, carbonatos, cloruros, fosfatos, plásticos, tiocianatos, ácido tánico.
Sílica Gel	Ácido fluorhídrico.
Sulfato de bario	Fósforo. La reducción con aluminio produce reacción violenta. Forma humos tóxicos de óxidos de azufre por calentamiento intenso.
Tiosulfato de sodio	Nitratos metálicos. Nitritos y peróxidos, ácidos.
Trietanolamina	Calentamiento en estado gaseoso. Ácidos, anhídridos, oxidantes.
Yoduro potásico	Metales alcalinos, amoníaco, halogenuros de halógeno, flúor, peróxido de hidrógeno. Sustancias inflamables.

Fuente: ESPAÑA. UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Envasado de los residuos peligrosos. España: Unidad de Medio Ambiente. Servicio de mantenimiento. [En línea]. España. [Consulta: 8 octubre 2004]. Disponibilidad URL: <http://www.forpas.us.es/uma/rp/caracte.htm>

ANEXO I. Eliminación de residuos de laboratorio

Merck⁶⁸ propone las siguientes categorías de clasificación como requerimientos mínimos para la separación de residuos de laboratorio, designadas con letras de A – K. Se deben tomar las precauciones para excluir la posibilidad de que diferentes sustancias reaccionen cuando se colectan en la misma categoría.

Recipiente colector A. Solventes orgánicos libres de halógeno y soluciones de compuestos orgánicos.

Recipiente colector B. Solventes orgánicos halogenados y soluciones de compuestos orgánicos halogenados.

Recipiente colector C. Residuos sólidos orgánicos de laboratorio químico.

Recipiente colector D. Soluciones salinas con valores de pH entre 6 y 8.

Recipiente colector E. Residuos tóxicos inorgánicos y sales de metales pesados y sus soluciones.

Recipiente colector F. Compuestos tóxicos inflamables

Recipiente colector G. Residuos inorgánicos de mercurio.

Recipiente colector H. Residuos de sales metálicas, cada metal debe ser colectado por separado.

Recipiente colector I. Materia inorgánica sólida.

Recipiente colector K. Residuos de vidrio, metal y plástico colectados separadamente.

Desactivación de soluciones acuosas de ácidos orgánicos. Se neutralizan cuidadosamente con hidrogeno carbonato sódico o hidróxido de sodio (recipiente D).

Desactivación de ácidos carboxílicos aromáticos. Se precipitan con ácido clorhídrico diluido y se decantan. Se obtiene precipitado (recipiente C) y solución acuosa (recipiente D).

Desactivación de ácidos inorgánicos. Se diluyen en agua y se neutralizan con solución de hidróxido de sodio (recipiente D).

⁶⁸ MERCK. ChemDat: The Merck Chemical Database. [CD-ROM]. Darmstadt- Germany, 2004.

Desactivación de bases inorgánicas. Se diluyen en agua y se neutralizan con solución de ácido sulfúrico (recipiente D)

Desactivación de Bases orgánicas y aminas en forma disuelta. Neutralización con ácido clorhídrico o sulfúrico diluidos (recipiente A).

Desactivación de nitrilos y mercaptanos. Se oxidan por agitación durante varias horas con hipoclorito sódico. Un posible exceso de oxidantes se destruye con tiosulfato sódico. Fase orgánica (recipiente A), fase acuosa (recipiente D)

Desactivación de aldehídos hidrosolubles. Tratamiento con solución concentrada de hidrogeno sulfito sódico (recipiente A).

Desactivación de compuestos organometálicos. Disueltos generalmente en disolventes orgánicos, sensibles a la hidrólisis, son goteados cuidadosamente bajo agitación en n-butanol, en cabina de extracción. Se agita durante toda la noche y se adiciona un exceso de agua. Fase orgánica (recipiente A), fase acuosa (recipiente D).

Desactivación de peróxidos. Los peróxidos orgánicos que se pueden identificar en soluciones acuosas y disolventes con varillas indicadores de peroxido, son destruidos sin peligro con un kit especial obtenido de firmas reconocidas. Los peróxidos puros se disuelven en un disolvente adecuado y se desactivan igualmente con un kit especial. Residuos orgánicos (recipiente A ó B), soluciones acuosas (recipiente D).

Desactivación de peróxidos inorgánicos y oxidantes como bromo y yodo. Se tratan con solución de tiosulfato sódico para reducirlos a derivados exentos de peligro (recipiente D).

Desactivación de halogenuros de ácido. Los halogenuros de ácido se transforman en esterres metálicos en un exceso de metanol. Para acelerar la reacción se pueden adicionar unas gotas de ácido clorhídrico, se neutraliza con solución de hidróxido de potasio (recipiente B).

Desactivaciones de soluciones salinas de talio. A partir de soluciones salinas de talio se puede precipitar óxido de talio (III) con hidróxido sódico para neutralizar (recipiente E).

Desactivación de compuestos inorgánicos de selenio. El selenio elemental se puede recuperar oxidando sus sales en solución acuosa con ácido nítrico concentrado. Adicionar hidrogeno sulfito sódico para precipitar selenio elemental (recipiente E).

Desactivación de cianuros. Los cianuros se oxidan a compuestos derivados exentos de peligro con solución de hipoclorito sódico, se deja en reposo durante la noche. El exceso de oxidante se destruye con tiosulfato sódico (recipiente D).

Desactivación de fluoruro de hidrógeno y soluciones de fluoruros inorgánicos. Se tratan con carbonato de calcio para que precipiten; el precipitado se separa por filtración (recipiente I) solución acuosa (recipiente D).

Desactivación de residuos de halogenuros inorgánicos líquidos y reactivos sensibles a la hidrólisis. Se agitan bajo campana en agua con hielo, se deja en reposo durante la noche y se neutraliza con solución de hidróxido sódico (recipiente E)

Desactivación del fósforo y sus compuestos. Estos son fácilmente inflamables; por lo que la desactivación debe llevarse a cabo en atmósfera de gas protector, bajo cabina de extracción de gases. Se ponen 100mL de hipoclorito sódico al 5%, que contiene 5mL de una solución de hidróxido sódico al 50%; se adiciona cuidadosamente gota a gota bajo refrigeración con hielo la solución de la sustancia a inactivar. Los productos de oxidación precipitados se separan por succión (recipiente I) y la solución acuosa (recipiente D)

Desactivación de metales alcalinos, amidas de metales alcalinos e hidruros metálicos. Estos compuestos se descomponen en parte explosivamente con el agua; por lo tanto se adicionan con la máxima precaución en 2 –propanol, en cabina de extracción. Si la reacción tiene lugar muy lentamente, se puede acelerar mediante la adición de metanol, se debe tener cuidado que la solución alcohólica no se caliente demasiado. Nunca enfriar con hielo, agua o nieve carbónica. Se deja en reposo durante la noche se diluye al siguiente día con un poco de agua y se neutraliza con ácido sulfúrico (recipiente A).

Otras sustancias

Los nitrilos y mercaptanos, se oxidan por agitación durante varias horas en la noche con solución de hipoclorito de sodio. Un posible exceso de oxidante se destruye con tiosulfato sódico.

Los compuestos de uranio y torio deben eliminarse observando las prescripciones legales.

ANEXO J. Tratamiento de residuos de laboratorio⁶⁹

Recipientes de acumulación y transporte de residuos:

1. Para disolventes orgánicos no halogenados.
2. Para disolventes orgánicos halogenados.
3. Para disoluciones previamente neutralizadas a pH 6-8.
4. Para mercurio y sales mercuriales.
5. Para sales metálicas regenerables.
6. Para residuos químicos sólidos.

Procedimientos de desactivación

1. Ácidos inorgánicos, sales ácidas y soluciones ácidas. Diluir con agua aproximadamente 1:5 y neutralizar hasta pH 6-8, añadiendo lentamente sodio hidróxido en solución o en escamas. Los ácidos o soluciones ácidas derramadas se cubren con un exceso de calcio hidróxido o con sodio bicarbonato. Una vez finalizada la reacción, disolver en agua. Recipiente 3. Productos tipo: ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, bifosfatos, bisulfatos, etc. Incompatibilidades: bases, aminas, metales en general.

2. Ácidos orgánicos. Neutralizar como en 1 o incinerar a pequeñas dosis en vitrina con buen tiro de aire y con las máximas precauciones. En la primera opción recipiente 3. Productos tipo: ácidos acético, butírico, fenilntranílico, naftalensulfónico, succínico, toluensulfónico, etc. Incompatibilidades: bases, aminas.

3. Bases, aminas, sales básicas y soluciones básicas. Diluir con agua, aproximadamente 1:5 y neutralizar hasta pH 6-8, añadiendo lentamente ácido sulfúrico diluido. La solución resultante se diluye a 1:10. Las bases o soluciones de sales básicas derramadas se cubren con un exceso de sodio bisulfato. Una vez finalizada la reacción, disolver en agua y diluir. En ambos casos, recipiente 3. Productos tipo: dietilamina, trietanolamina, amonio hidróxido, potasio hidróxido, sodio hidróxido, potasio carbonato, sodio carbonato. Incompatibilidades: ácidos, derivados halogenados, metales en general.

4. Azidas. Oxidar con una solución diluida y fría (hielo) de cerio IV amonio nitrato. Separar la fase orgánica, si ésta se produce, e incinerarla. El resto de subproductos neutralizarlos y diluirlos con agua abundante. Recipiente 3. Productos tipo: sodio azida. Incompatibilidades: compuestos oxidantes.

5. Azocompuestos. Incinerar a pequeñas dosis en una vitrina con buen tiro de aire y con las máximas precauciones de seguridad. Productos tipo: azobenceno. Incompatibilidades: compuestos oxidantes.

⁶⁹ PANREAC. Catálogo General 2001. Creación grafiques Canigó S.L. p.1158-1160

6. Cianuros, mercaptanos. Mezclar bien en una solución de sodio hidróxido y de sodio hipoclorito, agitando de vez en cuando. Dejar en contacto 24 horas como mínimo. Diluir con agua abundante. Eliminar el exceso de hipoclorito con una solución de sodio tiosulfato y neutralizar. Recipiente 3. Productos tipo: cianuros varios, mercaptobenzotiazol. Incompatibilidades: alimentos, tabaco, ácidos, sales ácidas; oxidantes fuertes como dicromatos, permanganatos, cloratos, nitratos.

7. Compuestos de arsénico, cadmio, plomo, selenio y talio. Estos productos se transformarán en sales insolubles, por ejemplo disolviendo en ácido clorhídrico, diluir la solución y saturar con ácido sulfhídrico en vitrina con buen tiro de aire. Lavar el precipitado de sulfuro formado. Recipiente 5. Productos tipo: Compuestos de metales pesados. Incompatibilidades: alimentos, tabaco, etc.

8. Compuestos de bario. Estos productos se transformarán en sales insolubles, por ejemplo disolviendo en ácido, neutralizando con precaución con amonio hidróxido y precipitando luego por adición de sodio carbonato. Lavar el precipitado de carbonato formado. Recipiente 5. Productos tipo: compuestos de bario. Incompatibilidades: alimentos, tabaco, etc

9. Compuestos oxidantes, aldehídos. Estos productos se transformarán en sales insolubles, por ejemplo disolviendo en ácido, neutralizando con precaución con amonio hidróxido y precipitando luego por adición de sodio carbonato. Lavar el precipitado de carbonato formado. Recipiente 5. Productos tipo: Benzaldehído, cloratos, cloritos, formaldehído, nitratos, nitritos, percloratos, permanganatos, peróxidos, persulfatos, etc. Incompatibilidades: sustancias combustibles, sustancias reductoras, materias orgánicas como madera, papel, etc.

10. Compuestos radiactivos. Mantener aislados estos compuestos de otros productos o materiales. Con las debidas precauciones se intentará recuperar estos compuestos. De lo contrario, transportarlos en envases apropiados de acuerdo a la legislación local vigente. Productos tipo: sales de uranio y transuránidos. Incompatibilidades: contaminación de personas y objetos.

11. Disolventes miscibles con agua. Recipiente 1. Productos tipo: Acetona, alcohol etílico, etilo acetato, etilenglicol, piridina. Incompatibilidades: fuentes de calor o zonas calientes.

12. Disolventes no miscibles con agua. Evaporar a pequeñas dosis en vitrina de gases o a la intemperie, evitando la formación de mezclas combustibles de vapor / aire y manteniéndolos alejados de llamas abiertas o de cualquier otra fuente de inflamación. En la primera opción, recipiente 1. Productos tipo: alcohol amílico, benceno, carbono sulfuro, ciclohexano, xileno. Incompatibilidades: fuentes de calor o zonas calientes.

13. Eteres. Evaporar a pequeñas dosis en vitrina de gases o a la intemperie, añadiendo aproximadamente 1% de hierro II sulfato 7hidrato, evitando la formación de mezclas combustibles de vapor / aire y manteniéndolos alejados de llamas abiertas o de cualquier otra fuente de inflamación. Otra opción, recipiente 1. Productos tipo: éter etílico, 1,4-dioxano, tetrahidrofurano. Incompatibilidades: compuestos oxidantes, fuentes de calor o zonas calientes.

14. Fluoruros. Mezclar bien con lechada de cal, agitando de vez en cuando hasta precipitación del calcio fluoruro insoluble. Lavar el precipitado de calcio fluoruro formado. Recipiente 6. Productos tipo: fluoruros varios. Incompatibilidades: ácidos fuertes, alimentos, tabaco, etc.

15. Fósforo, fosfuros. Preparar por separado soluciones acuosas frías de calcio hipoclorito y de sodio hidróxido. Mezclarlas. En vitrina de gases, bajo atmósfera de nitrógeno, disolver en esta mezcla fría el material a destruir, en pequeñas porciones y agitando continuamente. Precaución, las emanaciones que se producen son de productos tóxicos. La solución obtenida diluirla con agua y, si procede, se neutraliza. Recipiente 3. Productos tipo: fósforo, rojo o blanco, fosfuros. Incompatibilidades: compuestos oxidantes, fricción.

16. Disolventes orgánicos halogenados. Evaporar a pequeñas dosis en vitrina de gases o a la intemperie. Si la cantidad a eliminar es notable y no puede recuperarse por destilación, mezclar con sodio carbonato o calcio hidróxido e incinerar a pequeñas dosis en vitrina de gases o en horno de combustión. Otra opción, recipiente 2. Productos tipo: cloroformo, diclorometano, carbono tetracloruro. Incompatibilidades: bases.

17. Mercurio, compuestos de mercurio. Antes de cualquier manipulación, retirar oro, plata y cobre. El mercurio derramado debe recogerse inmediatamente mediante aspiración por vacío, en un frasco. Las pequeñas gotas apenas perceptibles o inasequibles, se tratan con una mezcla de calcio hidróxido y azufre empastada con poca agua. Dejar secar al aire y lavar con abundante agua. Las sales de mercurio se tratan con una solución de sodio cloruro, en exceso. Lavar el precipitado formado. Recipiente 4. Producto tipo: mercurio metal, compuestos de mercurio en general. Incompatibilidades: alimentos, tabaco, oro, plata, cobre, acetilenos, gases amoniacales.

18. Metales alcalinos y alcalinotérreos. En una vitrina con buen tiro de aire o en lugar ventilado, limpio y seco y en ausencia de fuentes de ignición, cubrir el metal con sodio carbonato anhidro, es imprescindible que sea anhidro. Introducir la mezcla en un recipiente metálico limpio y seco. Recoger bien los posibles residuos. Añadir lentamente alcohol n-butílico seco, agitando hasta cubrir sobradamente el sólido. Es aconsejable agitar hasta disolución completa. Si no se logra en poco tiempo dejarlo en contacto hasta el día siguiente con las debidas precauciones de No Tocar. Concluida la reacción, diluir cuidadosamente con agua y neutralizar. Recipiente 3. Productos tipo: sodio, litio, magnesio, hidruros. Incompatibilidades: agua, humedad, ácidos.

19. Nitrocompuestos. Por tratarse de productos generalmente explosivos, si son sólidos, mezclarlos íntimamente con mucha arena, de modo que quede bien repartido e incinerarlo con precaución y a pequeñas dosis en vitrina de buen tiro de aire y con las máximas precauciones. Si se trata de líquidos o soluciones, absorber con tiras de papel de filtro e incinerar con las mismas precauciones. Productos tipo: nitrobenzeno, ácido pícrico (2,4,6 trinitrofenol), nitrofenol, nitroanilina, nitrometano. Incompatibilidades: ácidos fuertes, álcalis, aminas, oxidantes fuertes, materias combustibles.

20. Productos y soluciones solubles en agua. Tratarlas de acuerdo con la identidad del soluto. Productos tipo: acetamida, amonio sulfuro solución 10%, etc. Nota: En este apartado se han incluido algunos productos poco solubles o insolubles en agua, que,

tratándose de muy pequeñas cantidades, pueden suspenderse en agua y evacuar como se ha indicado.

21. Productos y soluciones insolubles en agua. Evaporar el producto o la solución a pequeñas dosis en vitrina de gases o a la intemperie, evitando la formación de mezclas combustibles de vapor / aire y manteniéndolos alejados de llamas abiertas o de cualquier otra fuente de inflamación. El residuo obtenido, con precaución se disuelve o empasta con agua y, si procede, se neutraliza. Recipiente 3. Productos tipo: ácidos grasos, hidroquinona, etc. Incompatibilidades: fuentes de calor.

ANEXO K. Disposición de residuos químicos⁷⁰

Ácidos Inorgánicos. Diluir con agua en una proporción 1:5 y después neutralizar adicionando una solución de hidróxido de sodio al 32% o escamas del mismo producto. La solución salina resultante, se diluye en agua en una proporción 1:10 u otra que sea necesaria y luego se elimina en las aguas residuales o por el desagüe.

Ácidos Orgánicos. El mismo procedimiento que para ácidos inorgánicos. Otra posibilidad, es evaporar en pequeñas cantidades bajo campana de laboratorio o incinerar en un horno de combustión autorizado.

Aldehídos. Mezclar con precaución y en pequeñas dosis con sodio sulfito sólido, después de lo cual y agitando simultáneamente se añade un poco de agua. En caso necesario, la reacción se acelera agregando con cuidado ácido sulfúrico diluido. La solución resultante se neutraliza, diluye con agua y se elimina en las aguas residuales o por el desagüe. También se pueden evaporar con precaución bajo campana de laboratorio o incinerar en un horno de combustión autorizado.

Aminas. Diluir con agua en una proporción aproximada de 1:5 y luego neutralizar con ácido sulfúrico diluido hasta pH 6 - 8. La solución salina resultante, se disuelve en agua y se elimina en las aguas residuales o por el desagüe. Otra posibilidad, es evaporar en pequeñas cantidades bajo campana de laboratorio o incinerar en un horno de combustión autorizado.

⁷⁰ LIRA, Gonzalo. Buen ambiente en química: Compendio para manejo, tratamiento y monitoreo de residuos peligrosos en un laboratorio químico o bioquímico. [En línea]. Chile: Universidad de Santiago de Chile, 1999. [Consulta: 20 noviembre 2003]. Disponibilidad URL: <http://lauca.usach.cl/ima/buenambiente/residuos.htm>

ANEXO L. Tratamiento residuos de laboratorio⁷¹

1. TRATAMIENTO Y VERTIDO

Haluros de ácidos orgánicos. Añadir NaHCO_3 y agua. Verter al desagüe.

Clorhidrinas y nitroparafinas. Añadir Na_2CO_3 . Neutralizar. Verter al desagüe.

Ácidos orgánicos sustituidos. Añadir NaHCO_3 y agua. Verter al desagüe. También se pueden eliminar por incineración.

Aminas alifáticas. Añadir NaHCO_3 y pulverizar agua. Neutralizar. Verter al desagüe. También se pueden eliminar por incineración.

Sales inorgánicas. Añadir un exceso de Na_2CO_3 y agua. Dejar en reposo por 24h. Neutralizar con HCl 6M. Verter al desagüe.

Oxidantes. Tratar con un reductor (disolución concentrada). Neutralizar. Verter al desagüe.

Reductores. Añadir Na_2CO_3 y agua hasta suspensión. Dejar en reposo por 2h. Neutralizar. Verter al desagüe.

Cianuros. Tratar con $(\text{ClO})_2\text{Ca}$ (disolución alcalina). Dejar en reposo por 24h. Verter al desagüe.

Nitrilos. Tratar con una disolución alcohólica de NaOH para conversión en cianato soluble, evaporar el alcohol y añadir hipoclorito cálcico. Dejar en reposo 24h. Verter al desagüe.

Hidracinas. Diluir hasta un 40% y neutralizar con H_2SO_4 . Verter al desagüe. También se pueden eliminar por incineración.

Álcalis cáusticos y amoníaco. Neutralizar. Verter al desagüe.

Hidruros. Mezclar con arena seca, pulverizar con alcohol butílico y añadir agua hasta destrucción del hidruro. Neutralizar con HCl 6M y decantar. Verter al desagüe. Enterrar el residuo de arena.

Amidas inorgánicas. Verter sobre agua y agitar. Neutralizar con HCl 3M ó NH_4OH 6M. Verter al desagüe.

⁷¹ ESPAÑA. MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES. Eliminación de residuos en el laboratorio: Procedimientos generales. (NTP 276). [En línea]. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consulta: 3 junio 2004]. Disponibilidad URL: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_276.htm

Compuestos internometálicos (cloruro de sulfurilo, tricloruro de fósforo, etc.). Rociar sobre una capa gruesa de una mezcla de Na_2CO_3 y cal apagada. Mezclar y atomizar agua. Neutralizar. Verter al desagüe.

Peróxidos inorgánicos. Diluir. Verter al desagüe.

Sulfuros inorgánicos. Añadir una disolución de FeCl_3 con agitación. Neutralizar con Na_2CO_3 . Verter al desagüe.

Carburos. Adicionar sobre agua en un recipiente grande, quemar el hidrocarburo que se desprende. Dejar en reposo durante 24h. Verter el líquido por el desagüe. Eliminar el precipitado sólido por vertedero.

2. INCINERACIÓN

Aldehídos. Absorber en vermiculita ó mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Alcalinos, alcalinotérreos, alquilos, alcóxidos. Mezclar con Na_2CO_3 , cubrir con virutas. Incinerar.

Clorhidrinas, nitroparafinas. Incinerar. También pueden eliminarse mediante un procedimiento de tratamiento y vertido.

Compuestos orgánicos halogenados. Absorber sobre vermiculita, arena o bicarbonato. Incinerar.

Ácidos orgánicos sustituidos. Absorber sobre vermiculita y añadir alcohol, o bien disolver directamente en alcohol. Incinerar. También pueden eliminarse mediante un procedimiento de tratamiento y vertido.

Aminas aromáticas. Absorber sobre arena y Na_2CO_3 . Mezclar con papel o con un disolvente inflamable. Incinerar.

Aminas aromáticas halogenadas, nitrocompuestos. Verter sobre NaHCO_3 . Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Aminas alifáticas. Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar. también pueden eliminarse mediante un procedimiento de tratamiento y vertido.

Fosfatos orgánicos y compuestos. Mezclar con papel, o arena y cal apagada. Incinerar.

Disulfuro de carbono. Absorber sobre vermiculita y cubrir con agua. Incinerar, quemar con virutas a distancia.

Mercaptanos, sulfuros orgánicos. Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Éteres. Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar. Si hay peróxidos llevarlos a un lugar seguro y explosionarlos.

Hidracinas. Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar. También pueden eliminarse mediante un procedimiento de tratamiento y vertido.

Hidruros. Quemar en paila de hierro. También pueden eliminarse mediante un procedimiento de tratamiento y vertido

Hidrocarburos, alcoholes, cetonas, ésteres. Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Amidas orgánicas. Mezclar con un disolvente inflamable. Incinerar.

Ácidos orgánicos. Mezclar con papel o con un disolvente inflamable. Incinerar.

3. RECUPERACIÓN

Desechos metálicos. Recuperar y almacenar, evaluar costos.

Mercurio metal. Aspirar, cubrir con polisulfuro cálcico y Recuperar.

Mercurio compuestos. Disolver y convertirlos en nitratos solubles. Precipitarlos como sulfuros. Recuperar.

Arsénico, bismuto, antimonio. Disolver en HCl y diluir hasta aparición de un precipitado blanco (SbOCl y BiOCl). Añadir HCl 6M hasta redisolución. Saturar con sulfhídrico. Filtrar, lavar y secar.

Selenio, telurio. Disolver en HCl. Adicionar sulfito sódico para producir SO₂ (reductor). Calentar, se forma selenio gris y telurio negro. Dejar en reposo 12h. Filtrar y secar.

Plomo, cadmio. Añadir HNO₃ (Se producen nitratos). Evaporar, añadir agua y saturar con H₂S. Filtrar y secar.

Berilio. Disolver en HCl 6M, filtrar. Neutralizar con NH₄OH 6M. Filtrar y secar.

Estroncio, bario. Disolver en HCl 6M, filtrar. Neutralizar con NH₄OH 6M. Precipitar con Na₂CO₃. Filtrar, lavar y secar.

Vanadio. Añadir a una capa de Na₂CO₃ en una placa de evaporación. Añadir NH₄OH 6M, pulverizar. Añadir hielo, agitar. Reposar 12h. Filtrar el vanadato amónico y secar.

Otros metales (talio, osmio, deuterio, erbio, etc.). Recuperación

Disolventes halogenados. Destilar y almacenar.

ANEXO M. Manejo y Disposición de Residuos Químicos⁷²

1. Neutralización Ácido Base. Residuos o exceso de ácidos minerales diluidos tales como ácido clorhídrico, sulfúrico, nítrico o ácido acético se pueden neutralizar con residuos o excedentes de soluciones diluidas de hidróxido de sodio, hidróxido de potasio u otra base diluida. Se debe adicionar agua a las soluciones ácidas o básicas hasta una concentración 1 M. Se adiciona lentamente la base al ácido, con agitación constante. Si es necesario, adicionar hielo para mantener la temperatura por debajo de 40 °C. Se debe llevar a un pH de 7 o cercano a la neutralidad. Si sólo se dispone de residuos ácidos, diluir a menos de 1 M y adicionar lentamente carbonato de sodio sólido o hidróxido de sodio 5%, con agitación hasta la neutralidad. De forma similar se procede con residuos de base, diluir y adicionar ácido clorhídrico o ácido acético 1 M.

2. Reducción de Volumen de Soluciones diluidas de sales inorgánicas. Soluciones acuosas diluidas que contienen iones de metales pesados tóxicos se deben evaporar en cabina de extracción. El residuo se empaqueta y rotula para disposición.

3. Reciclado de solventes. Solventes como diclorometano, alcoholes y éter de petróleo se pueden destilar para posterior reuso. Se debe llevar a cabo bajo cabina de extracción, tomando precauciones con los solventes inflamables.

4. Agentes Oxidantes fuertes. Estas soluciones se deben reducir antes de ser evacuadas; por tratamiento con solución fresca de bisulfito de sodio al 10%.

4.1 Permanganato de Potasio. Prepare una solución acuosa saturada del residuo de permanganato de potasio, alrededor de 6g de sal disueltos en 100 mL de agua a 20°C, o estime la concentración de la solución residual. Por cada 10 mL de solución, adicione una gota de ácido sulfúrico concentrado. En cabina de extracción de gases, lentamente y con agitación, adicione bisulfito de sodio al 10% hasta que desaparezca el color del permanganato y el precipitado café del dióxido de manganeso se disuelva. Se requieren alrededor de 13 mL de solución de bisulfito por cada 10 mL de solución de permanganato. Neutralizar la solución resultante adicionando, con agitación, carbonato de sodio sólido, y lavar la solución decolorada con agua.

4.2 Clorato de sodio. Prepare una solución acuosa del residuo de clorato de sodio, o estime la concentración de la solución y si es necesario diluya hasta una concentración cercana al 10% con agua. Por cada 10 mL de solución adicione, lentamente y con agitación, 18mL de una solución de bisulfito de sodio; esto permite alrededor de un 50% de exceso de agente reductor. Para evaluar la presencia de agente oxidante, medir 3mL de la solución en un tubo de ensayo y adicione una solución recién preparada de 100mg yoduro de potasio en 3mL de ácido sulfúrico 3M. Un cambio en el color a ámbar o café indica la que aún hay presencia de agente oxidante. Continúe la adición de solución

⁷² ARMOUR, Margaret-Ann. Safety in the chemical laboratory: Chemical waste management and disposal. *En*: Journal of chemical education. Vol. 65, No. 3 (mar. 1988); p. A64- A68

de bisulfito de sodio a la solución de clorato de sodio hasta que el ensayo en la muestra de 3mL produzca un líquido incoloro o pálido amarillo que indica que no queda agente oxidante. Neutralizar la solución ácida adicionando, lentamente y con agitación, carbonato de sodio sólido, descartar por el desagüe con agua.

4.3 Bromato de sodio. Prepare una solución acuosa al 10% del residuo de bromato, o estime la concentración del residuo y si es necesario diluya a una concentración no superior al 10% con agua. Adicione en cabina, lentamente y con agitación, solución acuosa de bisulfito de sodio al 10% hasta que el color amarillo del bromato de sodio desaparezca. Se requieren alrededor de 20mL de solución de bisulfito de sodio al 10% por cada 10mL de solución de bromato de sodio al 10%. Neutralizar la solución adicionando, lentamente y con agitación, carbonato de sodio sólido, descartar por el desagüe con agua.

4.4 Yodato de sodio. Prepare una solución saturada del yodato de sodio residual, o estime la concentración de la solución residual. Alrededor de 9g de la sal se disuelven en 100mL de agua a 20°C. Adicionar en cabina de extracción, lentamente y con agitación, solución de bisulfito de sodio al 10%, hasta que la solución negra inicialmente formada se torne transparente y luego amarilla indicando un exceso de bisulfito. Se necesitan alrededor de 15mL de solución de bisulfito por cada 10mL de solución de yodato al 9%. Neutralizar la solución amarilla adicionando, lentamente y con agitación, carbonato de sodio sólido, descartar por el desagüe con agua.

4.5 Peryodato de sodio. Prepare una solución saturada del peryodato de sodio residual, o estime la concentración de la solución residual. Alrededor de 9.5g de la sal se disuelven en 100mL de agua a 20°C. Adicionar en cabina de extracción, lentamente y con agitación, solución de bisulfito de sodio al 10%, hasta que el precipitado negro formado inicialmente se disuelva, y posteriormente se forme una solución transparente y luego amarillo pálido. Se necesitan alrededor de 17mL de solución de bisulfito por cada 10mL de solución de peryodato al 9.5%. Neutralizar la solución adicionando, lentamente y con agitación, carbonato de sodio sólido, descartar por el desagüe con agua.

4.6 Persulfato de sodio. Prepare una solución al 10% del residuo de persulfato de sodio, o estime la concentración de la solución y si es necesario diluya hasta una concentración cercana al 10% con agua. Por cada 10 mL de solución de persulfato adicione, lentamente y con agitación, 5mL de una solución de bisulfito de sodio; esto permite alrededor de un 10% de exceso de bisulfito de sodio. Evaluar la presencia de agente oxidante con yoduro de potasio en ácido sulfúrico, como se describe para clorato de sodio. Cuando ha desaparecido el agente oxidante, neutralizar la solución ácida adicionando, lentamente y con agitación, carbonato de sodio sólido, descartar por el desagüe con agua.

4.7 Hipoclorito de calcio. Adicione 100mL de agua por cada 10g de solución de hipoclorito de calcio residual. Si el residuo es una solución, estimar la concentración. Por cada 10 mL de solución de hipoclorito al 10%, adicione 10mL de una solución de bisulfito de sodio al 10%, en cabina de extracción de gases, lentamente y con agitación. Deje en agitación por 24 horas. Evaluar la presencia de hipoclorito adicionando una gota de la solución a papel almidón yodado. Un color azul a negro indica que aún hay presencia de agente oxidante. Si esto sucede, adicione 10mL más de solución de bisulfito de sodio y agite por una hora. Evalúe de nuevo la presencia de agente oxidante Cuando se ha

eliminado todo el hipoclorito, neutralizar la solución adicionando, lentamente y con agitación, carbonato de sodio sólido, filtrar si hay carbonato de sodio sólido. El sólido se puede descartar como basura normal; eliminar el filtrado por el desagüe con agua.

5. Cianuros solubles. Soluciones de cianuro de sodio o potasio se diluyen con agua hasta una concentración no mayor al 2%. Por cada 50mL de esta solución, adicionar 5mL de hidróxido de sodio al 10%. Una cantidad de 1g de cianuro de sodio o potasio sólido se disuelve en 50mL de hidróxido de sodio al 1%. A cada 50mL de solución de cianuro, adicionar 70mL de hipoclorito de sodio comercial, lentamente y con agitación. Evaluar la presencia de cianuro en la solución de la siguiente forma: poner 1mL de la solución en tubo de ensayo; adicionar dos gotas de una solución acuosa de sulfato ferroso, recién preparada. Llevar a ebullición por 30 segundos, enfriar a temperatura ambiente y adicionar dos gotas de cloruro férrico al 1%. Acidificar con ácido clorhídrico 6M. Si aún hay cianuro presente, se produce un precipitado azul profundo. Se pueden detectar concentraciones de cianuro superiores a 1 ppm. Si la prueba es positiva, se debe adicionar más hipoclorito a la solución de cianuro, y repetir de nuevo la prueba. Cuando no hay más formación de precipitado azul, la solución se puede descartar por el desagüe con abundante agua. Este método de disposición no se puede usar para nitrilos orgánicos como benzonitrilo, el cual no reacciona con hipoclorito comercial.

6. Soluciones de Plomo, Cadmio y Sales de Antimonio. El método recomendado de disposición para sales de metales pesados es la formación de los silicatos insolubles de los metales pesados y el entierro del precipitado en un relleno de seguridad.

6.1 Sales solubles de plomo. La sal soluble de plomo (0.04 mol) se disuelve en 200mL de agua y se le adiciona, con agitación, una solución de metasilicato de sodio (34g, 0.12mol) en 260 mL de agua. El precipitado se separa por filtración, o el líquido sobrenadante se evapora bajo cabina de extracción de gases. El sólido se seca, se empaca y se rotula para disposición en relleno de seguridad.

6.2 Sales solubles de cadmio. La sal soluble de cadmio (0.05 mol) se disuelve en 200mL de agua y se le adiciona, con agitación, una solución de metasilicato de sodio (25g, 0.087mol) en 200 mL de agua. Se forma inmediatamente un precipitado blanco de silicato de cadmio. La mezcla se calienta a 80°C durante 15 minutos para completar la reacción, se enfría y el precipitado se separa por filtración, o el líquido sobrenadante se evapora bajo cabina de extracción de gases. El sólido se seca, se empaca y se rotula para disposición en relleno de seguridad.

6.3 Sales solubles de antimonio. La sal soluble de antimonio (0.02 mol) se disuelve en 150mL de agua y se calienta a 80°C. A la solución caliente se adiciona, con agitación, una solución de metasilicato de sodio (15g, 0.052mol) en 150 mL de agua. Rápidamente se forma un precipitado blanco de silicato de antimonio. El precipitado se separa por filtración, o el líquido sobrenadante se evapora bajo cabina de extracción de gases. El sólido se seca, se empaca y se rotula para disposición en relleno de seguridad.

7. Metales reactivos alcalinos. Pequeñas cantidades de sodio y litio se pueden destruir adicionándolas a butanol seco. Se deben usar guantes y gafas protectoras, la reacción se debe realizar bajo cabina de extracción de gases. Pequeñas cantidades de potasio se deben adicionar a alcohol terbutílico. Dejar la reacción durante 24 horas en cabina de

extracción de gases. Si hay pedazos de alcóxido sólido, cortarlos para asegurar que todo el metal ha reaccionado. Lavar el residuo en el desagüe con agua. Pedazos de magnesio en cantidad de 1g se adiciona, lentamente y con agitación, a 40 mL de agua y 5mL de ácido clorhídrico al 5%. Después de permanecer por 24 horas a temperatura ambiente, se vierte la solución por el desagüe con abundante agua. El magnesio en polvo se puede tratar de forma similar, pero como se presenta una reacción fuerte con la adición del ácido diluido, la mezcla se debe enfriar en baño de hielo.

8. Soluciones de dicromato. Este método se recomienda para la solución de dicromato de potasio ácido usado para limpieza de material de vidrio en el laboratorio. A 100mL de la solución de dicromato, se adiciona, lentamente y con agitación, carbonato de sodio hasta neutralizar; se requieren alrededor de 180g de carbonato; el color de la solución cambia de naranja a verde. Se reacidifica por la adición cuidadosa de 55mL de ácido sulfúrico 3M. El color de la solución retorna a naranja. Adicionar con agitación vigorosa, 40g de tiosulfato de sodio. La solución se torna azul y turbia. Neutralizar la solución adicionando 10g de cenizas de carbonato de sodio. Después de unos pocos minutos, se forma un precipitado floculento azul grisáceo. La mezcla se puede filtrar inmediatamente a través de celita, o dejar decantar por una semana. En este último caso, el líquido remanente se deja evaporar o se filtra a través de celita. El líquido sobrenadante contiene menos de 0.5 ppm de cromo y puede ser descartado por el desagüe, si esta dentro de los rangos permitidos por la legislación vigente. El residuo sólido se debe empacar, rotular, y enviar a un relleno de seguridad.

9. Ácido oxálico y sus sales. Se descompone a dióxido de carbono, monóxido de carbono y agua calentando en ácido sulfúrico concentrado. En cabina de extracción de gases, se adicionan 5g de ácido oxálico a 25mL de ácido sulfúrico, en un balón de 100mL. La mezcla se mantiene entre 80-100°C durante 30 minutos. El ácido sulfúrico se puede reusar, ya que el único producto de reacción no volátil es una pequeña cantidad de agua.

10. Detección y destrucción de peróxidos en éteres y alquenos. A una muestra de 1 mL de éter o alqueno contenida en un tubo de ensayo, se adiciona 100 mg de yoduro de potasio y 1 mL de ácido acético glacial. El desarrollo de un color de amarillo a rojo café indica la presencia de peróxidos. Cuando la prueba indica presencia de peróxidos, éstos pueden ser destruidos agitándolos con una solución de metabisulfito de sodio. A cada 10 mL de éter o alqueno se adiciona 20 mL de una solución acuosa recién preparada de metabisulfito de sodio al 50%. La mezcla se agita por tres minutos. Las capas se separan y el éter o alqueno se seca sobre sulfato de sodio o magnesio. Los éteres se pueden secar al grado requerido con agentes apropiados.

11. Tratamiento de derrames. Se ha desarrollado una mezcla práctica y versátil de carbonato de sodio para neutralizar cualquier ácido presente, bentonita de calcio para absorber los líquidos rápidamente y arena para moderar cualquier reacción. Para tratar un derrame de ácidos, derivados ácidos, reactivos químicos o solventes, usar guantes de nitrilo y gafas protectoras; si es necesario usar máscara de gases. Cubrir el derrame con una mezcla 1:1:1 de carbonato de sodio, bentonita de calcio y arena. Cuando todo el líquido se haya absorbido, adicionar la mezcla, lentamente y en cabina de extracción de gases, a un balde de agua fría. Reposar por 24 horas. Mida el pH de la solución y neutralice si es necesario con carbonato de sodio. Decante la solución y evacue el líquido con grandes cantidades de agua. Trate el residuo sólido como residuo común.