

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

**PROPUESTA DE MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL PARA
RESIDUOS PELIGROSOS EN LABORATORIOS DE DOCENCIA:
CASO DEL LABORATORIO DE DOCENCIA DE LA ESCUELA
DE CIENCIAS AMBIENTALES, UNIVERSIDAD NACIONAL**

Proyecto de graduación

Presentado por:
Adriana Marcela Vega Botto

Heredia, 2016

ACTA DE APROBACIÓN

El Tribunal Examinador aprobó el trabajo titulado

PROPUESTA DE MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL PARA RESIDUOS PELIGROSOS EN LABORATORIOS DE DOCENCIA: CASO DEL LABORATORIO DE DOCENCIA DE LA ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES, UNIVERSIDAD NACIONAL

Como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Sanitaria

Miembros de Tribunal

Representante del Decano Facultad de Tierra y Mar

Director Escuela de Ciencias Ambientales

Ligia Dina Solís
Tutora

José Mora Barrantes
Lector

Karla Vetrani Chavarría
Lectora

Adriana Marcela Vega Botto
Postulante

Fecha: Octubre 2016

Tabla de contenido

Lista de cuadros	v
Lista de Figuras	vi
Resumen ejecutivo	1
Introducción	2
Justificación	3
Objetivos	5
Objetivo general:	5
Objetivos específicos:	5
Marco teórico	6
Antecedentes	6
Residuos que suelen generarse en el laboratorio	9
Posibles soluciones.....	10
Opciones de tratamiento	14
Legislación respectiva	17
Marco metodológico	19
1. Primera etapa: Diagnóstico.....	20
2. Segunda etapa: Opciones de manejo	23
3. Tercera etapa: Diseño de componentes.....	26
Resultados	27
1. Primera etapa: Diagnóstico.....	27
1.1. Manejo actual	28

1.1.2. Cuestionario a docentes	29
1.2. Tasa de generación	35
2. Segunda etapa: Opciones de manejo	36
2.1. Estudio teórico.....	37
2.2. Estudio practico	41
3. Tercera etapa: Diseño de componentes.....	42
3.1. Planificación.....	42
3.2. Implementación	45
3.3. Seguimiento y evaluación.....	51
3.4. Aplicación	53
Conclusiones	54
Recomendaciones.....	56
Bibliografía	57
Apéndices.....	63
Apéndice 1: Cuestionario no estructurado para la etapa de diagnostico	63
Apéndice 2: Lista de chequeo para evaluar el cumplimiento del Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional	64
Apéndice 3. Puntaje según el resultado de la evaluación con lista de chequeo.....	65
Apéndice 6. Matriz costo-beneficio para las opciones de tratamiento	67
Apéndice 7. Valores criterio de beneficio según las condiciones de las características de las opciones administrativas.	67
Apéndice 8. Matriz costo-beneficio para las opciones administrativas.....	67

Apéndice 9. Registro de procesos para el tratamiento de residuos y desechos	67
Apéndice 10. Matriz para el diseño de los procesos del componente “implementación”	67
Apéndice 11. Resultados de la lista de chequeo para evaluar el cumplimiento del Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional	68
Apéndice 12. Caracterización de los residuos generados en el laboratorio de docencia de la EDECA en el año 2015	70

Lista de cuadros

Cuadro 1. Legislación relacionada con el tratamiento de residuos peligrosos	17
Cuadro 2. Residuos peligrosos que se generan en los cursos que imparte	29
Cuadro 3. Conocimiento de los encuestados sobre el tratamiento interno que se le da a los residuos	30
Cuadro 4. Recomendaciones de los encuestas de cómo debe manejar el laboratorio de los residuos	31
Cuadro 5. Horas a la semana puede disponer para el manejo de los residuos peligrosos.....	32
Cuadro 6. Comentarios de los docentes en el cuestionario aplicado.....	33
Cuadro 7. Situaciones a mejorar identificadas por medio de la lista de chequeo y el cuestionario aplicados	34
Cuadro 8. Tasa de generación de residuos en el laboratorio de docencia de la EDECA para el año 2015	35
Cuadro 9. Elección de opciones de tratamiento para los residuos del LADECA.....	38
Cuadro 10. Evaluación de las opciones de manejo	40
Cuadro 11. Adaptaciones necesarias a los procesos elegidos.	41
Cuadro 12. Objetivos y metas del sistema establecidos como ejemplo para el LADECA	43
Cuadro 13. Ejemplo para el LADECA del cuadro para el control de los procesos	44

Cuadro 14. Proceso de control de etiquetas en recipientes para residuos	45
Cuadro 15. Proceso de información a la regencia.....	46
Cuadro 16. Proceso de inspección de desechos	47
Cuadro 17. Proceso para el Inventario de desechos	48
Cuadro 18. Proceso de Información a estudiantes	49
Cuadro 19. Proceso de Información a docentes	49
Cuadro 20. Proceso para Tratamiento de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	49
Cuadro 21. Proceso Tratamiento KOH en etanol	50
Cuadro 22. Proceso Tratamiento Cromo (VI)	50
Cuadro 23. Resumen aplicación del modelo de gestión de residuos propuesto	53

Lista de Figuras

Ilustración 1. Esquema para identificar los posibles residuos de las prácticas Fuente: Elaboración propia. 2015	21
Ilustración 2. Porcentaje de cumplimiento del Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional, en el Laboratorio de Docencia de la EDECA. Fuente: Elaboración propia (2015).....	29
Ilustración 3. Proceso para toma de decisiones compra de reactivos	51
Ilustración 4. Diagrama de mejora continúa	53

Resumen ejecutivo

La generación de residuos, que por sus características especiales pueden causar daños a la salud humana y al ambiente, es una problemática que se puede abordar desde la gestión integral, procurando minimizar dicha generación y así reducir el volumen de residuos que requieren una disposición especial. Este documento presenta una propuesta de Modelo de gestión integral para residuos peligrosos en laboratorios, tomando como referencia sistemas de calidad y de gestión ambiental. Para lograrlo se realizó un diagnóstico de la situación actual del laboratorio, se evaluaron las opciones de manejo para los residuos identificados y se diseñaron los procesos de la propuesta.

Dentro de los principales hallazgos se encontró que el cambio de metodologías en las prácticas de laboratorios de docencia es una opción con impactos positivos en lo económico, ambiental y educativo.

El modelo propuesto busca poder ser aplicado en diversos laboratorios de docencia en ciencias (como biología, física, química, geología, agronomía, entre otras) y puede ser considerado por las instituciones educativas como una guía para galardonar a los laboratorios que lo aplican satisfactoriamente.

Introducción

En el mundo, de acuerdo con Albers (2015), se aplican distintos métodos para tratar los residuos peligrosos. Entre ellos la disposición geológica y en océano y la incineración. Siendo estas altamente peligrosas en ausencia de tecnología especializada y de un alto costo de adquisición, operación y mantenimiento.

Es por esto que el manejo integral de residuos, de acuerdo con la Ley 8839 busca articular e interrelacionar acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación y monitoreo y evaluación para el manejo de los mismos, desde su generación hasta la disposición final (Ley 8839 2010). Reduciendo así, el volumen de éstos que requiere disponerse.

En el Laboratorio de Docencia de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional (LADECA) se generan residuos peligrosos que no reciben un tratamiento adecuado. Lo cual, además de representar una problemática ambiental, no contribuye a la formación que el estudiantado recibe en dicho centro de estudios.

Es por esto que se plantea la elaboración del presente proyecto de graduación, el cual incluye un diagnóstico de la situación actual del laboratorio, una evaluación de las opciones de manejo para los residuos identificados y por último el diseño de los procesos que constituyen la propuesta.

Antecedentes:

En 1994 Costa Rica ratifica el Convenio de Basilea sobre Control Fronterizo de Desechos Peligrosos y su Eliminación. Lo cual repercute en la creación del Reglamento sobre las características y listado de los desechos peligrosos industriales y el Reglamento para el manejo de los desechos peligrosos industriales, los cuales entraron en vigencia en 1998.

A nivel de la universidad, ésta emitió el Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional publicado en UNA Gaceta N° 10-2011. Y por medio de la regencia química ha trabajado en temas de prevención y disposición final de estos residuos en la institución.

En el laboratorio específicamente, en el pasado se dispusieron los residuos peligrosos en el desagüe y actualmente se almacenan en el sitio, según explica Solís (2015).

Justificación

En el Laboratorio de Docencia de la Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA), se generan residuos de manejo especial como infectocontagiosos, aceites, biocidas y químicos con contenido de metales pesados, principalmente Cromo hexavalente. Éstos ya superan los 19 L y están siendo almacenados en el laboratorio dado la ausencia de programas o mecanismos para su adecuado tratamiento interno (Solís, 2015) generando un problema de espacio, además del problema ambiental y laboral asociado a tener ese almacenamiento.

De acuerdo con Mora (2015) la regencia química de la universidad se ha encargado de brindar capacitaciones en temas de almacenamiento, prevención, etiquetado, entre otros. Para este departamento el objetivo principal es la reducción la producción de residuos de características especiales. Sin embargo, también se encargan de coordinar con entes externos la disposición final de los residuos peligrosos que se generan en los laboratorios. Para retirarlos el departamento acumula cierta cantidad de solicitudes para contratar al ente externo por un mayor volumen. El Laboratorio de Docencia de la EDECA hasta el 2014 no estaba incluido en la lista de laboratorio con la que contaba la regencia química, razón por la cual no entró en muchos de estos programas.

Acumular estos residuos en el sitio puede constituir una amenaza para la salud humana y el ambiente (EPA 2003). Sumado a esto, almacenarlos por periodos mayores a los dos años va en contra de lo estipulado por el Protocolo para la disposición final de los desechos peligrosos en la Universidad Nacional (2014).

La forma en que son tratados es relevante ya que, de acuerdo con el Convenio de Basilea, la generación y la complejidad de los residuos peligrosos representa un peligro creciente para la salud humana y el medio ambiente (PNUMA 1992).

Es por esto, que con el fin de conservar la salud humana y la del ambiente y tomando en cuenta que, el papel de las universidades es fundamental para resolver esta problemática (Carvajal y Salas 2004). Es necesario contar con metodologías enfocadas a la reducción de su generación y de los posibles efectos adversos que pueden causar.

Este laboratorio, por su responsabilidad con la sociedad y el ambiente, poniendo en práctica el objetivo principal de la regencia química de la universidad y buscando elevar la conciencia de los estudiantes sobre el manejo adecuado de residuos de éste tipo. Busca contar con un modelo con el que se disminuya la generación de estos residuos y se trate adecuadamente de forma interna la mayor cantidad posible de estos mismos.

Como respuesta a la problemática expuesta, el presente proyecto de graduación tiene como finalidad, generar una propuesta de modelo de gestión integral para residuos peligrosos generados en laboratorios de docencia, siendo diseñado específicamente para el Laboratorio de Docencia de la EDECA, UNA, Heredia; pero siendo extrapolable a otros laboratorios. Integrando los conocimientos adquiridos tanto en la carrera de Gestión Ambiental como en la Licenciatura con énfasis en ingeniería sanitaria. Siendo el manejo de residuos uno de los temas principales que trata la ingeniería sanitaria con el fin de mejorar la salud humana y ecológica.

Problema:

El Laboratorio de docencia de la Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA), de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) tiene almacenados alrededor de 19 L de residuos catalogados como peligrosos. Los cuales terminarán siendo tratados por un ente externo a la universidad, generando costos monetarios e incumpliendo con la línea de la universidad de generar menos residuos de este tipo.

Con base en lo anterior, surge la siguiente pregunta: ¿Cómo dar un manejo integral a los residuos peligrosos generados en el Laboratorio de Docencia de la EDECA, UNA, Heredia reduciendo el volumen que requiere un tratamiento externo a la Universidad?

Objetivos

Objetivo general:

- Elaborar una propuesta de modelo de gestión para residuos peligrosos generados en el Laboratorio de Docencia de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de Costa Rica, Campus Omar Dengo, para el manejo integral de los mismos.

Objetivos específicos:

- Diagnosticar el manejo actual de los residuos en el laboratorio, como línea base para la elaboración de la propuesta.
- Evaluar las opciones de manejo disponibles para los residuos identificados, para su selección por medio de una priorización.
- Diseñar los procesos para la gestión de todos los tipos de residuos peligrosos que se generaron en el laboratorio, para la conformación de la propuesta.

Marco teórico

Antecedentes

En el marco internacional, en 1989 fue adoptado por la Conferencia Plenipotenciaria en Basilea; el Convenio de Basilea, el cual se refiere a los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Actualmente, está ratificado en 185 países y ha servido como impulsador de regulaciones nacionales respecto a éste tema (Basel Convention 2011).

De acuerdo con Albers (2015), a escala global, el método más común para tratar los residuos peligrosos es la disposición geológica en los vertederos, ya que es la opción menos costosa y la más simple; sin embargo, representa un alto riesgo de contaminación al suelo y por ende a la salud humana, pudiendo incluso propagarse por infiltración a los mantos acuíferos. Otro método altamente utilizado y dañino al ambiente, es la disposición marina (o vertimiento en el mar) el cual sucede comúnmente fuera de cualquier control legal.

Por otro lado Albers (2015) menciona que la incineración es un método utilizado para destruir este tipo de materiales, el cual genera gases y residuos sólidos altamente tóxicos, los cuales son minimizados actualmente por medio de tecnología de difícil acceso para las pequeñas economías. Otros métodos poco utilizados son el reciclaje y el procesamiento o pretratamiento.

Según explica Carruthers (2008) en Latinoamérica, la legislación en temas ambientales es desigual, el acceso a datos es complicado y las estadísticas oficiales subestiman las amenazas toxicas de la industria. Esto por la necesidad que tienen los países de la región de atraer fuentes de empleo, restándole importancia al impacto ambiental de las actividades que ésta desarrolla.

En materia de manejo de residuos especiales y peligrosos en Latino américa, según Acurio *et al.* (2000), estos generalmente se mezclan con los ordinarios municipales, dada la falta de control de las autoridades por la carencia de recursos humanos, físicos y financieros. Sin embargo, según Osibanjo *et al.* (2007) el panorama en la gestión racional de los productos químicos está mejorando en los países en desarrollo como los latinoamericanos, por medio de la implementación de enfoques como el de Ciclo de vida.

En Costa Rica, se ha evidenciado el compromiso del país con el tratamiento de residuos peligrosos, por medio de la creación de una serie de leyes y reglamentos y con la ratificación del Convenio de Basilea. Sin embargo, de acuerdo con Mora (2010) esta reglamentación no es específica para la gestión de residuos y desechos en laboratorios de instituciones de enseñanza superior.

El Reglamento 37788 general para la clasificación y manejo de residuos peligrosos, define este tipo de residuo como; aquellos que por su reactividad química y sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, radioactivas, biológicas, bioinfecciosas e inflamables, ecotóxicas o de persistencia ambiental, o que por su tiempo de exposición, puedan causar daños a la salud o el ambiente. Y los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos, excepto los que hayan recibido tratamiento previo (Decreto 37788-MINAE-S 2013).

La Universidad Nacional por su lado, cuenta con una Política Ambiental, publicada en UNA Gaceta N° 07-2003, la cual menciona entre sus puntos; (...) Realizar sus actividades evitando el desperdicio y contaminación del recurso agua, realizar un manejo adecuado de sus desechos (Política Ambiental UNA 2003). Y un Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional (2014), el cual indica la forma en que se debe proceder para utilizar el servicio de la regencia química de manejo de desechos

peligrosos. Además han existido proyectos enfocados al manejo de estos residuos como el proyecto denominado “Desarrollo de un sistema de gestión en el manejo de los desechos líquidos peligrosos de los laboratorios de docencia la Universidad Nacional campus Omar Dengo, para mejorar la calidad del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales”. Sin embargo, la misma universidad reconoce que existe un riesgo latente por la presencia y limitaciones del manejo de materiales y desechos extraordinarios y peligrosos en el Campus Central (PMI 2012).

La institución además cuenta con el departamento de Regencia Química, la cual según Mora (2015) se encarga de coordinar el tratamiento final de los residuos con características de manejo especial, además de asesorar sobre etiquetado, almacenamiento y prevención en el manejo de los mismos. Para esta oficina el objetivo principal es reducir la cantidad de residuos de éste tipo que se generan en los laboratorios.

La Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA), de acuerdo con los registros de la regencia química de la UNA para el 2014 tenía una tasa de generación de residuos peligrosos líquidos de 32,7 L/mes. Mora (2010) identifica como debilidades de la escuela, la falta de capacitación, de conciencia en manejo de residuos y de equipo para el adecuado tratamiento. Cabe destacar que el Laboratorio de Docencia no se incluyó en esa caracterización.

A nivel del Laboratorio de docencia de la EDECA, de acuerdo con Solís (2015) no se cuenta con ninguna política o plan para tratar los residuos peligrosos generados. Por lo que actualmente están siendo almacenados en el sitio sin ningún plan a futuro.

Solís (2015), indica que este laboratorio se utiliza para que el estudiantado de Gestión Ambiental e Ingeniería Forestal realicen prácticas correspondientes a cursos relacionados con química y microbiología, por lo que se generan residuos peligrosos.

Residuos que suelen generarse en el laboratorio

Se generan metales pesados, los cuales son considerados peligrosos dado que poseen las siguientes características: tienen una alta toxicidad, su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, inactivando la acción enzimática, causando daños irreversibles en los diferentes organismos (Vullo 2003).

Dentro de los metales pesados se encuentra el cromo. Éste es un elemento metálico de amplia distribución en la naturaleza en forma de crocoita, el cromo hexavalente es un elemento altamente tóxico para el ser humano y está clasificado por la IARC (International Agency for Reserch on Cancer) en el grupo I (cancerígeno comprobado en humanos) ya que en exposición ocupacional produce cáncer en el sistema respiratorio (Téllez et al. sf).

Además dentro de los residuos peligrosos se incluyen los infectocontagiosos, los cuales de acuerdo con el Reglamento sobre la gestión de los desechos infectocontagiosos que se generan en establecimientos que prestan servicios a la salud y afines, un desechos infectocontagioso es aquel que contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de causar infección o que contiene o puede contener toxinas producidas por microorganismos que causan efectos nocivos a seres vivos y ambiente humano (Decreto 30965-S 2003). Dentro de los desechos de este tipo, que genera el laboratorio se encuentra el agar sangre y el agar PDA ambos con cultivos de bacterias y virus.

Otro residuos peligro que se genera, son los biocidas. Estos son sustancias activas y preparados que contengan una o más sustancias activas, destinadas a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control sobre cualquier organismo por medios químicos o biológicos (INSHT, ES 2002).

Además se generan residuos de análisis de Demanda Química de Oxígeno, según Mañunga (2010) este análisis se utiliza para evaluar el grado de contaminación de las aguas por

materia orgánica. El residuo que se genera es considerado peligroso por su bajo pH y sus altas concentraciones de plata (Ag), mercurio (Hg) y cromo (Cr).

En algunas prácticas se generan aceites como residuos, según Jiménez (2005) los aceites son compuestos de alcohol o glicerol y ácidos grasos. Las grasas (los ésteres de ácidos grasos sólidos) son los compuestos orgánicos más estables. Si las grasas no son eliminadas antes de la descarga del agua residual, puede interferir con la vida acuática y crear partículas y materiales en flotación imperceptibles.

En el laboratorio también hay almacenados, ácidos y sales inorgánicas. Las sales inorgánicas proceden de la reacción química entre un ácido y una base, éstas están compuestas por iones los cuales se caracterizan por tener una carga eléctrica (Aprendiz 2007).

De acuerdo con Hinkamp (2012), los ácidos inorgánicos también son conocidos como ácidos minerales y son un compuesto de hidrógeno y uno o más elementos (a excepción del carbono). Son sustancias que puede presentar efectos en la salud por una mala manipulación y pueden ser explosivos u oxidantes en contacto con productos orgánicos.

Posibles soluciones

Para minimizar los posibles efectos de los residuos generado en el laboratorio, se plantea dar una “gestión integral” a los mismos. Esta se define como; el conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación y monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final (Ley 8839 2010).

De acuerdo con Jiménez (2001), el manejo de residuos incluye las medidas técnicas (tratamiento) y administrativas para gestionar los mismos. Para dar este manejo se abarcó

el problema desde la ingeniería sanitaria en el área específica de la gestión integral de residuos ya que ésta viene a solucionar el conflicto del manejo de estos, toda vez que la ingeniería sanitaria se encarga de proponer y diseñar opciones para el manejo de problemas ambientales (OSMAN 2000).

Para dar un manejo integral a los residuos se elaboró un modelo, según Glynn y Heinke (2005) puede poseer los siguientes componentes:

- Inventario de los residuos que se generan
- Programa de reducción de residuos al mínimo
- Programa de almacenamiento
- Programa de derrames
- Programa de tratamiento y eliminación

Para realizar el inventario de residuos, que en este caso se extenderá para ser un estudio de tasa de generación, Runfola y Gallardo (2009) explican que existen varios métodos:

- Pesada total: Implica el pesaje en básculas de un número de cargas que llegan a los lugares de tratamiento o disposición final.
- Balance de masas: Es la mejor forma de determinar la generación y el movimiento de residuos con cierto grado de fiabilidad. Consiste en identificar las entradas y salidas de materiales de un sistema limitado.
- Muestreo estadístico: Involucra la toma de un número representativo de muestras de residuos sólidos de alguna de las fuentes, durante un tiempo, determinándose los pesos totales y de sus componentes.

Davis y Masten (2005) señalan entre las prioridades del manejo de residuos peligrosos, las siguientes:

- Reducir la cantidad de residuos peligrosos generados
- Estimular el intercambio de residuos
- Reciclar metales, el contenido de energía y los demás recursos útiles contenidos en los residuos

Los modelos, según Cabezas (2010), son un esquema teórico de un sistema o de una realidad compleja que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento. Un modelo de gestión es la descripción del proceso administrativo que existe o se pondrá en marcha dentro de una organización con el fin de organizar los recursos que contribuirán al manejo de los residuos peligrosos, en este caso.

Para Gonzáles (2001) un modelo de gestión es una forma de definir prioridades y tomar decisiones. El uso de un modelo de referencia cuenta con una serie de ventajas Gonzáles (2001):

- Evitar la creación de indicadores, ya que estos están definidos en el modelo.
- Permite disponer un marco conceptual completo.
- Determina una organización coherente de las actividades de mejora.
- Posibilita medir con los mismos criterios a lo largo del tiempo, por lo que es fácil detectar si se está avanzando en la dirección deseada.

Existen distintos modelos de gestión; por ejemplo, el modelo EFQM (siglas en inglés de European Foundation for Quality Management) de excelencia, el ciclo de mejora PDCA (siglas en inglés de Plan, Do, Check, Act) y el esquema lógico Reder.

De acuerdo con EFQM (2003), este es un modelo de excelencia es un modelo flexible que puede aplicarse a organizaciones grande y pequeñas. Se fundamenta en los siguientes conceptos: orientación hacia los resultados, orientación al cliente, liderazgo y coherencia,

gestión por procesos y hechos, desarrollo e implicación de las personas, proceso continuo de aprendizaje, innovación y mejora, desarrollo de alianzas y responsabilidad social de la organización.

Costas y Puche (2010) explican que el ciclo PDCA de Deming que consiste en las fases de Plan (planear), Do (hacer), Check (chequear), Act (actuar). Planear consiste en ganar la aceptación del equipo en aquello que requiere la atención, Hacer se trata de la ejecución del plan, Chequear consiste en verificar que los logros no son casuales y Actuar en estandarizar la nueva situación.

Marín et al (2013), explica que el modelo EFQM de la Unión Europea que se caracteriza porque un equipo actúa sobre los agentes facilitadores para generar procesos cuyos resultados se reflejarán en las personas de la organización, los clientes y en la sociedad general.

Para elaborar los modelos, Cabezas (2010) define que se deben seguir los siguientes pasos:

- Prospección: Fase en la que se reúnen las labores de investigación previa y análisis de variables para dar forma a la línea base sobre la que se construirá el sistema.
- Negociación: Incluye las consultas y acuerdos con los actores clave que de algún modo influyen en el éxito o fracaso del modelo (los cuales pueden ser: públicos, privados, políticos y sociales o de la comunidad).
- Formulación: Una vez que se conocen las variables y consultada la opinión de los actores sobre la configuración de la administración propuesta es posible diseñar en el papel el modelo de gestión que asumirá la administración.
- Revisión: El proceso concluye con esta etapa en la que se revisa y aprueba lo formulado, dicha revisión se da por parte de los administradores que tendrán que aplicar el modelo.

Opciones de tratamiento

Metales pesados (Hg, Ag, Ni, Zn, Cu, Pb)

Para tratar este tipo de residuos Blanco citado por Garzón y Barragán (2008), señala que un polímero sintético, el polisulfano y una resina epóxica, se utilizan para la inmovilización de células de *Phormidium laminosum*, una cianobacteria con la capacidad de absorber metales pesados como el Cu (II), Ni (II) y Zn (II).

Calvo, et al. (2010) probó el tratamiento por membrana para los residuos químicos peligrosos que se generan en el Tecnológico de Costa Rica (TEC), este consiste en una filtración mediante osmosis inversa y obtuvo una reducción notoria para Hg, Pb, Ni y Cd. Sin embargo, como desventajas se señala que se requiere de un pretratamiento, un postratamiento y el tratamiento en sí, tiene un costo elevado.

Para el tratamiento de los residuos con plata (Ag), como los generados en los análisis de DQO, Mañunga (2010) propone usar la precipitación agregando 2g de NaCl por cada litro de residuo, agitando durante 10 minutos. Utilizando dicha concentración, se logró una remoción del orden del 99,9% independientemente de las concentraciones iniciales. Según Glynn y Keike (2005) éste método se puede utilizar para otros metales pesados como el Cd y el Hg. Masten (2005) explica que la precipitación es el fenómeno que sucede cuando se eleva el pH de una solución, reduciendo la solubilidad del metal y precipitando su hidróxido.

Cr⁺⁶: Cromo (IV) o Cromo hexavalente

Para tratar el cromo Vullo (2003) propone, la bioasorción que es un fenómeno ampliamente estudiado en la biorremediación de metales pesados como el cromo (también

cadmio, plomo, níquel, zinc y cobre). Este fenómeno consiste en la retención del elemento mediante una interacción fisicoquímica del metal con ligandos pertenecientes a la superficie celular. Para que esto suceda no es necesario un metabolismo microbiano activo, lo que disminuye los costos del proceso al no requerir agregado de nutrientes.

Como otro método, se identifica el que describe Bertini y Cicerone (2009), un tratamiento físico-químico que consiste en utilizar una mezcla de alcoholes (metanol, etanol, 1-butanol, 2-butanol y terbutanol) para reducir el Cr (VI) a Cr (III) y precipitarlo como hidróxido de cromo (III), utilizando como precipitante bisulfito de sodio (2M) separándolo de la solución acuosa hasta pH = 8, para finalmente oxidar este precipitado a cromo (VI) y así poder utilizarlo nuevamente en las prácticas de laboratorio.

Un tratamiento similar al anterior pero sin reutilización lo propone Balderas citado por Mañunga, et al. (2010), éste consiste en la reducción del metal hasta su forma trivalente (menos reactiva). Ha sido encontrado que adicionando fructosa con una concentración de 50mg/ml a temperatura ambiente (en Bogotá) y pH de 2, en 60 minutos se logra obtener concentraciones de Cr⁺⁶ entre 0,23 y 0,27mg/L. De acuerdo con la Alcaldía Mayor de Bogotá (2015) la temperatura promedio de ésta ciudad es de 14°C.

Otra forma de tratamiento la describe Gil (2012), ésta consiste en un tratamiento electroquímico por electrodeposición. La cual consiste en una electrolisis que remueve el porcentaje de cromo (VI) y plata en un 95% y 29% respectivamente, de la solución acuosa en la que se encuentre.

Agar con cultivos de bacterias y virus

Para tratar este tipo de residuos, Forbes et al. (2009) explica que se pueden utilizar métodos de físicos esterilización como el calor húmedo y calor seco. Para el método de

calor húmedo, se utiliza una autoclave, éste se utiliza para esterilizar desechos biológicos peligrosos y objetos termoestables. Para el de calor seco, se utilizan estufas de calor seco para esterilizar elementos como vidrio, aceite, vaselina o polvos. Además como método físico de desinfección, expone la ebullición, ésta se realiza a 100°C y se utiliza para destruir las bacterias vegetativas.

Uno de los métodos más utilizados en este campo lo expone Zabala (2000), la incineración consiste en una cámara primaria, donde se queman los desechos, y una secundaria donde se combustionan los gases producidos en la primaria. Es uno de los métodos más efectivos en la esterilización; sin embargo, produce gases y cenizas tóxicos.

Ácidos y sales inorgánicas

De acuerdo con la UNAL (2007), para neutralizar los ácidos se pueden emplear carbonatos como bicarbonato sódico, hidróxido de calcio o utilizar adsorbentes-neutralizadores que se hallan comercializados. No se recomienda el uso de soluciones de hidróxidos de metales por su reacción exotérmica en contacto con los ácidos.

Un tratamiento que se puede utilizar para tratar las sales antes de verterlas lo propone, Gadea y Guardino (2000), este consiste en añadir un exceso de Na_2CO_3 y agua, dejar en reposo al menos 24 horas y neutralizar con HCl 6M.

Biocidas

De acuerdo con Mora (2015) las características de los biocidas son tan especiales que el único tratamiento disponible en Costa Rica es la incineración. Para esto se debe coordinar su recolección con el departamento de regencia química de la UNA.

Aceites

Una forma sencilla de eliminar las grasas y los aceites lo propone Romero (2010), es la trampa de grasas. La cual consiste en un tanque diseñado para retener las grasas y aceites, este sistema es utilizado por establecimientos e industrias pequeñas.

Legislación respectiva

En el siguiente cuadro se enlista la legislación internacional, nacional e institucional relacionada con el tema de estudio, la cual se buscará cumplir en su totalidad con el producto final del presente proyecto.

Cuadro 1. Legislación relacionada con el tratamiento de residuos peligrosos

Nombre	Año entrada en vigencia	Alcance	Número de decreto	Ente rector	Aspectos relevantes
Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional	2014	Institucional	NA	Programa UNA Campus Sostenible	Procedimiento para la gestión de los desechos generados y para la gestión de desechos desconocidos. Clasificación de los desechos.
Políticas ambientales de la UNA	2003	Institucional	NA	UNA	Puntos 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11 y 12 de la política.
Reglamento general para la clasificación y manejo de residuos peligrosos	2014	Nacional	37788	Ministerio de Salud y Ministerio de Ambiente y Energía	Clasificación e identificación, manejo, responsabilidades del generador, tratamiento, disposición final, prohibiciones.
Reglamento sobre rellenos sanitarios	1998	Nacional	27378	Ministerio de Salud	Transitorio único: En casos especiales y

Nombre	Año entrada en vigencia	Alcance	Número de decreto	Ente rector	Aspectos relevantes
					previa aprobación los desechos especiales se pueden disponer en los rellenos sanitarios.
Ley para la gestión integral de residuos	2008	Nacional	8839		Capítulo IV: Responsabilidad y obligaciones.
Reglamento general a la Ley para la gestión integral de residuos	2013	Nacional	37567	Ministerio de Salud, Ministerio de Hacienda y Ministerio de Ambiente y Energía	Programas de residuos por parte de los generadores.
Ley general de salud	1974	Nacional	5395		Sección IV: deberes y restricciones de las personas con acciones y operaciones relativas a sustancias tóxicas y peligrosas
Ley Orgánica del ambiente	1996	Nacional	7554		Disposiciones generales
Reglamento sobre la gestión de los desechos infectocontagiosos que se generan en establecimientos que presten atención a la salud y afines	2003	Nacional	30965	Ministerio de Salud	Clasificación, recipientes, transporte interno, almacenamiento, tratamiento.
Reglamento para el manejo de productos peligrosos	2000	Nacional	28930	Ministerio de Salud	Instrucciones de hoja de seguridad, manejo.
Reglamento sobre las características y listado de los desechos peligrosos industriales	1998	Nacional	27000	Ministerio de Ambiente y Energía	Características peligrosas de un desecho.
Reglamento para el	1998	Nacional	27001	Ministerio	Acumulación.

Nombre	Año entrada en vigencia	Alcance	Número de decreto	Ente rector	Aspectos relevantes
manejo de los desechos peligrosos industriales				de Ambiente y Energía	
Ratificación del convenio de Basilea sobre el control fronterizo de desechos peligrosos y su eliminación	1994	Nacional	23927	Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto	Obligaciones generales, operaciones de eliminación.

Fuente: Elaboración propia.2015

Marco metodológico

El enfoque de la presente investigación es de tipo Mixto ya que; vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio (Hernández et al. 2010). Esta vinculación corresponde específicamente a los datos cuantitativos de la primera etapa (tasa de generación) con los cualitativos de la segunda etapa (opciones de manejo) para poder realizar la tercera etapa (diseño de los programas) y así contestar a la pregunta de investigación planteada.

El diseño es del tipo dominante cualitativo definido por Hernández et al. (2010), en el cual la investigación es esencialmente cualitativa con elementos cuantitativos.

El objeto de estudio son los residuos peligrosos generados en el Laboratorio de Docencia de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de Costa Rica, Campus Omar Dengo en Heredia. Dado que la investigación se realiza para el laboratorio en específico no se utilizó una muestra. Es decir, la población de estudio es la totalidad de residuos peligrosos que puedan generarse en el laboratorio.

El proyecto se realizó en 3 etapas consecutivas, donde cada una corresponde a los objetivos específicos planteados:

1. Primera etapa: Diagnóstico

En esta primera etapa se identificaron los residuos a tratar y cuál es el manejo que se le da a los mismos, esto se realizó en dos fases:

1.1. Manejo actual: Se buscó conocer la realidad del manejo actual por medio de los siguientes pasos:

1.1.1. Se utilizó la técnica de consulta por medio de un cuestionario no estructurado (apéndice 1) de elaboración propia, con preguntas relacionadas a los residuos que generan en sus cursos y el manejo que estos reciben. Fue aplicado a todos los docentes que utilizan el laboratorio (uno por docente), por correo electrónico o en físico.

1.1.2. Se utilizó una lista de chequeo (Apéndice 2) para evaluar el cumplimiento del “Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional” (2014). Para elaborar la herramienta, se recopilaron los requisitos contenidos en dicho protocolo. El puntaje para cada requisito se determinó según los siguientes criterios contenidos en el Apéndice 3.

1.1.3. Se calculó el porcentaje de cumplimiento del protocolo según la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{puntos obtenidos en el chequeo}}{\text{puntos totales de la lista de chequeo}} \times 100$$

1.1.4. Esta lista de chequeo formará parte del control de la mejora continua del modelo, por lo que deberá aplicarse cada año e ir aumentando el porcentaje de cumplimiento logrado.

1.2. Tasa de generación: Esta se calculó por medio de los siguientes pasos:

- 1.2.1. Se identificaron los insumos peligrosos de las prácticas de laboratorio a realizarse en este recinto, utilizando como criterio si están incluidos en el Sistema de clasificación de productos peligrosos de las Naciones Unidas, Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG) y si cuentan con indicaciones de peligro.
- 1.2.2. De los insumos identificados en la actividad anterior se seleccionaron los que vayan a convertirse en residuos, según el siguiente esquema:

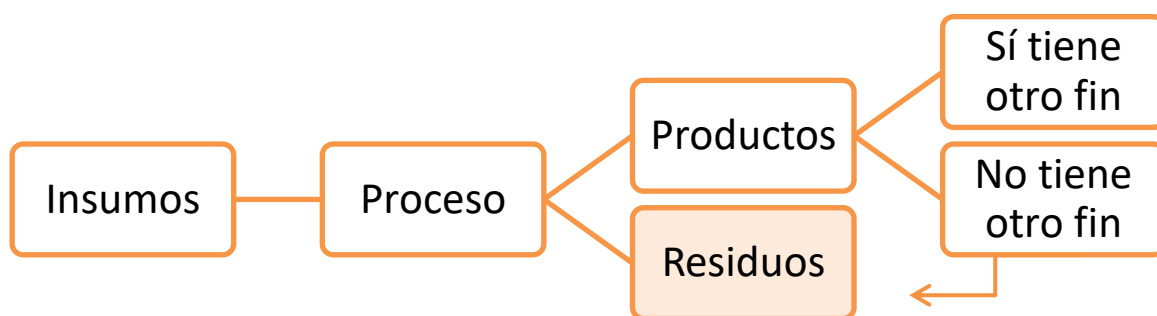


Ilustración 1. Esquema para identificar los posibles residuos de las prácticas
Fuente: Elaboración propia. 2015

- 1.2.3. Se calculó la tasa de generación teórica por Balance de masa para los insumos que se identificaron como generadores de residuos. Considerando los volúmenes que utilizará cada estudiante en cada práctica, obteniendo la tasa en unidades de ml/práctica o en el caso de los sólidos g/práctica.

1.2.4. El método de balance de masa, consiste en restarle al volumen inicial los productos finales, determinando así el volumen de residuos que teóricamente se van a generar.

1.2.5. Se tabularon los datos obtenidos, incluyendo cuales sustancias se generan, cuál es su tasa de generación, en qué cursos se generan, el número del grupo de desechos al que pertenece según el Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional (2014) y en el caso de los reactivos químicos la clase según el Sistema de Clasificación de reactivos químicos según el Código IMDG de las Naciones Unidas (2008).

Recursos a utilizar en la etapa 1:

- Cuestionario no estructurado (Apéndice 1)
- Lista de chequeo (Apéndice 2)
- Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional (2014).
- Código IMDG de las Naciones Unidas (2008)
- Prácticas de laboratorio de los cursos impartidos en el año 2014 en el laboratorio de Docencia de la EDECA, UNA.
- Uso de Microsoft Office para elaborar los instrumentos y tabular los resultados.

Resultados esperados de la etapa 1:

- Lista de situaciones a mejorar, identificadas por la lista de chequeo y respuestas del cuestionario.
- Lista de residuos a tratar en el laboratorio.

2. Segunda etapa: Opciones de manejo

Durante esta etapa se identificaron las opciones de tratamiento y administrativas más adecuadas para cada uno de los residuos identificados en la etapa anterior. Esta se realizó por medio de dos fases, una teórica y una práctica:

2.1. Estudio teórico. Se realizó por medio de los siguientes pasos:

2.1.1. Se realizó una revisión bibliográfica de las opciones de manejo que existen para los residuos identificados y de las opciones para mejorar los puntos identificados en la consulta y en la lista de chequeo consultando en las siguientes bases de datos:

- Bibliotecas de las Universidades Estatales de Costa Rica y del Sistema Nacional de Bibliotecas.
- Revistas científicas ambientales y tecnológicas como: Ambientico (UNA), Ambientales (UNA), Tecnología en Marcha (TEC), Uniciencia (UNA), Ciencia y Tecnología (UCR), Biocenosis (UNED), entre otras.
- Compendios de revistas en línea como: Scielo, SciencaDirect, SpringerLink, Sage Journals Online, entre otros.

2.1.2. Se consideraron también las propuestas realizadas por los docentes por medio de los cuestionarios. Uniendo las que sean similares y haciendo la diferenciación entre las opciones de tratamiento y las de tipo administrativas

2.1.3. Se evaluaron las opciones de tratamiento identificadas en las actividades anteriores por medio de una matriz (Apéndice 6), donde se relacionó el costo y el beneficio de cada una. Seleccionando por medio de una priorización.

Donde los costos son todas aquellas actividades que requieran inversión monetaria de la unidad académica (materiales, reactivos, equipo), y se le asignó un valor según el rango de costo que representa, como se muestra en el apéndice 4.

Los criterios de beneficio son los que se presentan en el apéndice 5.

- 2.1.4. Se evaluaron las opciones administrativas por medio de la matriz contenida en el apéndice 6, donde se relaciona el costo y el beneficio de cada una. Seleccionando por medio de una priorización.

Los criterios de costo fueron los mismos que para las opciones de tratamiento (ver apéndice 4).

Los criterios de beneficio son los que se presentan en el apéndice 7 y la matriz que se utilizó es la que se encuentra en el apéndice 8.

- 2.1.5. Se seleccionaron las opciones de tratamiento y administrativas por medio de una priorización y tomando en cuenta la relación costo-beneficio.

2.2. Estudio práctico

Las opciones de tratamiento seleccionadas en la fase anterior se probarán a nivel de laboratorio para observar su comportamiento bajo las condiciones que presentan los residuos del laboratorio y las condiciones ambientales del mismo. El estudio práctico se realizará siguiendo los siguientes pasos:

- 2.2.1. Se seguirán los pasos que indique el tratamiento seleccionado para tratar cada residuo.

- 2.2.2. Se anotarán las condiciones ambientales bajo las que se está aplicando el tratamiento. Entiéndase temperatura ambiente, temperatura de la solución, humedad en el ambiente y hora a la que se aplica.
- 2.2.3. La temperatura y la humedad ambiente se medirán con un termómetro y un medidor de humedad, respectivamente.
- 2.2.4. La temperatura de la solución se tomará con un pHmetro.
- 2.2.5. Se anotará cualquier cambio realizado al tratamiento, por ejemplo aumento en la cantidad de reactivo, temperatura, volumen de residuo, tiempo de agitación.
- 2.2.6. Se determinará la efectividad del tratamiento midiendo la concentración de la sustancia peligrosa y el pH de la solución antes y después de aplicar el tratamiento.
- 2.2.7. Se seguirán estos pasos para cada tratamiento seleccionado.

Recursos a utilizar en la etapa 2:

- Criterios de costo y beneficio para analizar las opciones administrativas y de tratamiento.
- Matriz de costo-beneficio para las opciones administrativas y de tratamiento.
- Uso de Microsoft Office para elaborar los instrumentos y tabular los resultados.
- pHmetro.
- Materiales según los tratamientos seleccionados.

Resultado esperado de la etapa 2:

- Opciones administrativas y de tratamiento seleccionadas para utilizar en el modelo.
- Cambios y adaptaciones necesarias para aplicar los tratamientos en el laboratorio.

3. Tercera etapa: Diseño de componentes

3.1. Diseño del componente “Planificación”: Este se utilizará para planear antes de cada semestre la aplicación del modelo. Incluirá determinación de la política del laboratorio, de los objetivos, la selección de procesos necesarios, responsables y recursos para el ciclo lectivo (semestre).

Para esto, se establecerá una política utilizando como referencia los criterios de las diferentes normas ISO y se establecerán objetivos para el primer semestre de aplicación del modelo. Además, se creará un registro de los procesos disponibles con información necesaria, utilizando el apéndice 9.

3.2. Diseño del componente “Implementación”: Con base en las opciones de tratamiento seleccionadas en la etapa anterior y las adaptaciones necesarias para aplicarlas, se diseñarán los procesos a seguir para tratar los residuos.

El diseño de los procesos contará con título, código, versión, diagrama de flujo, descripción de la actividad, responsable y documento o registro. Como se muestra en el apéndice 10.

Se incluirán procesos como los siguientes: para el tratamiento final de los desechos, para el reciclaje de los residuos, para la reutilización de materiales, para el almacenamiento, para comunicación del modelo a los estudiantes, para la minimización de muestras y para emergencias.

3.3. Diseño del componente “Seguimiento y evaluación”: Incluye el control de la aplicación de los procesos, el uso de la bitácora y la mejora continua.

Se elaborará un diagrama de flujo de tipo panorámico que cubra los siguientes aspectos:

- Etapa

- Descripción de cada etapa
- Actividades de cada etapa
- Periodicidad de cada etapa

3.4. Diseño del componente “Aplicación” del modelo: Este apartado incluirá una explicación de cómo utilizar el modelo propuesto y cuáles son las responsabilidades de cada actor.

La explicación se realizará con base en los componentes Planificación, Implementación y Seguimiento y Evaluación, que ya estarán listos para este punto. Abarcando los siguientes puntos:

- Utilidad de cada componente
- Cómo utilizar cada componente
- Con qué periodicidad aplicar cada componente

Recursos a utilizar en la etapa 3:

- Opciones de manejo seleccionadas.

Resultado esperado de la etapa 3:

- Modelo para la gestión de residuos peligrosos generados en laboratorio, específicamente para el Laboratorio de Docencia de la EDECA, UNA.

Resultados

1. Primera etapa: Diagnóstico

Durante esta etapa se recopiló la información necesaria para conocer la situación actual del laboratorio con respecto al manejo de los residuos. A continuación se presentan los resultados obtenidos por medio de las herramientas descritas en el apartado de metodología.

1.1. Manejo actual

1.1.1. Lista de chequeo

Para conocer el manejo actual se aplicó una lista de chequeo basada en lo establecido por el Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional (2012). En el apéndice 11, se observan lo registrado durante la aplicación de dicha herramienta.

En la ilustración 2 se observa el porcentaje de cumplimiento que presenta el Laboratorio de Docencia de la EDECA con respecto al Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional. Dicho cumplimiento es de 54%, demostrando una muy leve aplicación del protocolo en la manipulación de los residuos peligrosos.

Las mayores carencias se presentan en las condiciones de acopio de los residuos. Se incumple con el tiempo máximo de acumulación (2 años calendario), se acopia en un área física no apropiada y además se usa más del espacio permitido (50% del área física destinada) y se utilizan los recipientes a más del 80% de su capacidad. Además, no se utiliza una bitácora y no se informa al regente químico al llenar los recipientes.

Respecto al espacio físico, en el laboratorio se han estado almacenando activos que no están en uso y además hay equipo que pertenece a otros laboratorios de la EDECA por lo que el espacio disponible se ve reducido.

El incumplimiento se da principalmente por el desconocimiento de los funcionarios del laboratorio sobre lo que establece el Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional. Los funcionarios no conocen el protocolo porque el LADECA no estaba incluido en la lista de laboratorio con que contaba la Regencia Química de la universidad.

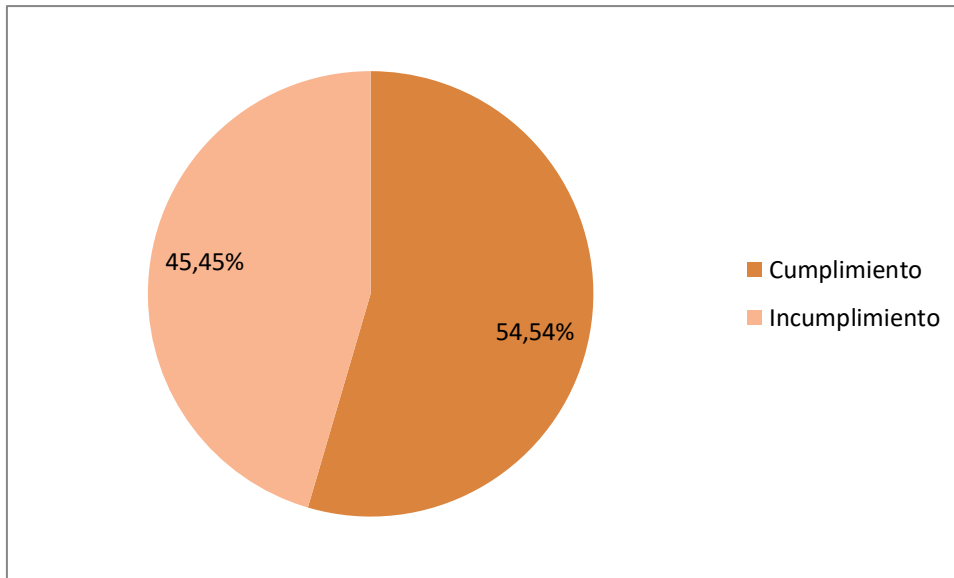


Ilustración 2. Porcentaje de cumplimiento del Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional, en el Laboratorio de Docencia de la EDECA.

Fuente: Elaboración propia (2015)

1.1.2. Cuestionario a docentes

Además de la lista de chequeo, se aplicó un cuestionario a los ocho docentes que impartieron o imparten lecciones en el laboratorio en el año 2015, de los cuales el 100% contestó. A continuación se resumen las respuestas obtenidas con esta herramienta.

Resultados del cuestionario:

Pregunta 1.

Se identifican algunos cursos donde no se generan residuos peligrosos y por lo tanto no requieren ser parte de la fase de medición de la tasa de generación. También se identifican cursos donde hay producción de residuos de alta peligrosidad para el ambiente.

Cuadro 2. Residuos peligrosos que se generan en los cursos que imparte

Carrera	Curso	Respuesta
Ing. Gestión	Toxicología ambiental	Es posible que se manejen plaguicidas y metales pesado (cromo y cobre)

ambiental		
Ing. Gestión ambiental	Toxicología ambiental	Metales pesados (cromo y zinc), plaguicidas, alcohol
Ing. Gestión ambiental	Sistemas de Tratamiento de Aguas	La mayoría de las prácticas se realizan en campo, otras son piloto en el laboratorio con aguas residuales frescas y microorganismos. Solo cuando hacemos cloro residual utilizamos DPD para generar color, pero son cantidades pequeñas.
Ing. Gestión ambiental	Medición y Tecnologías en Aire	La mayoría de las prácticas son en campo y el resto con software.
Ing. Gestión ambiental	Fundamentos de Hidráulica e Hidrología	No hubo producción de residuos peligrosos durante el curso impartido en el primer ciclo del 2015.
Ing. Gestión ambiental	Inocuidad y Bioseguridad de Alimentos	Residuos de medios de cultivos y agares con bacterias (residuos bioinfecciosos)
Gestión ambiental	Medición de Agentes Contaminantes y Tecnologías: Residuos	Disoluciones de Cr (VI)
Ing. Gestión ambiental	Tecnologías: Residuos	No hubo generación de residuos peligrosos.
Gestión ambiental	Tecnologías: Aire	Disulfuro de carbono, carbón activado, lana de vidrio, filtros de PVC, filtros de membrana, filtros de celulosa y filtros de fibra de vidrio.

Fuente: Elaboración propia basado en las respuestas al cuestionario (2015)

Pregunta 2.

Se observa que en la mayoría de los casos, los docentes señalan como manejo el almacenamiento o la disposición en la pila. Solo en el caso del curso Tecnologías: Aire el profesor señala que da un tratamiento de valorización a los residuos peligrosos que genera.

Cuadro 3. Conocimiento de los encuestados sobre el tratamiento interno que se le da a los residuos

Carrera	Curso	Respuesta
Ing. Gestión ambiental	Toxicología ambiental	No sé cómo se maneja actualmente porque es la primera vez que doy clases en la escuela
Ing. Gestión	Toxicología ambiental	Al inicio del ciclo solicito al responsable del laboratorio recipientes (plaguicidas, metales y solventes) para el

ambiental		depósito de los residuos. Les indico a los estudiantes que depositen los residuos en los respectivos recipientes.
Ing. Gestión ambiental	Sistemas de Tratamiento de Aguas	Los pocos residuos de DPD van a la pila, es un tipo de indicador orgánico que no es persistente y debería degradarse.
Ing. Gestión ambiental	Medición y Tecnologías en Aire	Los pocos residuos de DPD van a la pila, es un tipo de indicador orgánico que no es persistente y debería degradarse.
Ing. Gestión ambiental	Fundamentos de Hidráulica e Hidrología	No aplica.
Ing. Gestión ambiental	Inocuidad y Bioseguridad de Alimentos	No hay un buen manejo las placas desechables con bacterias debe recogerlas una empresa que trate residuos bioinfecciosos y los tubos con medios se deben autoclavar
Gestión ambiental	Medición de Agentes Contaminantes y Tecnologías: Residuos	Se almacenan
Gestión ambiental	Tecnologías: Aire	Las disoluciones peligrosas las almacenan en el LAA para llevarlas a cogenerar. Los filtros se depositan a la basura. Algunas disoluciones se estabilizan.

Fuente: Elaboración propia basado en las respuestas al cuestionario. 2015

Pregunta 3.

Se señalan opciones de procesos de biodegradación, utilizar los servicios de la regencia química de la universidad, realizar auto-clavado y utilizar el servicio de empresas externas.

Dichas opciones de manejo serán consideradas en la matriz correspondiente durante la segunda etapa del presente documento.

Cuadro 4. Recomendaciones de los encuestas de cómo debe manejar el laboratorio de los residuos

Carrera	Curso	Respuesta
Ing. Gestión ambiental	Toxicología ambiental	“Los residuos de esas sustancias deben ser separados en recipientes identificados. Los plaguicidas se pueden someter a un proceso de degradación según su estabilidad; se pueden utilizar matrices microbiológicas para su biodegradación (biocamas por ejemplo). Para los metales, actualmente muchos laboratorios optan por almacenarlos y enviarlos a alguna empresa que los incinere. Sin embargo, se podrían implementar procesos biológicos de recuperación, algún sistema de fitoremediación por ejemplo.”

Ing. Gestión ambiental	Toxicología ambiental	“Desconozco el manejo que le da la EDECA a los residuos colectados, por lo que me es difícil decir cómo se puede mejorar. La regencia química de la UNA tiene un plan para recoger y disponer de los residuos, desconozco si la EDECA aprovecha esa facilidad.”
Ing. Gestión ambiental	Sistemas de Tratamiento de Aguas	“Son concentraciones bajas en agua y es una única práctica, por lo que no hay otra forma de mejorar esa disposición de forma rentable y práctica.”
Ing. Gestión ambiental	Medición y Tecnologías en Aire	“Son concentraciones bajas en agua y es una única práctica, por lo que no hay otra forma de mejorar esa disposición de forma rentable y práctica.”
Ing. Gestión ambiental	Fundamentos de Hidráulica e Hidrología	No aplica.
Ing. Gestión ambiental	Inocuidad y Bioseguridad de Alimentos	“Designar personal o estudiantes que se dedique a autoclavar los tubos y en el caso de las placas petri contratar una empresa que se las lleve.”
Gestión ambiental	Medición de Agentes Contaminantes y Tecnologías: Residuos	“Dando tratamiento en Holcim”
Gestión ambiental	Tecnologías: Aire	“Clasificar y buscar quien lo pueda reciclar.”

Fuente: Elaboración propia basado en las respuestas al cuestionario. 2015

Pregunta 4.

Solo una profesora indicó contar con disponibilidad de tiempo para manejar los residuos peligrosos que genera en su laboratorio. Esto será considerado en las propuestas que se realicen; sin embargo, también se puede considerar concientizar a los docentes para que dispongan algunos minutos de la clase para tratar los residuos.

Cuadro 5. Horas a la semana puede disponer para el manejo de los residuos peligrosos

Curso	Respuesta
Toxicología ambiental	No dispongo de tiempo para esa actividad, me tengo que hacer responsable en el caso de que se generen desechos peligrosos en una práctica que esté bajo mi responsabilidad, pero el laboratorio debería contar con el procedimiento y la persona encargada de manejar los desechos y materiales en general.
Toxicología ambiental	No dispongo de tiempo para el manejo de los residuos en la EDECA. Las horas que utilizo para impartir el curso son por recargo.
Sistemas de	Por el momento no manejo residuos clasificados como peligrosos. En

Tratamiento de Aguas	futuras prácticas tal vez incorpore la prueba de DQO, donde habría residuos con mercurio, ácido sulfúrico y cromo.
Medición y Tecnologías en Aire	Por el momento no manejo residuos clasificados como peligrosos. En futuras prácticas tal vez incorpore la prueba de DQO, donde habría residuos con mercurio, ácido sulfúrico y cromo.
Fundamentos de Hidráulica e Hidrología	No aplica.
Inocuidad y Bioseguridad de Alimentos	Ninguna
Medición de Agentes Contaminantes y Tecnologías: Residuos	Una hora.
Tecnologías: Aire	Ninguna

Fuente: Elaboración propia basado en las respuestas al cuestionario. 2015

Comentarios.

Los docentes señalan aspectos importantes como coordinar capacitaciones y recolecta de residuos con la regencia química, contar con envases adecuados, capacitar estudiantes para que den el manejo y valorar el costo de dar tratamiento o de cambiar las practicas que se utilizan.

Cuadro 6. Comentarios de los docentes en el cuestionario aplicado

Carrera	Curso	Respuesta
Ing. Gestión ambiental	Toxicología ambiental	-
Ing. Gestión ambiental	Toxicología ambiental	Cada unidad debe hacerse responsable de los desechos que genera. Sería bueno que el personal de la EDECA asista a los cursos de capacitación en este tema que organiza la regencia química de la UNA. Coordinar con regencia química la colecta y disposición de los residuos.
Ing. Gestión ambiental	Sistemas de Tratamiento de Aguas	Sería importante contar con envases debidamente señalados en el laboratorio si se diera el caso fortuito de utilizar algo que genere un residuo peligroso. Por ejemplo: metales pesados, solventes orgánicos, ácidos concentrados, etc.
Ing. Gestión ambiental	Medición y Tecnologías	Sería importante contar con envases debidamente señalados en el laboratorio si se diera el caso fortuito de

	en Aire	utilizar algo que genere un residuo peligroso. Por ejemplo: metales pesados, solventes orgánicos, ácidos concentrados, etc.
Ing. Gestión ambiental	Fundamentos de Hidráulica e Hidrología	El curso Fundamentos de Hidráulica e Hidrología es teórico
Ing. Gestión ambiental	Inocuidad y Bioseguridad de Alimentos	Con respecto a la pregunta 4 lo que creo es que se deben de tener estudiantes capacitados para el manejo de estos residuos ya que generalmente las prácticas son de 2 a 4 horas donde el docente no tiene tiempo para esta labor.
Gestión ambiental	Medición de Agentes Contaminantes y Tecnologías: Residuos	Hay que ver precios de tratamiento o buscar otras prácticas.
Gestión ambiental	Tecnologías: Aire	–

Fuente: Elaboración propia basado en las respuestas al cuestionario. 2015

Con base en el cuestionario y la lista de chequeo se elaboró un cuadro donde se resumen los aspectos donde se identificó que se debe mejorar.

Cuadro 7. Situaciones a mejorar identificadas por medio de la lista de chequeo y el cuestionario aplicados

Herramienta en la que se identificó	Situación a mejorar	Estado de la situación
Lista de chequeo	Sitio de almacenamiento	El sitio no es seguro ya que está expuesto a que se quiebren los recipientes. Además se utiliza el 100% del espacio físico.
Lista de chequeo	Tiempo de acumulación	Los residuos se acumulan por periodos muy largos.
Lista de chequeo	Capacidad recipientes	Los recipientes se llenan a más del 80% de su capacidad.
Lista de chequeo	Uso de bitácora	No se utiliza una bitácora para el control de los residuos que se almacenan.
Lista de chequeo	Etiquetas	No todos los recipientes cuentan con su respectiva etiqueta.
Lista de chequeo	Información al regente químico	No se informa al regente químico al llenar un recipiente al 80% de su capacidad.
Cuestionario	Información	La mayoría de los docentes desconoce sobre el tratamiento que se les da a los residuos en el laboratorio.
Cuestionario	Tratamiento	La mayoría de los residuos se almacenan o se disponen en la pila.

Fuente: Elaboración propia basado en la lista de chequeo aplicada y las respuestas al cuestionario. 2015

Para las situaciones señaladas en el cuadro anterior se buscaran soluciones ya sean de tratamiento o administrativas en la siguiente fase metodológica.

1.2. Tasa de generación

Para conocer la tasa en la que se generan residuos peligrosos en el laboratorio se realizó un estudio teórico donde se determinaron los residuos peligrosos generados en el laboratorio y sus tasas de generación, esto se observa en el cuadro 8.

En el apéndice 12 se muestra la información completa de la caracterización de los residuos, incluyendo sustancia, curso en el que se genera, grupo de desecho según el Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional o la clase de reactivo IMDG según sea el caso.

En la mayoría de los residuos se indica que su tasa de generación es despreciable, esto se debe a que la cantidad generada como residuo es el porcentaje de reactivo que permanece sin reaccionar en la disolución. En el caso del Cloruro de amonio y el Zinc (II) su cantidad no es despreciable pero su concentración es mucho menor al límite establecido por la legislación costarricense, según el Reglamento de reúso y vertido de aguas residuales (Decreto 33601-MINAE-S 2010).

Cuadro 8. Tasa de generación de residuos en el laboratorio de docencia de la EDECA para el año 2015

Residuo	Tasa teórica de generación total	Cursos en los que se genera
Hipoclorito de calcio	3 punta espátula/practica realizada	Inocuidad y bioseguridad de alimentos
Acetona	5 ml/practica realizada	Inocuidad y bioseguridad de alimentos.
Placas con agar y microorganismos vivos	12 placas/practica realizada	Inocuidad y bioseguridad de alimentos
KOH en etanol	100 ml/ practica realizada	Medición de agentes contaminantes
Cr ₂ (SO ₄) ₃ (Sulfato crómico)	40 ml/practica realizada	Medición de agentes contaminantes

Residuo	Tasa teórica de generación total	Cursos en los que se genera
NH ₄ Cl	13 ml/practica realizada (Concentración: >0,01%)	Medición de agentes contaminantes
Dimetilglioximato de níquel	35 ml/practica realizada	Medición de agentes contaminantes
Cr +6 diluido en agua (0,1 ug/ml)	30 ug/practica realizada	Toxicología ambiental
Zn +2 diluido en agua	1,5 mg/practica realizada (Concentración: 2,25mg/L)	Toxicología ambiental
Azo-grupo	1 ml/practica realizada	Medición de agentes contaminantes
HCl	Cantidad despreciable	Medición de agentes contaminantes (6 practicas)
NaOH	Cantidad despreciable	Medición de agentes contaminantes (6 practicas)
K ₂ SO ₄	Cantidad despreciable	Técnicas ambientales: Residuos
H ₂ SO ₄	Cantidad despreciable	Técnicas ambientales: Residuos
H ₃ PO ₄	Cantidad despreciable	Técnicas ambientales: Residuos
K ₂ Cr ₂ O ₇ (Dicromato de potasio)	10 ml/practica realizada	Medición de agentes contaminantes
C ₆ H ₁₄ (Hexano)	Cantidad despreciable	Inocuidad y bioseguridad de alimentos y Medición de agentes contaminantes
NH ₄ OH (Hidróxido de amonio)	Cantidad despreciable	Medición de agentes contaminantes
Orto-fenantrolina	Cantidad despreciable	Medición de agentes contaminantes
Clorhidrato de hidroxilamina	Cantidad despreciable	Medición de agentes contaminantes
NaNO ₂ (Nitrito de sodio)	Cantidad despreciable	Medición de agentes contaminantes
Fenolftaleína	Cantidad despreciable	Medición de agentes contaminantes
Selenito de sodio	Cantidad despreciable	Técnicas ambientales: Residuos
Sulfato de cobre	Cantidad despreciable	Técnicas ambientales: Residuos
Aceite sin reaccionar	Cantidad despreciable	Técnicas ambientales: Residuos

Fuente: Elaboración propia con base en las prácticas de laboratorio de la EDECA para el 2015 (2015)

2. Segunda etapa: Opciones de manejo

Durante esta etapa se buscaron, eligieron y corrigieron los procesos para el tratamiento y el manejo de los residuos identificados en la etapa anterior.

2.1. Estudio teórico

Para realizar el estudio teórico se hizo una revisión bibliográfica en las bibliotecas de la Universidad Nacional, en la base de datos de la Escuela de Química de la UNA, en los recursos digitales de la UNA y en revistas como “Sistemas ambientales”, “Ingeniería e investigación” y “Química Viva”, entre otras. Para posteriormente evaluar las opciones identificadas por medio de una serie de matrices de elaboración propia.

- Opciones de tratamiento

Para elegir las opciones de tratamiento se utilizó una matriz, en el cuadro 9 se observa la aplicación de dicha matriz y el resultado de la misma, es decir las opciones de tratamiento elegidas.

Cuadro 9. Elección de opciones de tratamiento para los residuos del LADECA

Residuo a tratar	Opción	Valor criterio costo	Criterio beneficio						Total	Elección
			1. Ahorro	2. Condiciones	3. Tiempo	4. Subproductos	5. Legislación	6. Coordinación		
Hipoclorito de calcio	Neutralizar con Na ₂ CO ₃ , Ca(OH) ₂ , KOH o NaOH 10ml/L. (Alfaro 2007)	5	1	5	5	5	5	5	31	No
	Neutralizar con NaHCO ₃ 10% (Alfaro 2007)	5	1	5	5	5	5	5	31	Sí
Placas con agar y microorganismos vivos	Autoclave (Forbes et al. 2009)	5	1	5	4	5	5	2	27	Sí
	Calor seco (Forbes et al. 2009)	3	1	5	3	5	5	0	22	No
	Incineración (Zabala 2000)	5	1	0	5	5	5	0	21	No
	Disponer sin tratamiento en la basura (Alfaro 2007)	5	1	5	5	5	0	0	21	No
KOH en etanol	Neutralizar con H ₂ SO ₄ (De Gante 2010).	5	1	4	5	5	5	2	27	Sí
Cr ₂ (SO ₄) ₃ (Sulfato crómico)	Se da un solución administrativa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Dimetilglioxima	Se da un solución administrativa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Cr +6 diluido en agua (0,1 ug/ml)	Reducción a cromo (III) con KI y Mg(OH) ₂ (Lunn y Sansone 1994).	5	1	5	4	5	5	2	27	No
	Reciclaje por precipitación (Bertini y Cicerone 2009)	5	1	5	5	5	5	5	31	Sí
	Electrodeposición (Gil 2012)	4	1	5	5	5	5	2	27	No

Residuo a tratar	Opción	Valor criterio costo	Criterio beneficio						Total	Elección
			1. Ahorro	2. Condiciones	3. Tiempo	4. Subproductos	5. Legislación	6. Coordinación		
Azo-grupo	Tratamiento con Ni-Al (Lunn y Sansone 1994).	1	1	5	5	5	5	1	22	No

Para el Azo-grupo que se genera en la práctica “Determinación de nitritos en aire” la única opción que se encontró no se probó dado el alto costo económico que representaría comprar los reactivos necesarios para tratarlo.

Para los demás residuos sí hubo un tratamiento elegido para ser probado en la siguiente fase.

- Opciones de manejo

Los procesos para el manejo de los residuos provienen de elaboración propia con base en las situaciones identificadas en el cuestionario y en la lista de chequeo o con base en recomendaciones brindadas por los docentes.

Los valores más bajos observados en el cuadro 10 se obtienen en opciones de manejo que son requisitos para cumplir con el Protocolo para la disposición final de los desechos peligrosos en la UNA, por lo que, a pesar de tener los valores más bajo son opciones que se aplicaran. Ninguna opción de manejo se descartó, es decir, dependiendo del caso específico todas las opciones serán utilizadas en la propuesta del modelo.

Cuadro 10. Evaluación de las opciones de manejo

Situación a mejorar	Opción	Valor criterio costo	Criterios beneficio			Total
			1. Legislación	2. Seguridad	3. Participación	
Sitio de almacenamiento	Acondicionar un sitio de almacenamiento adecuado	4	5	5	0	14
	Reducir los residuos que se generan	5	5	5	5	20
Tiempo de acumulación	Entregar los residuos almacenados a la regencia química de la universidad	5	5	5	0	15
	Reducir los residuos que se generan	4	5	5	5	19
	Dar tratamiento en el laboratorio	2	5	5	5	17

Situación a mejorar	Opción	Valor criterio costo	Criterios beneficio			Total
			1. Legislación	2. Seguridad	3. Participación	
Capacidad de recipientes	Capacitar sobre las medidas para acopiar en recipientes	4	5	5	5	19
	Adquirir nuevos recipientes para acopiar residuos	4	5	5	0	14
Uso de bitácora	Elaborar un cuadro que funcione como la bitácora que se pide en el Protocolo	5	5	5	5	20
Etiquetas	Crear un proceso para control de etiquetas	5	5	5	5	20
Información al regente químico	Crear un proceso para información a la regencia	5	5	5	5	20
Información	Crear procesos de información a estudiantes y docentes	5	5	5	5	20
Tratamiento	Dar tratamiento en el laboratorio cuando sea posible	4	5	5	5	19
	Entregar los residuos almacenados a la regencia química de la universidad	5	5	5	0	15
Generación de Cr ₂ (SO ₄) ₃	Modificar la práctica "Valoración REDOX"	5	5	5	5	20

Fuente: Elaboración propia (2015)

2.2. Estudio práctico

Para realizar el estudio práctico se probaron en el laboratorio de docencia de la EDECA todos los procesos de tratamiento elegidos en el “estudio teórico”. Los cambios y adaptaciones necesarias en los procesos probados son los siguientes

Cuadro 11. Adaptaciones necesarias a los procesos elegidos.

Residuo	Tratamiento	Adaptaciones necesarias
Ca(ClO) ₂	Neutralización	Agregar partes iguales de Ca(ClO) ₂ y peróxido de hidrógeno.
Placas con agar	Auto-clavado	No hay adaptaciones
KOH en etanol	Neutralización	Diluir el KOH en agua

		(relación 5:100) y utilizar 5ml de HCl (0,1 M).
Cromo (VI)	Reducción	Utilizar Bisulfito de sodio y Potasa. Llevar hasta Cr ⁺³ .

Fuente: Elaboración propia (2016)

Los otros tres tratamientos fueron probados y se encontraron algunas adaptaciones necesarias, que pueden deberse tanto a las características de los residuos como a las del laboratorio.

3. Tercera etapa: Diseño de componentes

En esta etapa se diseñaron los componentes del modelo, utilizando la información recopilada en las etapas anteriores.

3.1. Planificación

- ❖ Definición de una política de gestión integral de residuos peligrosos para el laboratorio.

La coordinación del laboratorio debe definir una política que cumpla las siguientes condiciones:

- Su magnitud está directamente relacionada con los residuos peligrosos que se generan en el laboratorio y las posibilidades reales de éste para manejarlos.
- Cumple el marco legal nacional e institucional.
- Involucra la participación del estudiantado.
- Incluye la prevención de la contaminación y la mejora continua.
- Se actualiza periódicamente (cada semestre o cada año).
- Se comunica a los docentes y estudiantes que utilizan el laboratorio.

- Ser aprobada por la dirección y ser definida como de cumplimiento obligatorio en el laboratorio.

Ejemplo para el LADECA:

El Laboratorio de docencia de la Escuela de Ciencias Ambientales, es un espacio dedicado a la enseñanza de Química Ambiental y Tecnologías Ambientales, comprometido con la protección al ambiente, por lo que sus acciones se orientan a

- Minimizar el uso de reactivos tóxicos o peligrosos en las practicas.
 - Gestionar por los medios adecuados los residuos peligrosos que se generen.
 - Cumplir a cabalidad con la legislación nacional e institucional en temas de residuos.
- ❖ Definición de objetivos y metas para la gestión integral de residuos peligrosos en el laboratorio.

La coordinación del laboratorio debe definir objetivos y sus respectivas metas bajo los siguientes criterios:

- Deben estar orientados al cumplimiento de la política de gestión integral de residuos peligrosos definida.
- Deben actualizarse periódicamente (con la política).
- Deben ser medibles y alcanzables dentro de las posibilidades del laboratorio.
- Deben involucrar al estudiantado.

Ejemplo para el LADECA

Cuadro 12. Objetivos y metas del sistema establecidos como ejemplo para el LADECA

Objetivo	Metas
Minimizar el uso de reactivos tóxicos o peligrosos en las practicas.	Reducir en un 10% el uso de reactivos tóxicos o peligrosos, del inventario del

	laboratorio, en las practicas por medio de la modificación de las mismas en el primer semestre del 2017.
Gestionar por los medio de tratamiento interno, regencia química o con el LAGEDE los residuos peligrosos.	Gestionar el 100% de los residuos que se generan por medio de tratamiento interno, regencia química o con el LAGEDE a partir del primer semestre del 2017.
Integrar al estudiantado en la gestión de los residuos peligrosos.	Rotular todos los recipientes de residuos e incluir en las prácticas de laboratorio la obligación del estudiantado de disponer los residuos adecuadamente, a partir del primer semestre del 2017.

Fuente: Elaboración propia (2016)

❖ Registro de procesos

Para el control de los procesos, por medio de los cuales se buscará cumplir la política de gestión de residuos peligrosos, se puede utilizar un cuadro como el siguiente, en el cual se presentan los procesos establecidos para el LADECA:

Cuadro 13. Ejemplo para el LADECA del cuadro para el control de los procesos

Proceso	Código	Residuos en los que se puede utilizar	Responsabilidades	Recursos necesarios
Control de etiquetas en recipientes para residuos.	E.01	Todos	Uso adecuado de las etiquetas en recipientes para residuos.	Anexo 2 Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional.
Información a la regencia	R.01	Todos	Informar a la regencia para retirar los recipientes con residuos, contando con la información requerida.	Bitácora de residuos.
Inspección de desechos	Ins.01	Todos	Verificar el buen estado de los recipientes y sitio de acopio de desechos.	Bitácora de residuos.
Inventario de desechos	Inv.01	Todos	Conocer cuales desechos y en qué cantidad se están generando.	Bitácora de residuos.

Proceso	Código	Residuos en los que se puede utilizar	Responsabilidades	Recursos necesarios
Información a estudiantes	Es.01	Todos	Informar al estudiantado sobre el tratamiento de ResPel en el LADECA.	
Información a docentes	D.01	Todos	Informar a los docentes sobre el tratamiento de ResPel en el LADECA.	
Tratamiento Ca(ClO) ₂	CC.01	Ca(ClO) ₂	Neutralizar el residuo.	Peróxido de hidrogeno
Tratamiento KOH en etanol	KOH.01	KOH en etanol	Neutralizar el residuo.	HCl 0,1 M
Tratamiento Cr+6	Cr.01	Cr+6	Reciclar el residuo.	Bisulfito de sodio y mezcla de alcoholes (metanol, etanol, 1-butanol, 2-butanol y terbutanol.
Toma de decisiones compra de reactivos	TD.01	Todos	Reducir la generación de residuos peligrosos	

Fuente: Elaboración propia (2016)

3.2.Implementación





- ❖ Establecimiento de procesos para el cumplimiento de la política de de gestión de residuos peligrosos.

Para el cumplimiento de la política de gestión de residuos peligrosos se deben establecer procesos. La coordinación del laboratorio puede generar cuantos procesos requiera para cumplir sus objetivos y metas.

Procesos establecidos para el LADECA:




Cuadro 14. Proceso de control de etiquetas en recipientes para residuos



Título: Control de etiquetas en recipientes para residuos.	Código	E.01
	Versión	01

Diagrama de flujo	Descripción de la actividad	Responsables	Documento o registro
	Cuando un recipiente alcanza el 80% de su capacidad y hay que cambiarlo o cuando se genera un residuos que no cuenta con recipiente para su disposición.	Coordinación	Debe registrarse en la bitácora de residuos.
	Retirar las etiquetas en UNA Campus Sostenible.		
	Colocar la etiqueta y llenarla.		
	Comprobar cada mes que las etiquetas estén en buen estado.		

Fuente: Elaboración propia (2016)




Cuadro 15. Proceso de información a la regencia

Título: Información a la regencia		Código	R.01
		Versión	01
Diagrama de flujo	Descripción de la actividad	Responsables	Documento o registro
	Revisar periódicamente el nivel de llenado de los recipientes.	Coordinación	Debe registrarse en la bitácora de residuos.
	Al alcanzar el 80% de su capacidad el recipiente se marca para no seguir siendo llenado.		
	Informar a: wuman@una.ac.cr: Ubicación de los desechos. Actividad principal que realiza el sitio donde se ubica el desecho. Tipo y capacidad de recipientes. Condiciones del		

	<p>recipiente (presenta rupturas, fugas, tapa deterioradas, embalajes dañados) Volumen aproximado del desecho. Tiempo aproximado de acumulación del desecho. Toda aquella información que sea legible en la etiqueta. Cualquier otra información que facilite la manipulación e identificación del desecho.</p>
	Se coloca el recipiente en un sitio aparte a espera de ser retirado.
	Se realiza el pago al ente externo.

Fuente: Elaboración propia (2016)




Cuadro 16. Proceso de inspección de desechos

Título: Inspección de desechos		Código	Ins.01
		Versión	01
Diagrama de flujo	Descripción de la actividad	Responsables	Documento o registro
	Al concluir cada mes realizar una inspección del sitio y de los desechos segregados.	Asistentes del laboratorio	Debe registrarse en la bitácora de residuos.
	Anotar: Personas responsables de la inspección: Indicar el nombre completo y el puesto de las personas que realiza la inspección. Fecha de inspección. Código de los recipientes inspeccionados.		
	Para cada recipiente anotar: Estado del recipiente (golpes,		

<p>tapas oxidadas, quebradas, etc.). Existencia de fugas en los recipientes. Existencia de derrames en las áreas de almacenamiento. Presencia reacciones no deseadas (generación de vapores, líquidos inestables, olores fuertes). Estado de las etiquetas (legibles, borrosas, etc.) Volumen actual de los recipientes.</p>
--





Fuente: Elaboración propia (2016)

Cuadro 17. Proceso para el Inventario de desechos

Título: Inventario de desechos		Código	Inv.01
		Versión	01
Diagrama de flujo	Descripción de la actividad	Responsables	Documento o registro
	Al transcurrir tres meses, realizar un inventario de desechos.	Asistentes del laboratorio	Debe registrarse en la bitácora de residuos.
	Revisar todos los datos anotados en la bitácora de residuos en los tres meses anteriores.		
	Anotar: Nombre y grupo del desecho. Fecha inicial de acumulación. Fecha final de acumulación. Cantidad mensual generada (g o L). Proceso(s) generador(es) del desecho. Empresa o Unidad que retiró el desecho. Observaciones.		




Fuente: Elaboración propia (2016)

Cuadro 18. Proceso de Información a estudiantes

Título: Información a estudiantes		Código	Es.01
		Versión	01
Diagrama de flujo	Descripción de la actividad	Responsables	Documento o registro
	Al aplicarse un nuevo proceso o al inicio del semestre.	Coordinación	Debe registrarse en la bitácora de residuos.
	Incluir la información en prácticas de laboratorio.		
	Compartir la información al inicio del laboratorio.		
	Colocar información en lugares visibles del laboratorio.		

Fuente: Elaboración propia (2016)




Cuadro 19. Proceso de Información a docentes

Título: Información a docentes		Código	D.01
		Versión	01
Diagrama de flujo	Descripción de la actividad	Responsables	Documento o registro
	Al aplicarse un nuevo proceso o al inicio del semestre.	Coordinación	Debe registrarse en la bitácora de residuos.
	Brindar la información vía correo electrónico.		
	Comunicarlo en reunión de docentes.		

Fuente: Elaboración propia (2016)





Cuadro 20. Proceso para Tratamiento de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

Título: Tratamiento $\text{Ca}(\text{ClO})_2$		Código	CC.01
		Versión	01
Diagrama de flujo	Descripción de la actividad	Responsables	Documento o registro

	Cuando se genere el residuo.	Generador	Debe registrarse en la bitácora de residuos.
	Adicionar la misma cantidad de peróxido de hidrogeno que se tenga de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$.		
	Disponer en la pila.		



Fuente: Elaboración propia (2016)

Cuadro 21. Proceso Tratamiento KOH en etanol

Título: Tratamiento KOH en etanol		Código	KOH.01
		Versión	01
Diagrama de flujo	Descripción de la actividad	Responsables	Documento o registro
	Cuando se genere el residuo.	Generador	Debe registrarse en la bitácora de residuos.
	Diluir el KOH en agua hasta lograr una relación de 5:100.		
	Agregar 5ml de HCl 0,1 M.		
	Disponer en la pila.		

Fuente: Elaboración propia (2016)

Cuadro 22. Proceso Tratamiento Cromo (VI)

Título: Tratamiento Cromo (VI)		Código	Cr.01
		Versión	01
Diagrama de flujo	Descripción de la actividad	Responsables	Documento o registro
	Cuando se genere el residuo.	Generador	Debe registrarse en la bitácora de residuos.
	Tomar 250ml del residuo con Cr(VI), adicionar poco a poco Na_2SO_3 con agitación hasta que la mezcla sea color verde esmeralda.		

○	Agregar potasa en una relación 50:50 hasta que la mezcla sea incolora.
○	Disponer en la pila.

Fuente: Elaboración propia (2016)

Toma de decisiones compra de reactivos **TD.01**

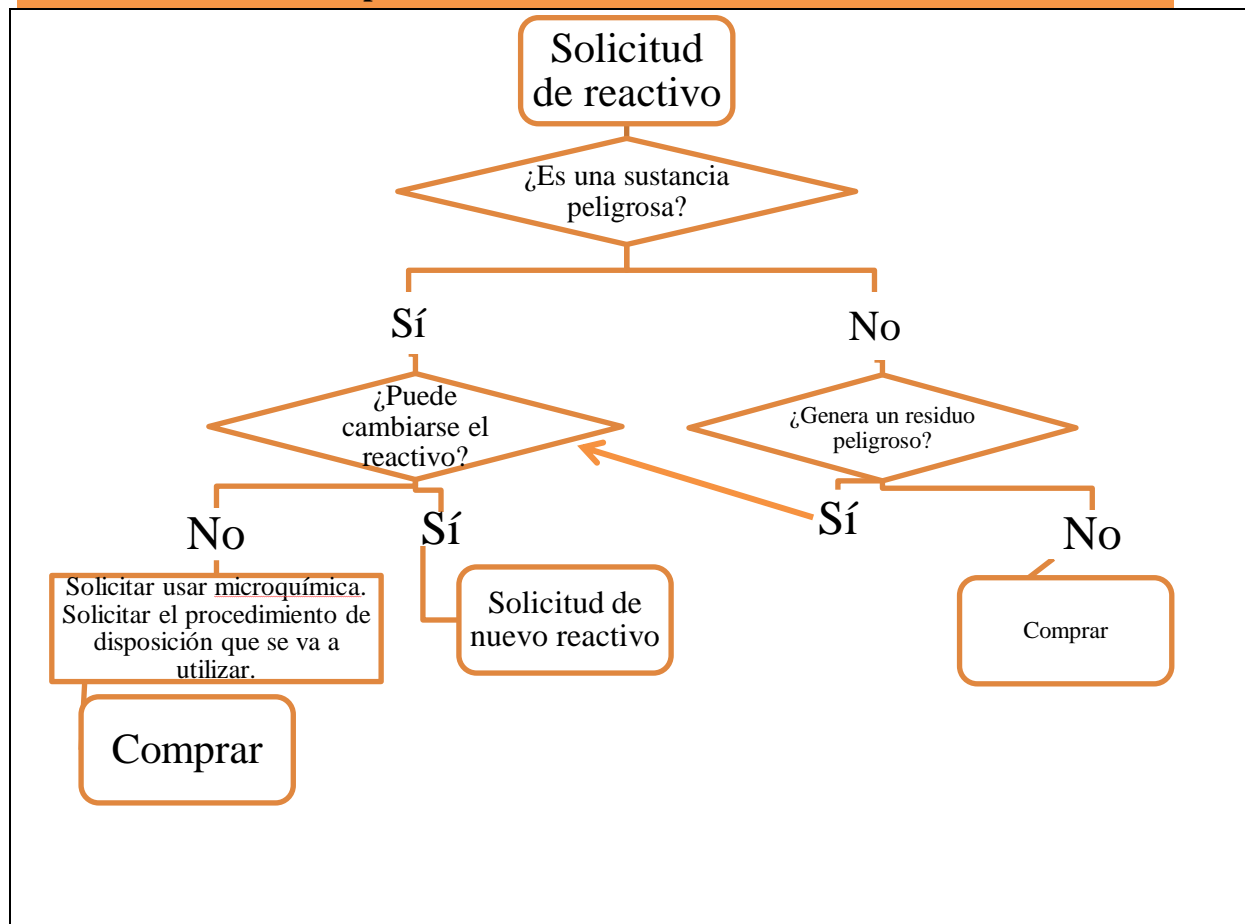


Ilustración 3. Proceso para toma de decisiones compra de reactivos

Fuente: Elaboración propia (2016)

3.3. Seguimiento y evaluación

- ❖ Control de la aplicación de procesos

La aplicación de todos los procesos debe anotarse en la bitácora y es responsabilidad de la coordinación junto con los docentes velar por que éstos se cumplan.

❖ Uso de la bitácora

Cada vez que se depositan desechos en un recipiente del laboratorio se debe anotar la siguiente información:

Fecha inicio acumulación	
Fecha final acumulación	
Grupo al que pertenece el desechos	
Código de peligrosidad	
Persona que genera el desecho	
Código del recipiente	
Capacidad del recipiente	
Consecutivo del laboratorio	
Cantidad desecho depositado	
Descripción del contenido del desecho	
Fecha de salida del desecho	
Empresa que lo retiró	

Además, cada vez que se realice unos de los procesos de los descritos en la sección “implementación” se debe anotar quien realizó el proceso, cual proceso realizo y observaciones si las considera necesarias.

En la bitácora también se deben incluir los resultados del proceso Ins.01 y los datos del inventario trimestral, proceso Inv.01.

❖ Mejora continua

Al finalizar cada semestre se debe evaluar el desempeño del modelo de gestión, revisar cuales residuos se van a generar y cómo van a ser tratados y establecer como se mejorará en lo que se falló. La evaluación del desempeño contemplará:

- La aplicación de los procesos, si no se aplicaron cual fue la razón.
- El funcionamiento de los procesos, si algo no funciona o funciona parcialmente.
- Que se hay registrado todas las actividades necesarias en la bitácora de residuos.

- Consulta a los estudiantes sobre su percepción del manejo de los residuos en el laboratorio (por medio de una encuesta digital u otros medios).
- Algún aspecto del manejo de residuos peligrosos que no esté siendo cubierto.

Además, en conjunto con la actualización de la política y de los objetivos, se procurará tener un laboratorio más eficiente en manejo de residuos conforme pasa el tiempo.

Diagrama de la mejora continúa

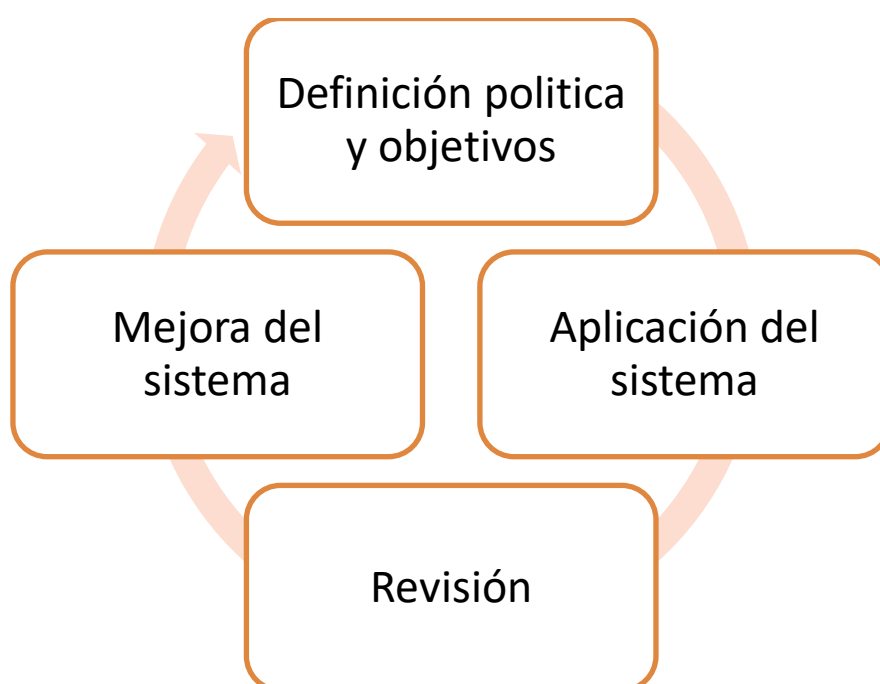


Ilustración 4. Diagrama de mejora continúa

Fuente: Elaboración propia (2016)

3.4. Aplicación

Para aplicar el modelo de gestión de residuos propuesto se deben realizar las siguientes actividades en el orden y con la periodicidad que se indica para cada una:

Cuadro 23. Resumen aplicación del modelo de gestión de residuos propuesto

Orden	Periodicidad	Actividad	Descripción	Responsable	Utilidad
1°	Al inicio del primer	Definición de política,	(Ver “planificación”)	Coordinación y asistentes	Planificar a qué se

Orden	Periodicidad	Actividad	Descripción	Responsable	Utilidad
	semestre de aplicación.	objetivos y metas.		del laboratorio	destinaran los esfuerzos del semestre.
2°	Al inicio del primer semestre de aplicación.	Revisión de procesos	Con base en los residuos que se van a generar seleccionar o crear los procesos que vayan a ser necesarios.	Coordinación y asistentes del laboratorio	Establecer cuales procesos se aplicaran durante el semestre.
3°	Durante el semestre.	Aplicar los procesos	(Ver “implementación”)	Coordinación y asistentes del laboratorio	Reducir y controlar la generación de residuos peligrosos en el laboratorio.
4°	Al final de cada semestre.	Definir política, objetivos y metas. Mejora continua	(Para la Política, objetivos y metas ver “Planificación”, para la mejora continua ver “Seguimiento y evaluación”)	Coordinación y asistentes del laboratorio	Planificar a qué se destinaran los esfuerzos del semestre. Establecer cuales process se aplicaran durante el semestre. Mejorar el sistema.
5°	Cuando se solicite comprar un nuevo reactivo	Decisión de la compra de un reactivo nuevo	Proceso a seguir a la hora de necesitar nuevos reactivos.	Coordinación y asistentes del laboratorio	Reducir la generación de nuevos residuos peligrosos

Fuente: Elaboración propia (2016)

Conclusiones

- En el momento de generar el diagnostico se evidenció que los residuos peligrosos del Laboratorio de Docencia estaban siendo almacenados o depositados directamente en la pila, sin ningún manejo, a pesar de las opción de manejo que brinda la Regencia Química de la Universidad, ya que este ente desconocía que el LADECA generaba residuos peligrosos.

- Los residuos químicos que se generan en el Laboratorio de Docencia en su mayoría son de peligrosidad baja e incipiente. Solamente cuatro de los veinticinco residuos que se generan presentan una peligrosidad elevada, según las Indicaciones de seguridad de las hojas de seguridad correspondientes. Estos residuos son; dicromato de potasio, zinc (II), sulfato crómico y cloruro de amonio.
- Los residuos peligrosos que no se pueden reducir o tratar a nivel interno, pueden manejarse por medio del LAGEDE. Esta opción es viable para el LADECA ya que no requiere de una inversión económica; sin embargo, debe ser tomada como una última opción ya que no involucra a los estudiantes ni considera aspectos de la gestión integral como evitar y reducir.
- Se logró cambiar las metodologías que se utilizan para las prácticas de laboratorio que generan residuos altamente peligrosos, y es viable en lo económico, ya que no necesariamente requieren de una alta inversión para cambiarse, en lo ambiental, porque pueden reducir significativamente la peligrosidad de los desechos que se generan y también en lo educativo ya que tienen un impacto en el nivel de la conciencia ambiental de los estudiantes al no utilizar sustancias de una alta peligrosidad. Todo esto se vio reflejado en el cambio de la práctica de Retrovaloración del curso Medición de agentes contaminantes a un enfoque de Química verde.
- Se generó un modelo de gestión que toma como referencia normas internacionales de calidad, como la ISO 9001:2008 para el aspecto de mejora continua y de gestión ambiental, como la ISO 14001:2015 para la definición de la política de gestión y las integra para ser aplicado en laboratorios como el tomado como estudio de caso.

Recomendaciones

- Para investigaciones futuras relacionadas con este tema, tomar en consideración la temática de la química verde. Ya que en el presente proyecto se logró desarrollar un ejemplo favorable en este ámbito.
- Considerar que los laboratorios de docencia trabajan con diversos docentes que no disponen de tiempo para hacer labores extra, como procesos extensos para el tratamiento de los residuos peligrosos, en dichos recintos académicos. Por lo que los procesos deben ser lo más eficiente que sea posible.
- Tomar en consideración la opinión e inclusión del estudiantado en todos los proyectos relacionados con la gestión de residuos.
- A la hora de diseñar programas de cursos y prácticas de laboratorio considerar las opciones de química verde, microescala, reacciones multicomponentes y fuentes alternas de activación química. Y así optar por procesos que eviten o minimicen el uso de sustancias que generan desechos peligrosos.
- Involucrar a los estudiantes en el proceso de disposición o tratamiento de los residuos peligrosos para generar conciencia sobre este aspecto.
- Para controlar la disposición de los residuos líquidos peligrosos sin tratar en la tubería, la universidad podría utilizar los parámetros de disposición que establece el Reglamento de uso y vertido de aguas residuales. Estableciendo un control en la conexión de las tuberías que van a la planta de tratamiento o al alcantarillado pluvial e imponiendo sanciones a las escuelas que incumplan dichos parámetros.
- La Regencia Química de la universidad puede garantizar que todos los laboratorios que generan desechos peligrosos conocen de los servicios brinda, enviando a todas las escuelas la información sobre sus servicios, sin excluir a ninguna.

Bibliografía

Acurio, G. et al. 2000. Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana. Washington D.C.

Agencia de Protección Ambiental (EPA). 2003. Manejando sus Residuos Peligrosos: Una guía para empresas pequeñas (en línea). Estados Unidos. Consultado 30 de marzo. 2015. Disponible en: <http://www.epa.gov/osw/hazard/generation/sqg/handbook/hazrules.pdf>

Albers, J. Responsibility and Liability in the Context of Transboundary Movements of Hazardous Wastes by Sea: The International Trade in Hazardous Wastes and Its Economic Background. Springer. Alemania

Alcandía Mayor de Bogotá. Un clima maravilloso (página web). Consultado 15 de abril. 2015. Disponible en: <http://www.bogota.gov.co/ciudad/clima>

Aprendiz, J. 2007. Minerales quelados altamente disponibles: Tipos de fuentes minerales y mecanismos de absorción (en línea). Consultado 15 de mayo 2015. México. Disponible en: http://www.biotay.com/upfiles/documento_archivo_96_1318531714.pdf

Basel Convention. 2011. The Convention (en línea). Consultado 4 de abril. 2015. Disponible en: <http://www.basel.int/Home/tabid/2202/Default.aspx>

Bertini, L y Cicerone, D. 2009. Gestión de residuos generados en laboratorios de enseñanza de química en entidades universitarias con participación activa del alumnado. FINTDI. Zaragoza, España

Calvo, G. et al. 2010. Aplicación de la tecnología de membranas en el tratamiento de algunos residuos líquidos altamente peligrosos (en línea). Revista Tecnología en marcha.

23(1): 94-106. Consultado 15 de abril 2015. Disponible en:
http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/tec_marcha/article/view/136/135

Carruthers, D. Environmental justice in Latin America: problems, promise, and practice. Massachusetts Institute of Technology. Londres, Inglaterra

Carvajal, H y Salas, J. 2004. Situación actual del manejo de los desechos peligrosos en el ITCR: Evaluación preliminar. Revista Tecnología en Marcha. 17 (1): 12-17

Costas, J y Puche, J. 2010. Entender el ciclo de PDCA de mejora continua. Revista Calidad. p 55-58

Davis, M y Masten, S. 2005. Ingeniería y ciencias ambientales: Administración de residuos peligrosos. México. McGraw-Hill Interamericana. p 570-592

Decreto 30965. 2003. La Gaceta 23. Reglamento sobre la gestión de los desechos infecto-contagiosos que se generan en establecimientos que prestan atención a la salud y afines. San José, Costa Rica

Decreto 33601. 2010b. La Gaceta 55. Reglamento de reúso y vertido de aguas residuales. San José, Costa Rica

Decreto 37788. 2013. La Gaceta 138. Reglamento general para la clasificación y manejo de residuos peligrosos. Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica. San José, Costa Rica

EFQM. 2003. Introducción a la excelencia (en línea). Bruselas, Bélgica. Consultado 15 mayo. 2015. Disponible en: <https://www.ucv.es/documentos/calidad/EFQM.pdf>

Escuela de Química. 2013. Hojas de Seguridad (en línea). Consultado 4 oct. 2015. Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. Disponible en:

http://www.quimica.una.ac.cr/index.php?option=com_remository&Itemid=54&func=select&id=80

Forbes, B. et al. 2009. Bailey & Scott: Diagnostico microbiológico. 12 ed. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires

Gadea, E y Guardino, X. 2000. NTP 276: Eliminación de residuos en el laboratorio: procedimientos generales. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo España. España

García, María. 2003. Manual de Auxiliar de Laboratorio. 2 ed. Editorial MAD. Sevilla, España

Garzón, C y Barragán, B. 2008. Inmovilización microbiana: técnicas y usos en el tratamiento de residuos tóxicos (en línea). Revista Sistemas Ambientales. 2 (1): 23-34.

Consultado 4 de abril. 2015. Disponible en:

<http://servicios.encb.ipn.mx/revistaisa/Vol.%202%20No.%201/INMOVILIZACION.pdf>

Gil, J. 2012. Tratamiento electroquímico para la remoción de metales pesados en residuos líquidos peligrosos generados en los laboratorios de docencia de la Universidad de Cauca (en línea). Universidad del Valle. Consultado 5 de abril. 2015. Disponible en:

<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7642/1/7720-0445648.pdf>

Glynn, H y Heinke, G. 2005. Ingeniería Ambiental: Residuos peligrosos. 2 ed. México. Pearson Education. p 620-662.

Gonzáles, R. 2001. Modelo Europeo de Excelencia. Ministerio de Educación, cultura y deporte del año 2001.

Hernández, R. et al. 2010. Metodología de la investigación: Los procesos mixtos de investigación. 5 ed. McGraw-Hill. México

Hinkamp, D. 2012. Guía de productos químicos: Propiedades de los ácidos inorgánicos. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. España

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). 2002. Real Decreto 1054/2002 por el que se regula el procesos de evaluación para el registro, autorización y comercialización de biocidas. España

Jiménez, E. 2005. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa. México

Ley 8839. 2010. La Gaceta135. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. San José, Costa Rica

Mañunga, T. et al. 2010. Tratamiento de residuos de DQO generados en laboratorio de análisis ambientales (en línea). Revista Ingeniería e Investigación. 30(2):87-95. Consultado 15 de abril. 2015. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n2/v30n2a09.pdf>

Marín, A. et al. 2013. Modelo EFQM de excelencia 2013. Agencia estatal de evaluación de las políticas públicas y la calidad de los servicios

Mora, J. 2010. Generación de un diagnostico en la gestión actual de desechos químicos en la Universidad Nacional. Maestría en Gestión y Estudios Ambientales. Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional de Costa Rica. p 78-82

Observatorio de Salud y Medio Ambiente en Andalucía (OSMAN). 2000. Diccionario (en línea). Andalucía. Consultado 17 marzo. 2015. Disponible en: <http://www.osman.es/ficha/12974>

Olivos, M et al. 2008. Actitudes de estudiantes de enfermería mexicanos al manejar residuos peligrosos biológico-infecciosos. PESQUISA. 12 (3): 479-484

Osibanjo, O. et al. 2007. The Fourth Global Environment Outlook: Chemicals and Waste. United Nations Environment Programme. Estados Unidos de America

Pichtel, J. 2005. Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial. Taylor & Francis Group. Estados Unidos de América

Política Ambiental UNA. 2003. UNA Gaceta N° 07-2003. Política ambiental de la Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 1992. Convenio de Basilea Sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Suiza (en línea). Consultado 30 de marzo. 2015. Disponible en: <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-s.pdf>

Programa de Mejoramiento Institucional (PMI) de la Universidad Nacional. 2012. Proyecto de Mejoramiento de la Educación Superior: Contexto de la Universidad. Heredia, Costa Rica

Programa UNA Campus Sostenible. 2014. Protocolo para la disposición final de los desechos peligrosos en la UNA (en línea). Costa Rica. Consultado 30 de marzo. 2015. Disponible en: <http://www.documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3693/protocolo%20del%20manejo%20de%20desechos%20version1.pdf?sequence=1>

Romero, J. 2010. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. 3 ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia

Runfola, J y Gallardo, A. 2009. Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas. Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental. España

Téllez, J et al. sf. Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtidumbres (en línea). Consultado 3 de abril. 2015. Disponible en: <file:///C:/Users/Adriana/Downloads/43297-201075-1-PB.pdf>

Universidad Nacional de Colombia (UNAL). 2007. Plan de gestión integral de residuos peligrosos (en línea). Consultado 4 de abril. 2015. Medellín. Disponible en: http://www.unalmed.edu.co/dir_laboratorios/Plan_manejo_integral_residuos_peligrosos_Unal.pdf

Vullo, D. 2003. Microorganismo y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente (en línea). Revista QuímicaViva. 3. Consultado 3 de abril. 2015. Disponible en: <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v2n3/vullo.pdf>

Zabala, M. 2000. Manual para el manejo de desechos en establecimientos de salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria

Apéndices

Apéndice 1: Cuestionario no estructurado para la etapa de diagnóstico

Manejo actual de los residuos peligrosos

Laboratorio de Docencia, EDECA, UNA

Como parte de la elaboración de un Modelo de gestión para los residuos peligrosos que se generan en el laboratorio de docencia, se realiza un diagnóstico sobre el manejo actual de los mismos. Dicha elaboración corresponde al proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Gestión Ambiental con énfasis en Ingeniería Sanitaria en la UNA, realizado por

Adriana Vega Botto.

Profesor(a)

Fecha

Cursos

Estimado docente, el presente cuestionario está diseñado para identificar las opciones de mejora en el tema de manejo de residuos en el Laboratorio de Docencia. Por favor responda de manera clara y concreta, considerando que las respuestas serán utilizadas para diseñar un plan que responda a sus necesidades como docente. Recuerde responder con respecto a los cursos que usted imparte en el Laboratorio de Docencia de la EDECA, UNA. Responder este instrumento le tomará aproximadamente 40 minutos.

Preguntas

1. ¿Cuáles residuos peligrosos se generan en los cursos que imparte?

2. ¿Cómo manejo el laboratorio esos residuos?

3. ¿Cómo puede mejorar el manejo de esos residuos el laboratorio?

4. ¿Cuántas horas a la semana puede disponer para el manejo de los residuos peligrosos?

5. Comentarios

Apéndice 2: Lista de chequeo para evaluar el cumplimiento del Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional

Artículo	Requerimiento	Resultado				Comentarios
		C	CP	NC	NA	
7.1 Procedimiento para la gestión de desechos generados	No se acumulan desechos peligrosos diferentes en forma conjunta. (Criterio de compatibilidad química, física, biológica o microbiológica)					
	El sitio de acumulación minimiza las posibilidades de incendio, explosión o liberación de los desechos.					
	Los recipientes son cerrados herméticamente pero con la posibilidad de abrirlos y cerrarlos					
	No se acumulan los desechos por periodos mayores a dos años calendario.					
	Se utiliza el 50% del área física designada para acumular los desechos.					
	Se utilizan recipientes hasta de una capacidad máxima de 10L.					

Artículo	Requerimiento	Resultado				Comentarios
		C	CP	NC	NA	
7.2 Material y capacidad del recipiente	Si no se tiene conocimiento sobre el material y capacidad del tipo de recipiente para almacenar los residuos se consulta al regente químico.					
7.3 Segregación	Los desechos se segregan según el grupo, determinado por el código IMDG o por criterios del generador en conjunto con el regente.					
7.4 Uso de recipientes	Se utiliza máximo el 80% de la capacidad de los recipientes.					
7.5 Bitácora	Se utiliza una bitácora exclusiva para desechos cada vez que se deposita un desecho en un determinado recipiente.					
7.6 Etiquetado	Los recipientes están identificados según la etiqueta del protocolo (figura 1 del protocolo).					
7.7 Información a la regencia química	Se informa al regente químico al llenar un recipiente al 80% de su capacidad.					

Apéndice 3. Puntaje según el resultado de la evaluación con lista de chequeo

Puntaje	Resultado	Criterio
2	Cumple	Actividades que se estén realizando como lo especifica el artículo.
1	Cumple parcialmente	Si la actividad que se está realizando infringe algún señalamiento del artículo
0	No cumple	No se realiza lo descrito en el artículo.
NA	No aplica	El artículo no es aplicable al residuo o a la actividad evaluada

Apéndice 4. Criterios de costo según el rango de costo de las opciones administrativas y de tratamiento

Rango de costo (colones/semestre)	Valor criterio
Más de 1 000 000	0
Entre 800 000 y 1 000 000	1
Entre 600 000 y 800 000	2
Entre 100 000 y 600 000	3
Entre 10 000 y 100 000	4
Menos de 10 000	5

Apéndice 5. Valores de criterio de beneficio según las características benéficas de las opciones de tratamiento

Característica	Condiciones	Valor criterio
1. Ahorro económico	Más de 800 000 colones	5
	Entre 600 000 colones y 800 000 colones	4
	Entre 300 000 colones y 600 000 colones	3
	Entre 100 000 colones y 300 000 colones	2
	Menor a 100 000 colones	1
2. Condiciones de realización	Pueden realizarlo estudiantes	5
	Requiere supervisión de un docente	4
	Debe realizarlo un docente	3
	Debe realizarlo un profesional especializado	0
3. Tiempo que requiere su aplicación	Menos de 1h/semana	5
	Entre 1h/semana y 2h/semana	4
	Entre 2h/semana y 3h/semana	3
	Más de 4h/semana	1
4. Generación de subproductos peligrosos	Sí	0
	No	5
5. Respeta la legislación contenido en el cuadro 1	No	0
	Sí	5
6. Opinión coordinación del laboratorio	Bueno	5
	Regular	2
	Malo	0

Apéndice 6. Matriz costo-beneficio para las opciones de tratamiento

Opción	Valor criterio costo	Criterios beneficio						Total
		1. Ahorro	2. Condiciones	3. Tiempo	4. Subproductos	5. Legislación	6. Coordinación	
1								
2								
3								

Apéndice 7. Valores criterio de beneficio según las condiciones de las características de las opciones administrativas.

Característica	Condiciones	Valor criterio
Respetar la legislación contenido en el cuadro 1	Sí	5
	No	0
Involucra criterios de seguridad ocupacional	Sí	5
	No	0
Propicia la participación estudiantil	Sí	5
	No	1

Apéndice 8. Matriz costo-beneficio para las opciones administrativas

Opción	Valor criterio costo	Criterios beneficio			Total
		1. Legislación	2. Seguridad	3. Participación	
1					
2					
3					

Apéndice 9. Registro de procesos para el tratamiento de residuos y desechos

Proceso	Código	Residuos en los que se puede utilizar	Responsabilidades	Recursos necesarios

Apéndice 10. Matriz para el diseño de los procesos del componente “implementación”

Título:		Código	
		Versión	
Diagrama de flujo	Descripción de la actividad	Responsables	Documento o registro

Apéndice 11. Resultados de la lista de chequeo para evaluar el cumplimiento del Protocolo para la disposición final de desechos peligrosos en la Universidad Nacional

Artículo	Requerimiento	Resultado				Comentarios
		C	CP	NC	NA	
7.1 Procedimiento para la gestión de desechos generados	No se acumulan desechos peligrosos diferentes en forma conjunta. (Criterio de compatibilidad química, física, biológica o microbiológica)	X				
	El sitio de acumulación minimiza las posibilidades de incendio, explosión o liberación de los desechos.		X			Están lejos de fuentes de calor pero están en un sitio de alto riesgo a quebrarse.
	Los recipientes son cerrados herméticamente pero con la posibilidad de abrirlos y cerrarlos	x				
	No se acumulan los desechos por periodos mayores a dos años calendario.			X		
	Se utiliza el 50% del área física designada para acumular los desechos.			x		El área designada no está confinada; sin embargo, se puede decir que está al 90%.
	Se utilizan recipientes hasta de una capacidad máxima de 10L.	X				Hay recipientes de 2,5 L y de 4 L
7.2 Material y capacidad del recipiente	Si no se tiene conocimiento sobre el material y capacidad del tipo de recipiente para almacenar los residuos se consulta al regente químico.				X	
7.3 Segregación	Los desechos se segregan según el grupo, determinado por el código IMDG o por criterios del generador en conjunto con el regente.	X				
7.4 Uso de recipientes	Se utiliza máximo el 80% de la capacidad de los recipientes.			X		Algunas están al 100%

7.5 Bitácora	Se utiliza una bitácora exclusiva para desechos cada vez que se deposita un desecho en un determinado recipiente.	X				
7.6 Etiquetado	Los recipientes están identificados según la etiqueta del protocolo (figura 1 del protocolo).	X			No todos los envases cuentan con la etiqueta.	
7.7 Información a la regencia química	Se informa al regente químico al llenar un recipiente al 80% de su capacidad.	x				
	Total puntaje obtenido	8	2	-	-	Total puntos: 22
	Porcentaje cumplimiento	54,54				
	Porcentaje incumplimiento	45,45				

Apéndice 12. Caracterización de los residuos generados en el laboratorio de docencia de la EDECA en el año 2015

Curso	Practica	Insumos peligroso	Clase de reactivo*	Indicaciones de peligro	Residuo peligroso	Tasa teórica	Grupo de desecho**	Estado	
Inocuidad y Bioseguridad de Alimentos	Pigmentos vegetales	Metabisulfito de sodio	8	Corrosivo	Metabisulfito de sodio	2 punta espátula/practica realizada	5	Sólido	
		Hipoclorito de calcio	5.1	Oxidante, Corrosivo y Tóxico	Hipoclorito de calcio	3 punta espátula/practica realizada	3	Sólido	
		Acetona	3.1	Inflamable	Acetona	5 ml/practica realizada	1	Líquido	
		Hexano	3	Inflamable, Nocivo y Peligroso para el ambiente	Hexano	5 punta espátula/practica realizada	1	Sólido	
	Factores que afectan el crecimiento microbiano	No hay	NA	NA	NA	No hay	NA	NA	NA
	Análisis Microbiológico de Bacterias (Coliformes totales, Coliforme fecales Escherichia coli y Recuento Total) en Alimentos, agua y superficies	Placas con agar y microorganismos vivos	NA	NA	NA	Placas con agar y microorganismos vivos	12 placas/practica realizada	Microbiológico	Sólido
Medición de	Técnicas básicas	No hay	NA	NA	No hay	NA	NA	NA	

agentes contaminantes								
Incertidumbre	HCl	8	Corrosivo	HCl	Cantidad despreciable	3	Líquido	
	NaOH	8	Corrosivo	NaOH	Cantidad despreciable	5	Líquido	
Calibración de equipo volumétrico	KOH en etanol	8	Corrosivo	KOH en etanol	100 ml/ practica realizada	5	Líquido	
Preparación de disoluciones	HCl	8	Corrosivo	HCl	Cantidad despreciable	3	Líquido	
	NaOH	8	Corrosivo	NaOH	Cantidad despreciable	5	Líquido	
Indicadores y valoración	HCl	8	Corrosivo	HCl	Cantidad despreciable	3	Líquido	
	NaOH	8	Corrosivo	NaOH	Cantidad despreciable	5	Líquido	
Valoración potenciométrica	HCl	8	Corrosivo	HCl	Cantidad despreciable	3	Líquido	
Volumetría de formación de complejos	NaOH	8	Corrosivo	NaOH	Cantidad despreciable	5	Líquido	
Volumetría REDOX	H ₂ SO ₄	8	Corrosivo	K ₂ SO ₄	Cantidad despreciable	10	Líquido	
				H ₂ SO ₄	Cantidad despreciable	3	Líquido	
				H ₃ PO ₄	Cantidad despreciable	3	Líquido	
Volumetría REDOX	K ₂ Cr ₂ O ₇	6.1	Tóxico, oxidante y peligroso para el ambiente	Cr ₂ (SO ₄) ₃	40 ml/practica realizada	10	Líquido	
				K ₂ Cr ₂ O ₇	Cantidad despreciable	10	Líquido	

Gravimetría de pérdida de masa	HCl	8	Corrosivo	HCl	Cantidad despreciable	3	Líquido
	NaOH	8	Corrosivo	NaOH	Cantidad despreciable	5	Líquido
	C6H14	3.1	Inflamable, Nocivo y Peligroso para el ambiente	C6H14	Cantidad despreciable	1	Líquido
Gravimetría de precipitación	HCl	8	Corrosivo	NH4Cl	13 ml/practica realizada	3	Líquido
				HCl	Cantidad despreciable	3	Líquido
	NH4OH	3	Corrosivo	NH4OH	Cantidad despreciable	5	Líquido
	Dimetilglioxima	4.1	Inflamable	Dimetilglioximato de níquel	35 ml/practica realizada	13	Líquido
Determinación del espectro UV visible y el máximo de absorción	Diso.l patrón hierro	4.1	Inflamable	Complejo ortofenantrolina	Cantidad despreciable	7	Líquido
	Orto-fenantrolina	9	Tóxico	Orto-fenantrolina	Cantidad despreciable	13	Líquido
	Clorhidrato de hidroxilamina	8	Peligroso, cancerígeno, Corrosivo y Peligroso para el ambiente	Clorhidrato de hidroxilamina	Cantidad despreciable	13	Líquido
	Buffer acetato-acético	3	Irritante y Extremadamente inflamable	Acetato-acético	Cantidad despreciable	5	Líquido
Determinación	Diso.l patrón hierro	4.1	Inflamable	Complejo	Cantidad	7	Líquido

	de hierro en aguas				ortofenantrolina	despreciable		
		Orto-fenantrolina	9	Tóxico	Orto-fenantrolina	Cantidad despreciable	13	Líquido
		Clorhidrato de hidroxilamina	8	Peligroso, cancerígeno, Corrosivo y Peligroso para el ambiente	Clorhidrato de hidroxilamina	Cantidad despreciable	13	Líquido
		Buffer acetato-acético	3	Irritante y Extremadamente inflamable	Acetato-acético	Cantidad despreciable	5	Líquido
	Determinación de nitritos en aire	H3PO4	8	Corrosivo	H3PO4	Cantidad despreciable	3	Líquido
		Solución de nitritos	5.1	Tóxico para el ambiente e Inflamable	Azo-grupo*	1 ml/practica realizada	1	Líquido
		NaNO2	5.1 y 6.1	Oxidante, Peligroso y Peligroso para el ambiente	NaNO2	Cantidad despreciable	5	Líquido
	Muestro de suelo, pH y acidez	NaOH	8	Corrosivo	NaOH	Cantidad despreciable	5	Líquido
		Fenofaleína	9	Cancerígeno	Fenofaleína	Cantidad despreciable	7	Líquido
Técnicas ambientales:	Propiedades físicas	No hay	NA	NA	No hay	NA	NA	NA
Residuos	Propiedades químicas	K2Cr2O7	6.1	Tóxico, oxidante y peligroso para el ambiente	K2Cr2O7	Cantidad despreciable	10	Líquido
		H3PO4	8	Corrosivo	H3PO4	Cantidad	3	Líquido

					despreciable		
	K2SO4	8	Corrosivo	K2SO4	Cantidad despreciable	10	Líquido
	H2SO4	8	Corrosivo	H2SO4	Cantidad despreciable	3	Líquido
	Selenito de sodio	6.1	Peligroso y peligroso para el ambiente	Selenito de sodio	Cantidad despreciable	8	Líquido
	Sulfato de cobre	9	Nocivo y peligroso para el ambiente	Sulfato de cobre	Cantidad despreciable	3	Líquido
	NaOH	8	Corrosivo	NaOH	Cantidad despreciable	5	Líquido
Tasa de generación estadística	No hay	NA	NA	No hay	NA	NA	NA
Tasa de generación balance de masa	No hay	NA	NA	No hay	NA	NA	NA
Biodiesel	NaOH	8	Corrosivo	NaOH	Cantidad despreciable	5	Líquido
	Aceite			Aceite sin reaccionar	Cantidad despreciable		Líquido
Propiedades del papel	K2Cr2O7	6.1	Tóxico, oxidante y peligroso para el ambiente	K2Cr2O7	Cantidad despreciable	10	Líquido
	H2SO4	8	Corrosivo	H2SO4	Cantidad despreciable	3	Líquido
	H3PO4	8	Corrosivo	H3PO4	Cantidad despreciable	3	Líquido
Propiedades del plástico	K2Cr2O7	6.1	Tóxico, oxidante y peligroso para el ambiente	K2Cr2O7	Cantidad despreciable	10	Líquido

		H2SO4	8	Corrosivo	H2SO4	Cantidad despreciable	3	Líquido
		H3PO4	8	Corrosivo	H3PO4	Cantidad despreciable	3	Líquido
Toxicología ambiental	Bioensayo de toxicidad aguda con Daphnia magna 2015	Cr +6	5.1, 6.1 y 8	Cancerígeno, Oxidante, Peligroso, Corrosivo y Peligroso para el ambiente	Cr +6 diluido en agua (0,1 ug/ml)	30 ug/practica realizada	10	Líquido
	Colinesterasa parte I	No hay	NA	NA	No hay	NA	NA	NA
	Colinesterasa parte II	No hay	NA	NA	No hay	NA	NA	NA
	Ensayo con semillas de lechuga	Zn +2	NA	Peligroso para el ambiente	Zn +2 diluido en agua	1,5 mg/practica realizada	13	Líquido
Técnicas ambientales: Aire	Determinación de la concentración de PM10 en aire ambiente	No hay	NA	NA	No hay	NA**	NA	NA
	Determinación de la concentración de NO2 en aire ambiente por difusión pasiva	Acetona	3.1	Inflamable	Filtro contaminado con: Acetona	NA**	NA	Líquido
		N-naftiletildiamina	NA	Atención	N-naftiletildiamina	NA**	NA	Líquido
		NaNO2	5.1 y 6.1	Oxidante, Peligroso y Peligroso para el	NaNO2	NA**	NA	Líquido

				ambiente			
	Ácido fosforico	8	Corrosivo	Ácido fosforico	NA**	NA	Líquido
Determinación de la concentración de dióxido de azufre en aire ambiente por método activo	Na2SO4 (Sulfato de sodio)	NA	Irritante	Filtro con: Na2SO4 (Sulfato de sodio)	NA**	NA	Líquido
Determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno en aire ambiente por método activo	Nitrito de sodio	5.1 y 6.1	Oxidante, Peligroso y Peligroso para el ambiente	Filtro con: NaNO2	NA**	NA	Líquido
	Clorhidrato de N-1-naftiletildiamina	NA	Atención	N-naftiletildiamina	NA**	NA	Líquido
Determinación de material particulado (polvo total y fracción respirable) en higiene laboral	No hay	NA	NA	No hay	NA**	NA	NA
Determinación de hidrocarburos aromáticos en exposición laboral y calidad de aire interno	Disulfuro de carbono	3	Inflamable y tóxico	Filtro con: Disulfuro de carbono	NA**	NA	Líquido
Determinación de la	H2SO4	8	Corrosivo	Filtro con: NaOH	NA**	NA	Líquido

concentración de amoníaco en aire ambiente y calidad de aire interno							
	Hipoclorito de sodio	8	Corrosivo	Hipoclorito de sodio	NA**	NA	Líquido
	Nitroprusiato de sodio	6.1	Tóxico	Nitroprusiato de sodio	NA**	NA	Líquido
	Metanol	3	Inflamable	Metanol	NA**	NA	Líquido
	NaOH	8	Corrosivo	NaOH	NA**	NA	Líquido
	NH4Cl	9	Nocivo	NH4Cl	NA**	NA	Líquido
	Fenol	6.1	Tóxico, Corrosivo y cancerígeno	Fenol	NA**	NA	Líquido
Determinación de la concentración de partículas PM-2.5 en aire ambiente	No hay	NA	NA	No hay	NA**	NA	NA