

# Manejo de desechos peligrosos (II fase)

*Primera fase publicado en la Revista  
Tecnología en Marcha 17-4-2004*

*Juan Carlos Salas Jiménez <sup>1</sup>  
Hilda Quesada Carvajal <sup>2</sup>*

*Este trabajo  
corresponde a  
la segunda fase  
del proyecto de  
Manejo de Desechos  
Peligrosos que  
se generan en los  
laboratorios del  
Instituto Tecnológico  
de Costa Rica,  
el cual continuó  
con las etapas de  
implementación de un  
sistema de gestión de  
manejo de desechos  
en los laboratorios  
de docencia e  
investigación del  
ITCR.*

## Palabras clave

- Desechos peligrosos.
- Desechos químicos de laboratorios
- Tratamiento químico de desechos peligrosos.
- Capacitación en manejo de desechos peligrosos.
- Implementación de un sistema de gestión de desechos peligrosos.

## Resumen

Este trabajo corresponde a la segunda fase del proyecto de Manejo de Desechos Peligrosos que se generan en los laboratorios del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), el cual continuó con las etapas de implementación de un sistema de gestión de manejo de desechos en los laboratorios de docencia e investigación del ITCR. Las actividades que se desarrollaron fueron: capacitación e implementación de algunas etapas del sistema de gestión, cuantificación y caracterización de los desechos, desarrollo de un programa para el control de inventarios y pruebas

de laboratorio para el tratamiento de los desechos peligrosos de mayor volumen.

De esta investigación, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se cuenta con un grupo de funcionarios comprometidos y capacitados para implementar el sistema de gestión.
- Tres métodos efectivos para los tres desechos que se generan en gran cantidad de masa o volumen.
- Un sistema de inventarios estandarizados que ha sido instalado en nueve laboratorios de la Sede de Cartago.
- Una "Guía de manejo de los desechos peligrosos de los laboratorios del ITCR", que sirva de documento base para los funcionarios de los laboratorios.
- Una normativa en trámite de aprobación para institucionalizar el Programa de Manejo de desechos peligrosos.

## Introducción

El Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) cuenta con el Centro de Investigación

1. Juan Carlos Salas Jiménez. Investigador, Centro Investigación Protección Ambiental. Correo electrónico: [jcsalas@itcr.ac.cr](mailto:jcsalas@itcr.ac.cr). Teléfono 550 2040.
2. Hilda Quesada Carvajal. Investigadora, Centro Investigación Protección Ambiental. Correo electrónico: [hquesada@itcr.ac.cr](mailto:hquesada@itcr.ac.cr). Teléfono 550 2745.

en Protección Ambiental, dentro del cual se ejecuta el proyecto de Manejo de Desechos Ordinarios Institucional, que ha creado conciencia sobre el manejo adecuado de estos y ha realizado algunas actividades puntuales en el campo de los desechos peligrosos como, por ejemplo:

- En los laboratorios de Docencia de la Escuela de Química: la utilización de reactivos en mínimas cantidades, la separación de los desechos en orgánicos, acuosos y sólidos, pero no se da tratamiento para la disposición final.
- En la Unidad de Salud se rotulan los desechos hospitalarios y se cuenta con una máquina para fundir las agujas.

Las anteriores son acciones aisladas que no responden a un sistema de gestión integral de manejo de los desechos peligrosos y no cubre a todas las unidades del ITCR; de ahí la necesidad de investigar, diseñar e implementar un sistema de gestión integral de los desechos peligrosos adecuado a las necesidades del ITCR, con el fin de ir dando solución a esta problemática en la Sede Central del Instituto y que sirva de modelo a otras instituciones e industrias.

Según los resultados obtenidos en la primera fase del proyecto de “Manejo de los Desechos Peligrosos en los Laboratorios del ITCR”<sup>1</sup>, en la Sede Central del ITCR, hay aproximadamente 20 fuentes de generación de desechos peligrosos, de los cuales:

- la gran mayoría no recibe tratamiento y es almacenada.
- no tienen condiciones apropiadas de almacenamiento.
- en algunos casos, son desechados por el drenaje de la pila hacia la planta de tratamiento del ITCR.
- no se cuantifican ya que no se cuenta con un sistema de inventario formal.
- solo se conocen los que más se producen.

- no son controlados ni se llevan registros de las cantidades que se tienen acumulados.
- algunos son quemados, como, por ejemplo, los envases plásticos de plaguicidas.
- algunos son mezclas de sustancias, escorias de algunos procesos y reactivos en mal estado, que llevan mucho tiempo acumulándose.

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), un desecho peligroso se define como:

“Un residuo sólido o combinación de residuos, los cuales, debido a su cantidad, concentración, características físicas, químicas, o infecciosas, son capaces de causar o contribuir significativamente a incrementar la mortalidad o las enfermedades graves, irreversibles e incapacitantes al ser humano y representar un peligro significativo o potencial para la salud o el ambiente cuando se tratan, almacenan, transportan o eliminan inadecuadamente”.<sup>3</sup>

La exposición a estas sustancias peligrosas ha sido asociada con un aumento del riesgo de contraer muchas enfermedades y efectos nocivos a la salud de la población, como<sup>4</sup>: muerte prematura, daño al riñón, hiperactividad en los niños, varios tipos de cáncer, anemias y daños al hígado.

Los desechos peligrosos, que son dispuestos en forma inadecuada sin tratamiento previo, pueden transportarse a través del agua, suelo y aire y llegar desde su fuente al ambiente, desde unos pocos hasta cientos de kilómetros del lugar donde fueron descargados. El daño que ellos causan no solo se debe a la toxicidad directa en los seres vivos en muchos de los casos, sino, también, a su capacidad de alterar la química del agua, la atmósfera, el suelo, clima y los ecosistemas o que

*La exposición a estas sustancias peligrosas ha sido asociada con un aumento del riesgo de contraer muchas enfermedades y efectos nocivos a la salud de la población, como<sup>4</sup>: muerte prematura, daño al riñón, hiperactividad en los niños, varios tipos de cáncer, anemias y daños al hígado.*

al descomponerse pueden producir otras sustancias altamente nocivas.

En la primera fase se desarrolló una guía para el manejo de los desechos peligrosos en el ITCR. Esta pretende orientar a los usuarios de los laboratorios de nuestra Institución para la minimización y el manejo seguro y apropiado de los desechos peligrosos que se generan, con el fin de promover un uso racional de las sustancias peligrosas, reducir el impacto negativo en el ambiente y la salud de las personas.<sup>2</sup>

Se entrevistó al personal que labora en los laboratorios. Este se mostró interesado y preocupado por buscar tratamientos a los desechos que generan; sabe que no se pueden disponer directamente en el ambiente sin ningún tratamiento previo ya que estos producen un impacto negativo al ambiente y salud de las personas. Manifiestan, también, que no saben cómo tratar los desechos peligrosos y requieren capacitación.

Los objetivos generales del proyecto fueron:

1. Que el ITCR realice una gestión adecuada de sus desechos peligrosos, mediante la minimización en la fuente y el manejo integral de estos, con el fin de reducir el impacto negativo en la salud de funcionarios, estudiantes, comunidad vecina y el ambiente.
2. Ser ejemplo en la comunidad nacional, con el fin de que otras instituciones y empresas privadas puedan poner en práctica la experiencia desarrollada en el ITCR.

Para alcanzar los objetivos generales, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Capacitar sobre el manejo adecuado de los desechos peligrosos a las personas que los generan en los laboratorios y centros de investigación del ITCR.
2. Cuantificar con más certeza los desechos peligrosos más importantes que se

generan en los laboratorios y Centros de Investigación del ITCR e identificarlos desde el punto de vista químico.

3. Identificar diferentes métodos químicos de tratamiento para los desechos peligrosos que se generan en los laboratorios y centros de investigación del ITCR.
4. Realizar ensayos químicos con los desechos peligrosos más importantes escogidos por los participantes, con el fin de escoger, adecuar y obtener el método más apropiado para el tratamiento de cada uno de ellos.
5. Contar con los procedimientos por escrito del tratamiento y manejo de los desechos peligrosos propios de los laboratorios y centros de investigación participantes.
6. Someter a revisión por la Oficina de Asesoría Legal el “Reglamento de manejo de los desechos peligrosos del ITCR”, propuesto en la primera fase de este proyecto.
7. Someter a aprobación por parte del Consejo Institucional el “Reglamento de manejo de los desechos peligrosos del ITCR”.
8. Gestionar que el Consejo Institucional declare este proyecto de interés institucional
9. Reeditar la “Guía de Manejo de Desechos Peligrosos de los Laboratorios del ITCR”<sup>6</sup>, incluyendo la información obtenida de esta investigación.

## Materiales y métodos

Los participantes del proyecto tuvieron un papel protagónico en el desarrollo del sistema de manejo de los desechos peligrosos que ellos mismos generan, una participación activa en la identificación, clasificación y cuantificación de sus desechos, en la implementación del

procedimiento general de manejo, basados en la guía que se generó en la primera fase de este proyecto, las pruebas preliminares de laboratorio de los métodos químicos de tratamiento y los procedimientos por escrito. Los investigadores actuaron como facilitadores del proceso, asesores e investigadores.

Para el desarrollo del proyecto, se requirieron los siguientes recursos.

#### Capacitación:

- aula para realizar los procesos de información y educativos.
- equipo audio visual, computadora y proyector.
- material didáctico.

#### Cuantificación e identificación de los desechos:

- trabajo de levantamiento por parte de los participantes en los laboratorios.
- realización de un informe.

#### Sistema de inventarios:

- se desarrolló un sistema de inventarios.
- se requirió una computadora en los laboratorios para instalar el programa.

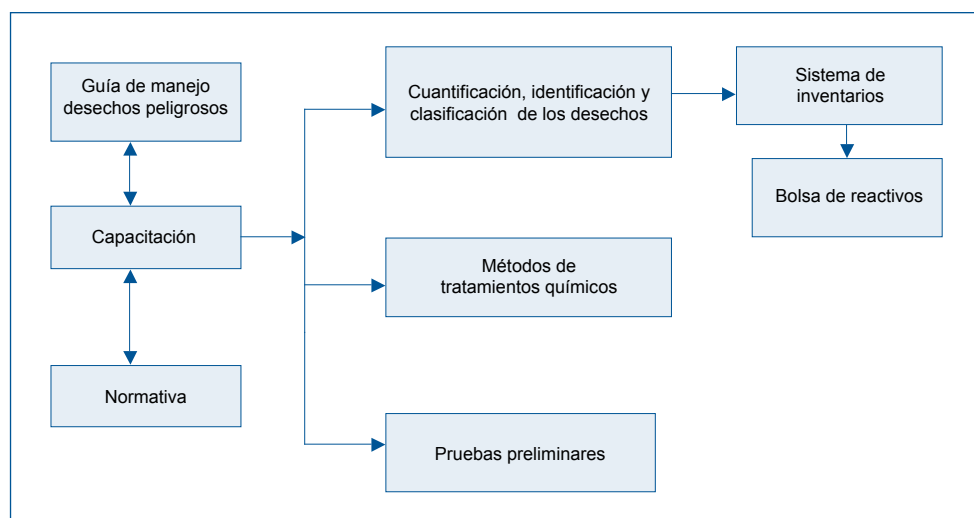
- se visitó a cada laboratorio para instalar el programa.
- se capacitó a los participantes del curso en el uso del programa.

#### Métodos de tratamiento:

- se requirió la búsqueda por Internet y la revisión bibliográfica.
- levantamiento de la información.
- para realizar las pruebas se requiere un laboratorio que tenga la cristalería y reactivos.
- los participantes montaron una práctica demostrativa de algún desecho y se la explicaban a los demás.
- se escribió un procedimiento del tratamiento probado.

#### Normativa:

- se revisó la legislación nacional y se realizaron reuniones con personeros del ITCR.
- se desarrolló una normativa, que se entregó a los participantes de la capacitación para que le hicieran las observaciones. Esta se trasladó a la Oficina de Planificación, para



**Figura 1.** Etapas desarrolladas durante la ejecución del proyecto. II fase de manejo de los desechos peligrosos de los laboratorios del ITCR.

su revisión, y posterior envío a la Asesoría legal y Auditoría interna, con el propósito de que finalmente sea conocida por el Consejo Institucional para su aprobación.

El esquema de la página anterior muestra las etapas que se llevaron a cabo en el desarrollo del proyecto.

## Resultados y discusión

### Capacitación

La capacitación fue teórico-práctica y sirvió de eje central en el proyecto para lograr que los participantes no solo obtuvieran

información, conocimiento y motivación, sino, también, aplicaran lo aprendido. Se logró una participación activa en el desarrollo de las etapas del sistema integral de manejo de los desechos peligrosos: identificación, clasificación y cuantificación de los desechos. Se implementó el procedimiento general de manejo basado en la “Guía de manejo de los desechos peligrosos en los laboratorios del ITCR”, y se realizaron las pruebas preliminares de laboratorio de los métodos químicos de tratamiento.

En el cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos en cada módulo de capacitación.

*Cuadro 1.* Productos obtenidos en la capacitación en manejo de desechos peligrosos en el ITCR.

Módulo	Nombre	Productos
I	Introducción a los desechos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 17 participantes y 11 laboratorios</li> <li>• contar con MSDS o hoja de seguridad de las sustancias peligrosas</li> <li>• levantamiento y actualización de inventarios.</li> <li>• caracterización de los desechos como peligrosos o no</li> </ul>
II	Manejo de desechos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 14 participantes y 9 laboratorios</li> <li>• retroalimentación “Guía de Manejo Desechos Peligrosos del ITCR” y de la normativa propuesta</li> <li>• adaptación de la “Guía de Manejo Desechos Peligrosos del ITCR”, a las condiciones de cada laboratorio</li> <li>• implementación de las etapas del Sistema Integral de Gestión Ambiental (SIGA).</li> <li>• limpieza y ordenamiento de algunas bodegas de reactivos</li> </ul>
III	Tratamiento y disposición de desechos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 14 participantes y 9 laboratorios</li> <li>• cuantificación de los desechos peligrosos</li> <li>• métodos químicos de tratamiento para los desechos</li> <li>• desarrollo de un sistema de inventarios</li> </ul>
IV	Adaptación y evaluación práctica de los métodos de tratamiento desechos peligrosos en los laboratorios del ITCR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 11 participantes y 9 laboratorios</li> <li>• implementación del sistema de inventarios en los laboratorios</li> <li>• 3 métodos de tratamientos probados a nivel de laboratorio</li> <li>• procedimientos por escrito de los métodos de tratamiento</li> </ul>

Como producto de esta actividad, al menos una persona que labora en cada uno de los laboratorios de la Sede de Cartago está capacitada en el manejo adecuado de los desechos peligrosos. Además los participantes realizaron algunas acciones para gestionar en forma más eficiente y segura las sustancias y desechos peligrosos desde el primer módulo de capacitación como producto de la concienciación adquirida.

## Cuantificación, identificación y clasificación de los desechos

En el cuadro 2 se muestran los desechos peligrosos que se especificaron como prioritarios para definir y evaluar un tratamiento físico químico.

Sin embargo, a pesar de solo haber trabajado con los desechos señalados en el cuadro 2, también se identificaron otros

**Cuadro 2.** Desechos peligrosos en los laboratorios del ITCR prioritarios de ser tratados

Unidad académica	Cantidad (L)	Composición	Concentración
Docencia Química	1,0	Hg <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , Sn <sup>2+</sup>	No definido
Docencia Química	1,5	Cr <sup>6+</sup>	No definido
Docencia Química	1,0	Ba <sup>2+</sup> , Cr <sup>6+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup> .	No definido
CEQIATEC /ABS	2,5	Fe <sup>3+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , Ni <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , Cr <sup>6+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Al <sup>3+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup> ,	No definido
CEQIATEC/DQO	12	Cr <sup>6+</sup> , Hg <sup>2+</sup> , Ag <sup>1+</sup> .	9,51 g/1000 ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> conc. De K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 0,5% m/m de AgSO <sub>4</sub> y 0,2g/100ml de HgSO <sub>4</sub> (OJO las concentraciones anteriores son iniciales)
Forestal/Maderas	9	CuSO <sub>4</sub>	10%
Forestal/Maderas	7,5	CCA (cobre, cromo y arsénico)	1,8%
Forestal/Maderas	2,5	Cu <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , As <sup>2+</sup>	0,7%
Forestal/Maderas	10	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7(ac)</sub>	5%
Biotecnología/CIB		Bromuro de Etidio	
Ingeniería de los Materiales	50	Escorias o barros que contienen cianuro, cianatos y residuos de metales ferrosos	Inicialmente, el baño contiene entre 50-60% de NaCN, 32-38% de CNO <sup>1-</sup> , 10-30% de K <sup>1+</sup> y el resto es Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Ingeniería Agrícola	0,5	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7(ac)</sub>	No definido
Ingeniería Agrícola	0,3	Suelo + K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7(ac)</sub> + Acido sulfúrico	No definido

desechos peligrosos con los cuales no se trabajó en este proyecto; pero a los que se les debe posteriormente, también buscar una solución de tratamiento físico-químico. Entre ellos, se tienen mezclas de disolventes con plaguicidas, asfaltos con canfín y diclorometano, tolueno, benceno y reactivos vencidos.

Del cuadro anterior se puede deducir que existen desechos peligrosos que provienen de diferentes laboratorios, con características químicas similares, los cuales se pueden tratar en conjunto, con el mismo método físico-químico y de una forma centralizada. Esto disminuye los costos de tratamiento.

Los desechos peligrosos escogidos para probar y evaluar su tratamiento físico-químico en este trabajo, se clasificaron en los siguientes tres grupos:

1. metales pesados en medio acuoso
2. cianuros y cianatos
3. desechos de bromuro de etidio acuoso.

La identificación y cuantificación de los desechos peligrosos se dificultó dado que en los laboratorios no se contaba con un sistema de registro de los reactivos y desechos y en el mejor de los casos, estos se tenían en una hoja de Excel; en razón de ello, se desarrolló un sistema computarizado de inventarios estandarizado para todos los laboratorios, lo que permite tener: la información en forma más ágil, mayor ordenamiento de las bodegas de reactivos y desechos, rotación de reactivos y conocer cuáles sustancias están sin usar y que potencialmente se pueden intercambiar, a través de una bolsa de reactivos; con esto habría un mejor aprovechamiento de los recursos y menos generación de desechos peligrosos.

De los 11 laboratorios que participaron en el proyecto, solamente en tres no se pudo instalar el programa, debido a que no se cuenta con una computadora adecuada; pero se les dejó una copia digital del sistema de inventarios. En cuatro laboratorios, el

programa es utilizado con frecuencia, y en los restantes cuatro laboratorios está en proceso de digitación de datos o con un uso poco frecuente. Lo anterior demuestra la necesidad de darle seguimiento a esta actividad y de que exista una persona responsable de actualizar la base de datos en cada laboratorio.

## Métodos de tratamientos físico-químicos y pruebas preliminares de laboratorio

En el cuadro 3 se muestra el tipo de desecho tratado y el tratamiento físico-químico adaptado y probado.

Del cuadro 3, se deduce que los desechos generados en los laboratorios de docencia de Química Básica, CEQIATEC, Forestal e Ingeniería Agrícola, tienen características físico-químicas semejantes y pueden tratarse en conjunto porque se les puede realizar el mismo tratamiento; esto hace que el tratamiento para estos casos se pueda centralizar. En este caso, es necesario pasar a escala piloto, lo cual requiere disponer de un laboratorio que cuente con un reactor diseñado para tal fin. En el caso de los desechos producidos en el proceso de “nitruración” en la Escuela de Ingeniería de Materiales, es recomendable, dada la cantidad que se tiene almacenada actualmente (cerca de 50 g) la peligrosidad del desecho y del tratamiento por realizar, que se centralice su tratamiento, por lo menos hasta que se trate todo lo que está actualmente almacenado. El tratamiento se puede realizar en la fuente de generación si se realiza en pequeñas cantidades, conforme se produce el desecho; en este caso particular, cada dos meses se produce aproximadamente 200 g de escorias.

El tratamiento mencionado en el cuadro 4 para las mezclas acuosas de metales pesados, fue probado a nivel de laboratorio y resultó ser efectivo, pues las pruebas cualitativas realizadas para determinar la presencia de cada uno de los metales tratados indicaron que no había presencia

*De los 11 laboratorios que participaron en el proyecto, solamente en tres no se pudo instalar el programa, debido a que no se cuenta con una computadora adecuada; pero se les dejó una copia digital del sistema de inventarios.*

Cuadro 3. Tratamiento físico-químico de algunos desechos peligrosos de los laboratorios del ITCR.<sup>6-11</sup>

Desecho peligroso	Tratamiento físico-químico
Docencia Química Mezcla acuosa de $Hg^{2+}$ , $Fe^{3+}$ , $Sn^{2+}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acidificación con ácido sulfúrico hasta pH 2,5</li> <li>2. Reducción con disolución 1M de sulfato ferroso</li> <li>3. Precipitación con NaOH hasta pH mayor de 10</li> <li>4. Decantación</li> <li>5. Filtración</li> <li>6. Pruebas cualitativas del líquido supernatante*</li> <li>7. Regulación del pH entre 6-8 del líquido supernatante y disposición por el drenaje</li> </ol>
Docencia Química Mezcla acuosa de $Cr^{6+}$	
Docencia Química Mezcla acuosa de $Ba^{2+}$ , $Cr^{6+}$ , $Cu^{2+}$ , $Pb^{2+}$ .	
CEQIATEC /ABS Mezcla acuosa de $Fe^{3+}$ , $Mn^{2+}$ , $Ni^{2+}$ , $Cd^{2+}$ , $Cr^{6+}$ , $Cu^{2+}$ , $Ca^{2+}$ , $Zn^{2+}$ , $Al^{3+}$ , $Mg^{2+}$ , $Pb^{2+}$	
CEQIATEC/DQO Mezcla acuosa de $Cr^{6+}$ , $Hg^{2+}$ , $Ag^{1+}$	
Forestal/Maderas Mezcla acuosa de $CuSO_4$	
Forestal/Maderas Mezcla acuosa de CCA (cobre, cromo y arsénico)	
Forestal/Maderas Mezcla acuosa de $Cu^{2+}$ , $Zn^{2+}$ , $As^{2+}$	
Ingeniería Agrícola Residuos acuosos de $K_2Cr_2O_{7(ac)}$	
Ingeniería Agrícola Suelo + $K_2Cr_2O_{7(ac)}$ + Acido sulfúrico	
Biotecnología/CIB Residuos acuosos de Bromuro de etidio	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preparación mezcla acuosa de nitrito de sodio en ácido fósforico</li> <li>2. Mezclar y agitar durante una hora con los desechos de bromuro de etidio.</li> <li>3. Realizar prueba</li> <li>4. Desechar por drenaje</li> </ol>
Ingeniería de los Materiales Escorias o barros que contienen cianuro, cianatos y residuos de metales ferrosos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disolver las escorias en agua</li> <li>2. Añadir hidróxido de sodio hasta obtener un pH mayor a 10</li> <li>3. Agregar hipoclorito de sodio al 12%, manteniendo el pH mayor de 10</li> <li>4. Calentar por 10 minutos</li> <li>5. Realizar pruebas cualitativas*</li> <li>6. Desechar por drenaje.</li> </ol>

\* Las pruebas cualitativas se encuentran en el Cuadro 5 de la “Guía de manejo de desechos peligrosos de los laboratorios del ITCR”, 2006.



de estos. Sin embargo, es necesario en una tercera fase del proyecto hacer ensayos cuantitativos en laboratorio para determinar si la efectividad preliminar obtenida cumple con la norma establecida en el Reglamento de vertido de aguas residuales a cuerpos de agua o a alcantarillado sanitario. También es importante, para el caso del tratamiento centralizado de los desechos acuosos de metales pesados y escorias de cianuros y cianatos, realizar pruebas en laboratorio que simulen las condiciones en el reactor en donde se realizará el tratamiento, con el fin de controlar todas las variables (pH, temperatura, agitación, potencial de oxi-reducción) que puedan afectar la efectividad del tratamiento.

La figura 2 muestra un esquema del proceso de tratamiento que deben seguir los desechos acuosos de metales pesados provenientes de los laboratorios de docencia de Química Básica I de la Escuela de Química, CEQIATEC, Forestal e Ingeniería Agrícola.

El proceso consiste en la reducción del  $\text{Cr}^{6+}_{(ac)}$  a  $\text{Cr}^{3+}_{(ac)}$ , que es una especie menos tóxica. Esto se logra añadiendo

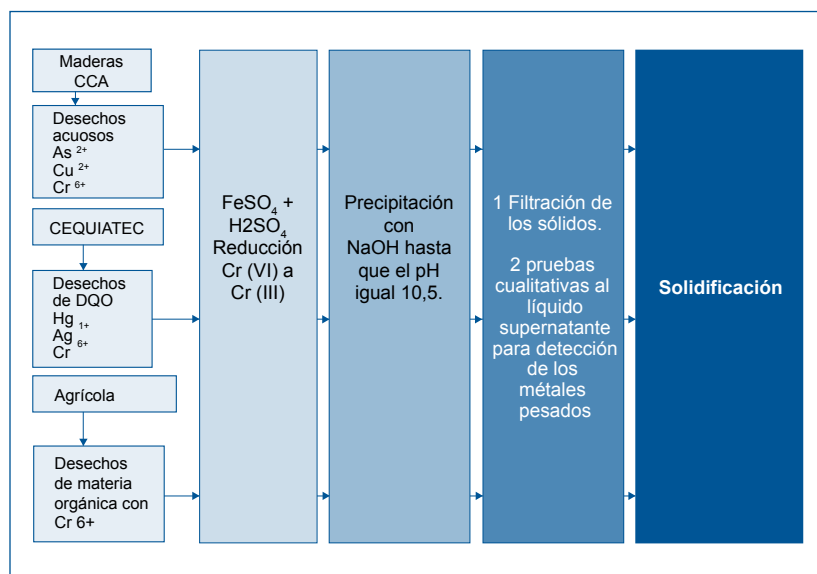


Figura 2. Esquema del proceso de tratamiento físico-químico de mezclas acuosas de metales pesados

una disolución 1M de sulfato de hierro (II) y controlando el pH entre 2 y 3. Posteriormente, se adiciona una disolución acuosa de NaOH al 25% m/m hasta un pH mayor de 10, con el fin de formar los hidróxidos respectivos insolubles y precipitarlos, se deja sedimentar y se filtra. Al filtrado se le realizan las pruebas para determinar si hay presencia o no de metales pesados. Si hay todavía presencia de metales pesados, se vuelve a tratar el líquido supernatante; si no hay presencia de metales pesados, se neutraliza a un pH entre 6 y 8 y se dispone por el drenaje de la pila. El sólido se pasa al proceso de encapsulamiento o solidificación, proceso que debe ser probado para esta matriz tanto en laboratorio como de planta piloto en la tercera fase de este proyecto.

El bromuro de etidio es utilizado en el Laboratorio de Biología Molecular del Centro de Biotecnología, es una sustancia que posee características mutagénicas y tóxicas, por lo cual se les adaptó un tratamiento a estos desechos. Se probaron dos tratamientos químicos diferentes para los desechos de bromuro de etidio. El primero consistió en mezclar los desechos de bromuro de etidio, los geles de electroforesis y guantes contaminados con una disolución de hipoclorito de sodio comercial, que se mantuvo en agitación por 2 horas; luego de este tiempo se comprueba la destrucción del bromuro de etidio con el transiluminador de luz ultravioleta, con esto se obtuvieron resultados no favorables, pues se observa que se destruye solo una parte del bromuro de etidio.

El segundo método consistió en tratar los desechos de bromuro de etidio, los geles de electroforesis y guantes contaminados con una mezcla de nitrito de sodio y ácido fosfórico acuosos durante una hora; luego de transcurrido este tiempo, se verificó la descomposición del bromuro de etidio con el transiluminador de luz ultravioleta. Los instrumentos y superficies contaminadas se

*Para establecer las bases administrativas y operativas sobre las que se desarrollará el sistema de gestión de los desechos peligrosos, se organizaron y ampliaron los apartados de lineamientos y de organización, los cuales se trasladaron al Capítulo de Introducción de la “Guía de manejo de los desechos peligrosos de los laboratorios del ITCR”; de esta manera el usuario tendrá una mejor comprensión de las etapas del sistema de gestión*

limpiaron con toallas de papel impregnadas de la mezcla anterior, luego se lavaron con agua y el papel contaminado se depositó en la mezcla acuosa de nitrito de sodio y ácido fosfórico durante una hora. Se comprobó también que no había presencia del bromuro de etidio en los instrumentos y superficies con el transiluminador. Este método es el recomendado para realizar el tratamiento de los desechos y de todos los materiales y superficies contaminados con bromuro de etidio.

Las escorias provenientes del proceso de nitruración son desechos cuya composición es de cianuros, cianatos y residuos de metales ferrosos. Estas escorias fueron tratadas con una disolución de NaOH hasta pH mayor de 10, luego se les añadió una disolución de hipoclorito de sodio al 12% y se mantuvo en agitación por 10 minutos. Una vez transcurrido este tiempo, se le realizó una prueba cualitativa para determinar la efectividad de la destrucción de los cianuros y cianatos. La prueba consistió en añadir una disolución de sulfato de Hierro II al 10% y cloruro de Hierro III al 5% y ácido clorhídrico 3 molar, la no presencia de una coloración azul o formación de un precipitado azul indicó que no hay cianuros y cianatos y que el método es efectivo para el tratamiento de las escorias. La mezcla de reacción se neutraliza a un pH entre 6 y 8 y se dispone por el drenaje de la pila.

En este método es necesario mantener el pH mayor que 10 para evitar la formación del gas cloruro de cianógeno (CNCl), el cual es sumamente tóxico.

Otros desechos que se producen en los laboratorios del ITCR son residuos de: ácidos, bases, disolventes, sales acuosas de metales que no son metales pesados y mezclas de sustancias orgánicas; estos se producen en pequeñas cantidades y podrían tratarse en el laboratorio donde se genera el desecho, excepto para aquellos casos en donde el tratamiento es muy complicado desde el punto de vista químico y requiere

que sea un profesional químico el que realice el tratamiento.

Con este trabajo se logró encontrar y probar los tratamientos de los desechos peligrosos que los participantes de cada laboratorio definieron como los más representativos por volumen y peligrosidad; además, se logró dar inicio en el ITCR a un proceso de gestión de los desechos peligrosos desde su generación hasta su tratamiento, que pueda ser replicado en otros desechos de la Institución que no se contemplaron, principalmente una gran cantidad de reactivos vencidos que se encuentran en las bodegas de las Escuelas de Química, Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería en Administración Agropecuaria.

## **Guía de manejo desechos peligrosos y normativa**

Para establecer las bases administrativas y operativas sobre las que se desarrollará el sistema de gestión de los desechos peligrosos, se organizaron y ampliaron los apartados de lineamientos y de organización, los cuales se trasladaron al Capítulo de Introducción de la “Guía de manejo de los desechos peligrosos de los laboratorios del ITCR”; de esta manera el usuario tendrá una mejor comprensión de las etapas del sistema de gestión. Lo anterior fue producto de la discusión planteada por los participantes en los módulos de capacitación.

Para que el modelo de gestión de los desechos peligrosos del ITCR responda a las exigencias de la legislación nacional se incluyó en cada una de las etapas del sistema de gestión, elementos de la normativa nacional (decretos 27000, 27001 y 27002) para complementarla, de tal manera que se obtenga un sistema de gestión de los desechos peligrosos de acuerdo con las características y necesidades del ITCR y las exigencias nacionales.

## Conclusiones

1. Se cuenta con 11 personas capacitadas y concientizadas para iniciar el SGI de desechos peligrosos.
2. Se cuenta con métodos adaptados a tres tipos de desechos peligrosos que se generan en el ITCR.
3. El programa de inventarios estandarizado que se desarrolló está instalado en nueve laboratorios de la Sede de Cartago.
4. Se cuenta con la “Guía de manejo de desechos peligrosos” y una normativa en trámite de aprobación, que responde a las necesidades del ITCR y las exigencias de la normativa nacional.
5. En el ITCR se tienen desechos con características químicas semejantes que pueden tratarse de forma conjunta.
6. Si se quiere un tratamiento centralizado, los desechos peligrosos se deben separar y rotular en cada fuente generadora.
7. Para que un sistema de gestión integral de manejo de los desechos peligrosos en la Institución sea efectivo, es necesario concientiar y capacitar al personal que utiliza sustancias químicas peligrosas, a fin de que no solo participe, sino que también esté comprometido.
8. Hay deficiencia de equipamiento en el área de cómputo en los laboratorios, que no permite llevar un sistema de inventarios computarizado.
9. No existe un mecanismo que permita contar con la información de las sustancias químicas que no se utilizan y se puedan intercambiar o utilizar en otros laboratorios, ni el mecanismo formal de intercambio o donación interna.
10. Los tratamientos ensayados en este proyecto se tienen que probar para cada matriz ya que estos pueden cambiar las condiciones o interferencias.
11. Se identificaron otros desechos peligrosos con los cuales no se trabajó

*Para que un sistema de gestión integral de manejo de los desechos peligrosos en la Institución sea efectivo, es necesario concientiar y capacitar al personal que utiliza sustancias químicas peligrosas, a fin de que no solo participe, sino que también esté comprometido.*

en este proyecto, pero que se les debe buscar una solución de tratamiento físico-químico.

12. El tratamiento evaluado en laboratorio para las mezclas acuosas de metales pesados, resultó ser efectivo.

## Recomendaciones

1. Aprobar la normativa sobre Manejo de los Desechos Peligrosos del ITCR, para que el sistema de gestión integral de los desechos peligrosos de los laboratorios se cumpla formalmente y no de forma voluntaria.
2. Se deben equipar los laboratorios con equipo de cómputo para poder tener el *software* de inventarios.
3. Se deben establecer mecanismos para tener la información de las sustancias químicas que no se utilizan y se pueden intercambiar o utilizar en otro laboratorio.
4. Construir una bodega diseñada técnicamente para la centralización y almacenamiento de los reactivos que no se utilizan en los laboratorios de la institución y desechos peligrosos que no cuenten con tratamiento.
5. Establecer un mecanismo para el acopio y traslado de los desechos peligrosos al lugar de tratamiento centralizado.
6. Es necesario que se contemple en el presupuesto un rubro para el manejo de los desechos peligrosos.
7. Se deben establecer criterios para recibir donaciones, con el fin de evitar adquirir materiales que no se necesitan.
8. Mantener un programa de Seguridad e Higiene Ocupacional de las personas que trabajan con sustancias peligrosas.
9. Se debe contar con un lugar para centralizar el tratamiento de algunos desechos que se producen en cantidades grandes en la Institución.

10. Establecer una tercera fase, donde se centralice el tratamiento de algunos de los desechos peligrosos.
11. Mantener un programa permanente de capacitación en el tema hacia los funcionarios del ITCR.
12. Establecer el manejo de los desechos peligrosos del ITCR como una actividad permanente y de carácter institucional.
13. Es necesario contar con una persona responsable de darle seguimiento a la implementación de la base de datos de inventarios, con el fin de que se instale en todos los laboratorios y que se mantenga actualizada.
14. Cada laboratorio debe contar con la “Guía de manejo de desechos peligrosos en el ITCR”, para que sirva de documento base del Sistema Integral de Gestión Ambiental (SIGA).

## Agradecimiento

Se agradece a la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), especialmente al Dr. Katsuhiko Harada, por su valioso apoyo y participación en el proyecto.

## Referencias bibliográficas

1. Quesada, H. y Salas, J.C. *Manejo de desechos peligrosos en el ITCR. Primera Fase: Evaluación Preliminar*. Informe Final Proyecto de Investigación. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 2002
2. Toledo, G. *Residuos Peligrosos*. Programa Universitario de Medio Ambiente. UNAM. México. 1996.
3. La Grega, M.D. *et al. Gestión de Residuos Tóxicos*. Volumen 1. McGraw Hill. México. 1996.
4. Pérez, E. *Los residuos peligrosos en México*. Programa Universitario de Medio Ambiente. UNAM. México. 1997.

5. Bravo, M. *Minimización de Residuos*. Seminario Internacional. CYTED. Costa Rica, 1999.
6. Quesada, H. y Salas, J.C. *Guía de Manejo de desechos peligrosos en los Laboratorios del ITCR*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 2004.
7. Freeman, M.H. *Standard Hand book of Hazardous Waste Treatment and Disposal*. 2<sup>nd</sup> ed. MC Graw Hill. USA. 1998.
8. Lunn, G, Sansone. *Destructions of Hazardous Chemicals in the Laboratory*. 2<sup>nd</sup> ed. A Willey-Interscience Publication. New York 1994.
9. Manahan S. *Hazardous Waste Chemistry, Toxicology and Treatment*. Lewis Publishers. 1990. USA.
10. Kaufman. J. *Waste Disposal in Academic Institutions*. Lewis Publishers. 1990. USA.
11. Armour. M. *Hazardous Laboratory Chemicals Disposal Guide*. 3<sup>rd</sup> ed. Lewis Publishers. 2003. USA.
12. Blackman. W. *Basic Hazardous Waste Management*. 3<sup>rd</sup> ed. Lewis Publisher. USA. 2001.
13. National Research Council. *Prudent Practice in the Laboratory: Handling and Disposal of Chemicals*. National Academy Press. Washington, D.C. 1995.

## Bibliografía

- Salazar, R. y Guevara M. C. *Normativa Ambiental sobre los desechos*. Fundación Ambio, San José, 1996.
- Gobierno de la República de Costa Rica. *Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales*. *La Gaceta*, N.º 101, 1998, pp. 10-17.
- Gobierno de la República de Costa Rica. “Reglamento sobre las Características y el Listado de los Desechos Peligrosos Industriales”. *La Gaceta*, N.º 124, 1998, pp. 2-9.