

*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA*

*FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA.*

*DEPARTAMENTO DE QUIMICA.*



*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES  
PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS  
LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL  
DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y  
TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*

*MONOGRAFIA*

*PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIADO EN QUIMICA.*

*ELABORADO POR:*

*Bra. Jenifer Guadalupe Hernández Balmaceda.*

*Bra. Amparito Isabel Flores Dávila.*

*TUTOR:*

*MSc. Amada Carrasco Montoya.*

*Asesora:*

*MSc .Martha Lorena Ramírez.*



*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA.*

*FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA.*

*DEPARTAMENTO DE QUIMICA.*

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES  
PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS  
LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL  
DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y  
TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*

*MONOGRAFIA*

*PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIADO EN QUIMICA.*

*ELABORADO POR:*

*Bra. Jenifer Guadalupe Hernández Balmaceda.*

*Bra. Amparito Isabel Flores Dávila.*

*TUTOR:*

*MSc. Amada Carrasco Montoya.*

*Asesora:*

*MSc .Martha Lorena Ramírez.*



## ***DEDICATORIAS.***

### ***A Dios:***

*Por habernos permitidos llegar hasta este punto y darnos salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor por darnos la oportunidad de vivir y por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestros corazones e iluminar nuestras mentes y por habernos puesto en nuestros caminos a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo nuestros periodos de estudios.*

### ***A NUESTRAS MADRES:***

*Mayra Dávila Centeno, María Dolores Balmaceda Por habernos apoyados en todo momento, por sus consejos, sus valores, por su motivación constante que nos han permitido ser unas personas de bien, pero más que nada, por su amor. Madres gracias por darnos una carrera para nuestros futuros, todo esto se lo debemos a ustedes.*

### ***A NUESTROS PADRES:***

*Jorge Hernández, Arles Flores por su apoyo, paciencia y ejemplo de perseverancia y constancia que los caracterizan y que nos han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.*



## **AGRADECIMIENTOS.**

*El presente trabajo de tesis primeramente nos gustaría agradecer a ti Dios por habernos bendecidos para llegar hasta donde hemos llegado, porque hiciste realidad este sueño.*

*A nuestra querida Directora de Tesis: MSc. Amada Carrasco Montoya. Por sus conocimientos y asesoramiento científico con una disciplina constante para tener un mejor resultado en nuestra tesis. Gracias por la paciencia que mantuvo con nosotras y su tiempo valioso que le quitamos para que nos pudiera ayudar. Y le agradecemos su estímulo religioso que hicieron en nosotras unas mejores personas tanto el ámbito profesional como en lo personal.*

*A la MSc. Martha Lorena Ramírez caballero por su predisposición permanente e incondicional en aclarar nuestras dudas y por su ayuda en las actividades de laboratorios.*

*Le agradecemos la confianza, el apoyo y la dedicación de tiempo a nuestros profesores: MSc. Fabio pallavicini, Dr. Sergio López grio, Lic. Claudia Alvarado Delgadillo, MSc. Auxiliadora Ramírez, Lic. Santiago Pérez, Dr. Jesús Estrada, MSc. Arturo Mayorga, MSc. Carolina Ortega, por habernos compartido con nosotros sus conocimientos que son la base de nuestras carrera y sobre todo su amistad.*

*Agradezco a Amparito por haber sido una excelente compañera de tesis y amiga, por haberme tenido paciencia y por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación que tuvimos en la realización de tesis.*

*Agradezco a Jenifer Hernández una gran compañera de tesis y amiga, por los buenos momentos que pasamos a lo largo de la carrera y por todo el apoyo y dedicación recibido para la realización de la tesis.*

*Y por último deseamos dedicar este momento tan importante e inolvidable a nosotras mismas, por no dejarnos vencer, ya que en ocasiones el principal obstáculo se encuentra dentro de uno.*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>2</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
II. 1 objetivo general.....	6
II. 2 objetivos específicos.....	7
<b>III. MARCO TEORICO.....</b>	<b>8</b>
III. 1 Definición de residuo o desecho.....	8
III. 2 Definición de residuos no peligrosos.....	8
III. 3 Definición de residuos inertes.....	9
III. 4 Definición de residuos industriales.....	10
III. 5 Definición de residuos peligrosos.....	10
III. 5.1 Criterio CRETIB.....	11
III. 5.2 Definición y características de corrosividad.....	11
III. 5.3 Definición y características de reactividad.....	11
III. 5.4 Definición y características de explosividad.....	12
III. 5.5 Definición y características de toxicidad.....	12
III. 5.6 Definición y características de inflamabilidad.....	13
III. 5.7 Definición y características de biológico infeccioso.....	13
III. 5.8 Pictogramas de CRETIB.....	14
III. 6 Diferentes tratamientos para los REPEL.....	15



III. 6.1 Tratamiento biológico.....	15
III. 6.2 Tratamiento térmico.....	15
III. 6.3 Tratamiento físico-químico.....	15
III. 6.4 Solidificación y Estabilización.....	16
III. 6.4.1 técnicas de Solidificación /Estabilización.....	17
III. 6.4.2 Vitricificación.....	18
III. 6.4.3 Ceramización.....	18
III. 6.4.4 Cementación.....	19
III. 6.4.5 Mecanismos de inmovilización usados en las tecnologías de Solidificación/Estabilización.....	21
III. 7 Metales Pesados.....	25
III. 7.1 Cadmio.....	26
III. 7.1.1 Efectos en la salud.....	27
III. 7.1.2 Efectos ambientales.....	28
III. 7.1.3 Aplicaciones.....	28
III. 7.1.4 Abundancia y obtención.....	29
III. 7.2 cobre.....	29
III. 7.2.1 Propiedades físicas.....	31
III. 7.2.2 Características químicas.....	31
III. 7.2.3 Efectos en la salud.....	31
III. 7.2.4 Efectos ambientales.....	32



III. 7.3 Plomo.....	34
III. 7.3.1 Aplicaciones.....	34
III. 7.3.2 Efectos en la salud.....	35
III. 7.3.3 Efectos ambientales.....	36
III. 7.4 Arsénico.....	37
III. 7.4.1 Características principales.....	38
III. 7.4.2 Aplicaciones.....	39
III. 7.4.3 Efectos en la salud.....	40
III. 7.4.4 Efectos ambientales.....	42
III. 8 Técnicas analíticas.....	43
III. 8.1 Métodos Espectroscópicos.....	44
III. 8.2 Métodos Electroquímicos.....	45
III. 8.3 Espectrometría de absorción atómica.....	45
III. 8.3.1 Espectrometría de absorción atómica de llama (faas).....	46
III. 8.3.2 Espectrometría de absorción atómica de horno de grafito (gfaas).....	48
III. 9 Gestión ambiental.....	49
III. 9.1 Manejo general de los REPEL.....	50



III. 9.2 Gestión para manejo y residuos peligrosos en el lugar de origen.....	51
III. 9.3 Prevención de la contaminación y minimización de residuos y desechos.....	52
III. 10 marco legal ambiental.....	53
<b>IV. METODOLOGIA.....</b>	<b>55</b>
IV. 1 Pasos metodológicos.....	56
IV. 2 Procedimientos para elaboración de bloques.....	57
IV. 3 Procedimiento para medir la eficiencia de la inmovilización de los metales pesados.....	58
IV. 3.1 Obtención del lixiviado de los bloques.....	58
IV. 3.2 Aplicación del método de absorción atómica de llama y horno de grafito para la medición de las concentraciones de los metales pesados.....	59
IV. 3.2.1 Instrumentación.....	59
IV. 3.2.2 Materiales y Reactivos.....	60
IV. 3.2.3 Preparación de soluciones.....	60
IV. 3.2.4 Preparación del estándar de 10 ppm de Cd.....	60
IV. 3.2.5 Curva de Calibración.....	61
IV. 3.2.6 Dilución de la Muestra.....	61
IV. 3.2.7 Preparación de las soluciones estándares de 50 ppb para As y Pb.....	61
V. 3.2.8 Dilución de la Muestra.....	61





<b>V. RESULTADOS Y ANALISIS.....</b>	<b>62</b>
V. 1 Recopilación bibliográfica sobre residuos peligrosos.....	62
V. 2 Diseño, elaboración y aplicación de un formato para la recopilación de los datos de REPEL.....	62
VI. 3 Información obtenida acerca de tratamientos que se pueden aplicar a los repel .....	66
V. 3.1 Tratamiento biológico.....	66
V. 3.2 Tratamiento térmico.....	66
V. 3.3 Tratamiento físico químico.....	67
V. 3.4 Tratamiento de Solidificación/Estabilización.....	69
V. 4 Recolección de los REPEL generados en los diferentes laboratorios.....	70
V. 5 Aplicación de la técnica seleccionada para la inmovilización de los metales pesados.....	70
V. 6 Tabla.Nº1: Resultados del lixiviado de cadmio y cobre mediante la técnica analítica de espectrofotometría de absorción atómica de llama.....	72
V. 7 Tabla No 2: Resultados del lixiviado de plomo y arsénico mediante la técnica analítica de espectrofotometría de absorción atómica de horno de grafito.....	73



<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>77</b>



## RESUMEN

La generación de los residuos peligrosos representa un grave problema ambiental, ya que una incorrecta gestión puede producir unos impactos ambientales irreversibles. Generalmente, estos residuos proceden de industrias muy diversas y poseen una composición muy variada.

Para reducir la movilidad y toxicidad de los contaminantes presentes en los residuos se utilizan los procesos de estabilización/solidificación que consisten en el uso de aglomerantes y aditivos para obtener un producto final sólido que pueda ser reutilizado o cuya eliminación en vertedero no suponga un problema para la salud de las personas o el medio ambiente. Los residuos susceptibles de ser tratados mediante las tecnologías de estabilización/solidificación son principalmente los contaminados con metales pesados.

Sin embargo, en los últimos tiempos los estudios llevados a cabo con residuos inorgánicos muestran resultados satisfactorios.

Hasta ahora, en las fuentes consultadas no se recoge un estudio exhaustivo de las diferentes técnicas de estabilización/solidificación, generalmente éstas se encuentran de manera muy dispersa, estudiando casos de residuos concretos y aglomerantes muy específicos.

Se logró determinar las concentraciones de metales pesados en las muestras del lixiviado que se obtuvieron durante el proceso de inmovilización y estos resultados nos indican niveles por debajo de los límites de detección en el caso del, cadmio, plomo cobre y arsénico.



## RESUMEN

---

Por todo ello, el objetivo del presente trabajo ha consistido en realizar un estudio de las diferentes técnicas de estabilización/ solidificación que pueden ser aplicadas en el tratamiento de REPEL.



## I. INTRODUCCION

Un residuo es un producto generado por las actividades humanas, que se considera sin valor y debe de ser eliminado. Las fuentes de REPEL por lo general se concentran en zonas bien definidas, como las ciudades, laboratorios de universidades o ciertas regiones del país. La generación y gestión de REPEL representa un grave problema ambiental, ya que una incorrecta gestión puede producir unos impactos ambientales irreversibles.

En las actividades académicas, desarrolladas en los laboratorios de servicio e investigación, pertenecientes al Departamento de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNAN-LEON, se maneja una gran variedad de sustancias químicas. Durante las diversas operaciones que se realizan se generan residuos, en muchos casos peligrosos para la salud y el medio ambiente; adicionalmente a esto, no existe control sobre el tratamiento y disposición final de los recipientes que han contenido productos químicos.

Aunque el volumen de los residuos que se generen en los laboratorios normalmente es pequeño, se produce una gran variedad, y algunos de ellos son compuestos nuevos de los cuales no se conocen exactamente sus características de peligrosidad, incluyendo los posibles efectos sobre el medio ambiente. Dentro de los residuos, uno de los tipos que más atención requiere, si no por su cantidad sí por los potenciales de riesgos que encierran, son los residuos peligrosos que llevan metales pesados tan conocidos y utilizados como el plomo, mercurio, cadmio, níquel, vanadio, cromo, cobre, aluminio, arsénico o plata, etc., son sustancias tóxicas si están en concentraciones altas. Especialmente tóxicos son sus iones y compuestos.



Muchos de estos elementos son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las raíces de las plantas o forman parte de la dieta de los animales. Pero cuando por motivos naturales o por la acción del hombre se acumulan en los suelos, las aguas o los seres vivos en concentraciones altas se convierten en tóxicos peligrosos.

Para unas buenas condiciones de trabajo en el laboratorio, debe incluirse en la organización del mismo, un programa o un plan de gestión de REPEL que permite una adecuada protección de la salud y del medio ambiente. No debe olvidarse que un residuo de un laboratorio suele ser una sustancia o un preparado que casi siempre presenta peligrosidad, por lo tanto, un manejo inadecuado constituye un riesgo añadido a los propios de la actividad del laboratorio.

La inquietud mundial sobre los REPEL como uno de los principales problemas ambientales y sociales surgió durante los años setenta como resultado de una mayor toma de conciencia con respecto a la toxicidad potencial de los productos químicos.

En Japón fue uno de los primeros países en introducir el control de REPEL, después del accidente de Bahía Mina mata en los años 60, cuando muchas personas murieron por intoxicación al consumir pescados y mariscos contaminados con Mercurio que había sido descargado al mar por una planta química. Seguidamente en Inglaterra después de años en que un alto comité había investigado los problemas de REPEL, en Febrero de 1972 se produjo indignación pública al descubrirse tambores con Sales de Cianuro en un sitio desocupado donde jugaban niños.



Actualmente en Nicaragua se carece de manejo de los REPEL, a nivel nacional ha evolucionado en ascenso con una alta carga contaminante que se origina en las actividades industriales y laboratorios con mayor densidad, provocando diversos impactos ambientales negativos a los ecosistemas terrestres y acuáticos.

En Nicaragua no existe un manejo regulatorio para el control al que se somete un REPEL luego de su generación, incluyendo, su almacenamiento, transporte y eliminación del mismo provenientes de las actividades ya mencionadas y debemos ocuparnos de minimizar los REPEL que se generan y saber tratarlos para recuperar materiales o eliminar o disminuir su peligrosidad, ya que en la mayoría de los casos se depositan en basureros y sitios abiertos, constituyendo una fuente de contaminación directa para el medio ambiente y la salud humana.

Para reducir la movilidad y toxicidad de los contaminantes presentes en los residuos se utiliza el proceso de estabilización/solidificación (E/S) que se refiere a un grupo de métodos de limpieza que evitan o reducen la liberación de químicos nocivos del suelo o lodo contaminado. En general, estos métodos no destruyen los químicos, sino que protegen la salud humana y el medio ambiente al impedir que los químicos se desprendan.

La solidificación es un proceso que liga el suelo o lodo contaminado para llevarlo a un estado sólido. La estabilización, por su parte, modifica los químicos para tornarlos menos nocivos o volátiles.

En Nicaragua se publicó la norma técnica ambiental para el MANEJO Y ELIMINACION DE RESIDUOS SOLIDOS PELIGROSOS N° 05 015-02, el 05 de noviembre del 2002 establecida y aprobada el 13 de septiembre del 2001. En la gaceta N° 210. El establecimiento de esta norma se comprueba en el registro del libro de actas de la Comisión nacional de normalización técnica y calidad, acta N° 002-02 paginas 035, 036, 037, 038, 039, 040, 041.



El ministerio del ambiente y recursos naturales (MARENA) con fundamento en el Arto. 8 capítulo I, título II de la ley general del medio ambiente y los recursos naturales donde se declara a continuación que el Arto. 8: El ministerio del ambiente y recursos naturales como ente regulador y normador de la política ambiental del país, será el responsable del cumplimiento de la presente ley y dará seguimiento a la ejecución de las disposiciones establecida en las mismas. (Ley 217).

El Arto. 3, capítulo II, título I del reglamento de la ley general del medio ambiente y los recursos naturales que declara a continuación que el Arto.3. El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, es la autoridad nacional competente en materia de regulación, normación, monitoreo, control de la calidad ambiental; del uso sostenible de los recursos naturales renovables y el manejo ambiental de los no renovables, conforme lo dispuesto en la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y además leyes vigentes. El Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales y además la autoridad competente para sancionar administrativamente por el incumplimiento de las Normas Ambientales. Estas atribuciones las ejercerá en coordinación con otros organismos estatales y las autoridades regionales y municipales pertenecientes al (decreto 9-96) que delegan en MARENA, la facultad de expandir las normas oficiales en materia de ambiente y recursos naturales. (1) (2)

(3)





## II. OBJETIVOS

### II. 1 OBJETIVO GENERAL.

Minimizar el impacto negativo de residuos químicos peligrosos (REPEL) generados en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-LEON) de la Facultad de Ciencias y Tecnología del Departamento de Química; para garantizar su manejo y disminuir los efectos que provocan, sobre la salud, el ambiente y la calidad de vida universitaria.



## II. 2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- ❖ Recopilar información sobre los Residuos Peligrosos (REPEL) en los laboratorios de servicios e investigación del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNAN-LEON.
- ❖ Identificar los REPEL que contengan metales pesados en los laboratorios que generan residuos.
- ❖ Dar a conocer diferentes tratamientos que pueden aplicarse a los REPEL de metales pesados generados en los laboratorios.
- ❖ Realizar el tratamiento de Solidificación y Estabilización de los REPEL de metales pesados generados en los laboratorios de servicios e investigación del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNAN-LEON.
- ❖ Comprobar la eficiencia del proceso de Solidificación y Estabilización de los metales pesados.



### **III. MARCO TEORICO**

#### **III. 1 RESIDUO O DESECHO**

Es una sustancia, elemento u objeto en estado sólido, líquido o gaseoso que puede causar o contribuir significativamente en un aumento de mortalidad o incremento en enfermedades graves irreversibles, procedente de un proceso de extracción, transformación o utilización que puede presentar un peligro sustancial para la salud humana o el medio ambiente en caso de ser inadecuadamente tratado, almacenado y transportado, donde el propietario o generador se propone a eliminar o está obligado a eliminar, y este decide abandonar.

Pero esto es solo una forma de definir residuo ya que es muy complejo, ya que residuo es un material o energía resultante de la ineficiencia de los procesos y actividades, que no tienen uso directo y es descartado permanentemente. (4)

#### **III. 2 RESIDUOS NO PELIGROSOS**

Serán considerados pertenecientes a esta clase todos los residuos que no están incluido en la definición de residuos peligrosos. Dentro del grupo de los residuos no peligroso se incluye un subgrupo al que ya nos hemos referido cuando hemos tratado los otros criterios de clasificación de los residuos. (5)



### III. 3 RESIDUOS INERTES

Son residuos no peligrosos que no experimenten transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Los residuos inertes no son solubles, ni combustibles, ni reaccionan física, ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto, de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana.

Son básicamente escombros, escorias o materiales residuales obtenidos como subproductos finales después de los tratamientos realizados con los residuos activos. (6)

Efectúan un impacto paisajístico, ya que son depositados en grandes montones, normalmente al aire libre. A veces se pueden utilizar como materiales de construcción. También se pueden incluir en este grupo los desechos metálicos y chatarra originados a partir de materiales fabricados. En este caso es interesante considerar la recuperación de los elementos metálicos para su reutilización, procedimiento posible pero costoso y que depende de varios factores:

- Pureza del metal en el residuo.
- Forma en que se encuentra.
- Resistencia del material a los tratamientos físicos-químicos.
- Rentabilidad económica del proceso.

La recuperación de metales en estos residuos presenta varios beneficios ecológicos:

- Ahorro de recursos minerales (recursos no renovables).
- Disminución del consumo energético
- Disminución de los residuos.
- Atenuación del impacto ambiental.



### **III. 4 RESIDUOS INDUSTRIALES**

Se trata de un amplísimo grupo de residuos, generados en los procesos de fabricación de la industria y que no tiene valor como mercancía debido a que, en la mayoría de los casos las tecnologías para su aprovechamiento suponen elevados costos, o bien por qué no están los suficientemente desarrollados.

Dentro de esta amplia gama podemos diferenciar a su vez tres categorías diferente:

- Asimilables a residuos sólidos urbanos.
- Inertes (Escorias, Escombros, etc.)
- Residuos peligrosos.

### **III. 5 RESIDUOS PELIGROSOS (REPEL)**

Es un residuo sin uso directo o descartado permanentemente que por su actividad química o por las características de corrosidad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad que contengas agentes infecciosos que los confieran peligrosos. Y pueden causar o contribuir significativamente en un aumento de mortalidad o incremento en enfermedades graves irreversibles, puede presentar un peligro sustancial para la salud humana o el medio ambiente en caso de ser inadecuadamente tratado almacenado, transportado, eliminado o manejado. Definiremos más detalladamente las características que poseen los REPEL mediante el criterio CRETIB.



### III. 5.1 CRITERIO “CRETIB” <sup>(7)</sup>

Es un código de clasificación de las características que contienen los residuos peligrosos y que significan: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológicos infeccioso.

El acrónimo de CRETIB clasifica las características a identificar en los REPEL son las siguientes:

- Corrosivo
- Reactivo
- Explosivo
- Tóxico ambiental
- Inflamable
- Biológico infeccioso

### III. 5.2 CORROSIVIDAD

Son sustancias que pueden destruir tejidos vivos en contactos con ellos y presentan las siguientes propiedades:

- ✓ Ser acuoso y presentar un PH menor o igual a 2 mayor o igual a 15.52.
- ✓ Ser líquido y corroer una taza mayor que 6.35 mm al año a una temperatura de 55°C.

### III. 5.3 REACTIVIDAD

Es aquel que al mezclarse o ponerse en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos pueda tener cualquiera de las siguientes propiedades:

- ✓ Ser normalmente inestable y reaccionar de forma violenta e inmediata con agua generando gases inflamables.
- ✓ Generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud o al medio ambiente cuando esté mezclado con agua.



- ✓ Poseer, entre sus componentes, sustancias que por reacción liberan gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo a la salud humana o al medio ambiente.
- ✓ Ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados.
- ✓ Aquel que produce una reacción endotérmica o exotérmica al ponerse en contacto con el aire, agua o cualquier sustancia o elemento.

### III. 5.4 **EXPLOSIVIDAD**

Son sustancias y preparados sólidos, líquidos, pastosos o gelatinosos que, incluso en ausencia de oxígeno del aire, puedan reaccionar de forma exotérmica con rápida formación de gases y que, en determinadas condiciones de ensayo, detonan, deflagran rápidamente o, bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explotan y presentan las siguientes propiedades:

- ✓ Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua.
- ✓ Ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y una atmósfera.
- ✓ Ser una sustancia fabricada con el fin de producir una explosión o efecto pirotécnico.

### III. 5.5 **TOXICIDAD**

Son sustancias y preparados que, por inhalación ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte y presentan las siguientes propiedades:

- ✓ Alto potencial de irritación ocular, respiratoria y cutánea o capacidad corrosiva sobre tejidos vivos.
- ✓ Carcinogenicidad, mutagenicidad y teratogenicidad. Toxicidad para organismos superiores y microorganismos terrestres y acuáticos.
- ✓ Baja degradabilidad o capacidad de formación de productos intermedios o finales de mayor toxicidad.



### III. 5.6 INFLAMABILIDAD

Son sustancias y preparados líquidos que tengan un punto de ignición extremadamente bajo y un punto de ebullición bajo, y las sustancias y preparados gaseosos que, a temperatura y presión normales, sean inflamables con el aire y presentan las siguientes propiedades:

- ✓ Gas y que a 20°C y a una presión de una atmósfera arda en una mezcla igual o menor al 13% del volumen del aire.
- ✓ Líquido y tener un punto de inflamación inferior a 60°C, con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24 grados de alcohol en volumen.
- ✓ Sólido y ser capaz de, bajo condiciones de temperatura y presión de 25°C y una atmósfera de presión, producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones extinción del fuego.
- ✓ Oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego en otro material.

### III. 5.7 BIOLÓGICO INFECCIOSO

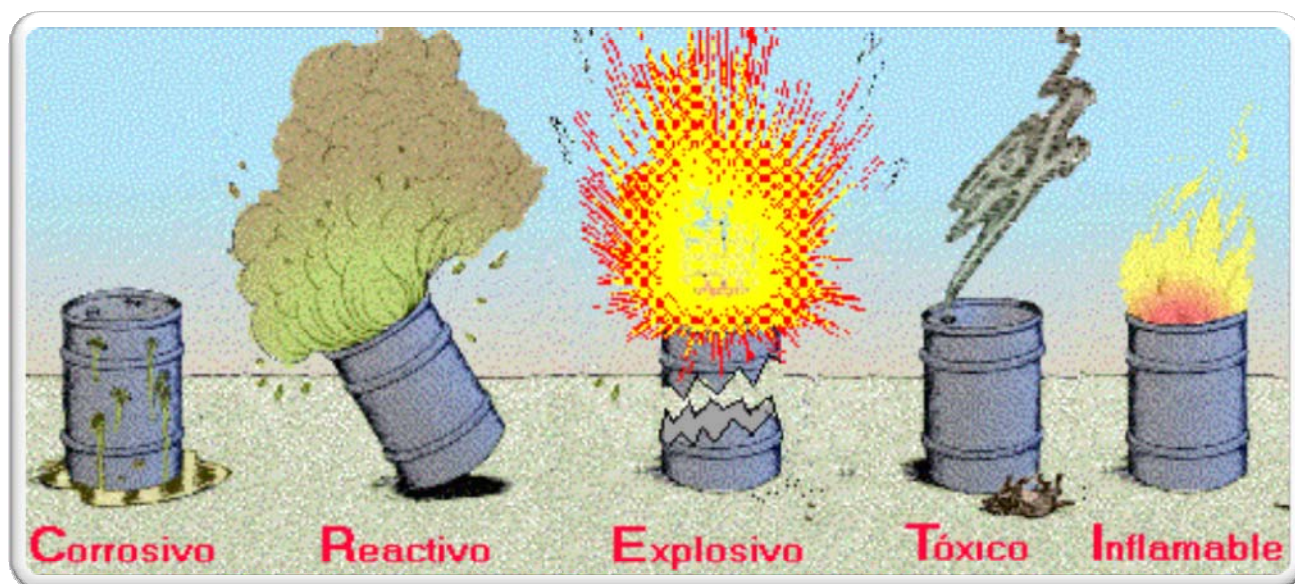
Cualquier microorganismo capaz de producir enfermedades cuando está presente en concentraciones suficientes (inoculo), en un ambiente propicio (supervivencia), en un hospedero susceptible y en presencia de una vía de entrada y presentan las siguientes propiedades:

- ✓ Los tejidos, órganos y partes que se extirpan o remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención quirúrgica, que no se encuentren en formol.
- ✓ Las muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico e histológico, excluyendo orina y excremento.
- ✓ Los cadáveres y partes de animales que fueron inoculados con agentes enteropatógenos en centros de investigación y bioterios.





### III. 5.8 Pictogramas de CRETIB



---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



### **III. 6 Los tratamientos más importantes utilizados para los REPEL son:**

- Tratamiento Biológico.
- Tratamiento Térmico.
- Tratamiento Físico-Químico
- Solidificación y Estabilización

#### **III. 6.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO <sup>(8)</sup>**

El tratamiento biológico es la degradación del residuo orgánico que puede ser aeróbicas o anaeróbico por la acción de los microorganismos. La degradación altera la estructura molecular de los compuestos orgánicos. Una limitación de este tratamiento es que las concentraciones de los residuos por tratar pueden ser letales para los microorganismos. Aunque en teoría la degradación podría llegar a CO<sub>2</sub> o metano y agua.

#### **III. 6.2 TRATAMIENTO TÉRMICO <sup>(8)</sup>**

El tratamiento térmico consiste en un proceso de incineración que destruye únicamente los residuos orgánicos, pero no los residuos inorgánicos, mediante la combustión completa de la materia orgánica, transformándola en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O). Para obtener el resultado anterior, se necesita tener un buen control del sistema de incineración, pues de lo contrario se estaría enviando sustancias tóxicas a la atmósfera.

#### **III. 6.3 TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO <sup>(8)</sup>**

En los tratamientos físicos no se da una transformación de la composición del desecho, sino que se utiliza para recuperar algunos componentes que se pueden reutilizar, mientras que en los tratamientos químicos si se utilizan para transformar la composición de los desechos, con el fin de obtener sustancias menos peligrosas.



Este tratamiento consta, básicamente, de dos etapas: coagulación y floculación. La primera consiste en conseguir que las materias coloidales y en suspensión existentes en el agua formen coágulos, mediante cambios de polaridad. Durante la fase de floculación estos coágulos se aglomeran formando flóculos, lo que permite su fácil separación del agua tratada.

### **III. 6.4 TRATAMIENTO DE SOLIDIFICACION/ESTABILIZACION <sup>(9)</sup>**

El problema de la contaminación del medio ambiente se puede establecer en varias ramas, las aguas residuales y el manejo de los residuos son dos de los tipos que pueden ser atendidos con la metodología de solidificación/estabilización (S/E). La solidificación/estabilización es un proceso que se ha utilizado desde finales de los 80's para atrapar contaminantes limitando la movilidad y también disminuyendo su potencial de afectación al medio ambiente.

Este tipo de procesos tiene una gran utilidad y efectividad en el tratamiento de muchos residuos, los cuales presentan la dificultad de ser reusados o confinados. Este tipo de tratamiento es flexible tanto en cuestión de contaminantes como económica. Algunos usos de esta técnica son el mezclar contaminantes desde cenizas o lodos de tratamiento de aguas hasta material nuclear de baja peligrosidad.

La solidificación y estabilización son los nombres genéricos aplicables a una amplia gama de tecnologías que están estrechamente relacionadas ya que en ambos casos se utilizan productos químicos y/o procesos físicos para reducir el impacto potencial adverso sobre el medio ambiente tanto de residuos radiactivos, como peligrosos, y mixtos.



El termino solidificación engloba aquellos procesos desarrollados para encapsular el residuo en un sólido monolítico de alta integridad estructural. La encapsulación puede ser en finas partículas de residuo (micro encapsulación) o en un gran bloque o contenedor de residuos (macro encapsulación). La solidificación no implica necesariamente una interacción química entre los residuos y los reactivos solidificantes, pero puede ligar mecánicamente el residuo al monolito. Con ello se consigue minimizar la velocidad de migración de los contaminantes al medio ambiente y disminuir su solubilidad así como reducir el nivel de toxicidad.

De una forma más precisa se define la estabilización como el proceso que utiliza aditivos para reducir el estado de oxidación de los constituyentes o sustancias que le confieren toxicidad al residuo.

### **III. 6.4.1 TECNICAS DE TRATAMIENTO DE SOLIDIFICACION/ESTABILIZACION**

Una vez desarrolladas las caracterizaciones tanto del sitio como de los contaminantes puede definirse cuál es la técnica de tratamiento más adecuada.

En el caso de la Solidificación/Estabilización existen distintas técnicas como vitrificación, ceramización y cementación, siendo esta ultima el objetivo de esta tesis.



### III. 6.4.2 VITRIFICACION

El proceso de vitrificación de metales pesados es considerado un método de tratamiento de (REPEL) de solidificación y estabilización dado en un proceso de tratamiento térmico que emplea calor para convertir el material contaminado en un producto cristalino, químicamente inerte y estable parecido al vidrio.

El proceso consiste en introducir electrodos dentro del suelo contaminado que debe contener niveles significativos de silicatos. En la superficie los electrodos se conectan al suelo por medio de grafito, se aplica una corriente eléctrica muy alta que pasa a través de los electrodos y el grafito y el suelo se funde como resultado de la elevada temperatura. Es necesario atrapar los gases y vapores que escapan debido a que algunos contaminantes se evaporan. Una vez que se enfría el suelo, los contaminantes quedan químicamente enlazados por el calor dentro del vidrio formado. Las temperaturas de operación están entre los 1600 a 1990  $^{\circ}\text{C}$  y funciona hasta 15 m de profundidad, el potencial eléctrico es de 12 KV.

### III. 6.4.3 CERAMIZACION

La técnica de estabilización/solidificación como la ceramización es una opción confiable para el confinamiento de materiales peligrosos. Con la técnica de ceramización se logra integrar el residuo peligroso en la matriz de la cerámica. Además tiene el poder de la reutilización de residuos peligrosos y tener un valor agregado. Todo ello asegurando la no dispersión de materiales contaminantes hacia el medio ambiente, manteniéndolos en un estado estable.



### III. 6.4.4 CEMENTACION

Tal vez la única aplicación que el cemento pueda tener en el manejo de residuos es en la estabilización/solidificación. Esta técnica se refiere al mezclado con cemento dentro del medio contaminado o en los desechos para inmovilizar los contaminantes con el material tratado.

Cuando se mezcla cemento con un desecho que contiene líquidos libres, se obtiene un material con una integridad física sólida, además de que las propiedades químicas de la hidratación del cemento son usadas para disminuir la toxicidad de algunos constituyentes tóxicos.

La cementación es usada para tratar residuos industriales y hacerlos seguros para su disposición; además es usado para tratar suelos contaminados, sedimentos o lodos. La cementación puede ser aplicada a una amplia variedad de desechos conteniendo una variedad de contaminantes como metales pesados y aceites.

El tratamiento de Estabilización/Solidificación por cementación de acuerdo con la Environmental Protection Agency (EPA) este proceso es el más frecuentemente usado para el tratamiento de sitios contaminados, siendo elegido el 25% de las veces.

Este proceso no destruye los compuesto químicos solamente evita que se muevan. En el caso de la solidificación, se refiere a mezclar suelo o lodo contaminado con cemento lo que causa un endurecimiento del suelo. La mezcla forma un sólido que puede ser dejado en el sitio o removido.



El proceso de solidificación previene el esparcimiento de los químicos en el ambiente. La lluvia o el agua no pueden disolver los químicos ni moverlos a través del suelo tratado.

La estabilización cambia los químicos peligrosos en sustancias menos peligrosas o menos móviles. Por ejemplo en el caso de los metales, al unirlos con el cemento estos interactúan para disminuir su solubilidad y evitar su movimiento a través del suelo.

Una vez formados los bloques de cemento conteniendo los materiales contaminantes es necesario aplicar una serie de pruebas para garantizar la exitosa aplicación de la técnica y la minimización de riesgo de lixiviación o escape de los contaminantes.

El objetivo de esta técnica es compactar el residuo, para formar un sólido monolítico e impedir que se produzca cualquier tipo de interacción entre el residuo y el medio que lo rodea.

Sin embargo, a diferencia de otros métodos de tratamiento, como la incineración, las técnicas de estabilización/solidificación (a partir de ahora E/S) incrementan significativamente el peso y volumen del material tratado debido a la adición de aglomerantes y reactivos, lo cual afecta al transporte y a los costes de vertido. Además hay que señalar que, aunque los procesos E/S son uno de los más utilizados (debido a que hay situaciones donde estas tecnologías son necesarias, como sería el caso de los metales pesados, ya que éstos compuestos son difíciles de eliminar mediante otros métodos o tratamientos) estos procesos no son efectivos en el tratamiento de residuos que contienen sales solubles. Los residuos contaminados con metales pesados son susceptibles de ser tratados por este tipo de técnicas, siendo los principales factores a tener en cuenta en la inmovilización el pH, el estado de oxidación y el potencial redox.



### **III. 6.4.5 MECANISMO DE INMOVILIZACION USADOS EN LAS TECNOLOGIAS DE E/S.**

Un elevado número de factores o características afectan a la inmovilización de los constituyentes contaminantes presentes en el residuo. En el proceso puede interferir más de un tipo de mecanismo que son muy diferentes para residuos con constituyentes tóxicos orgánicos e inorgánicos.

En el caso de metales, los mecanismos consisten principalmente en convertir al metal pesado en precipitados insolubles, mediante precipitación y formación de complejos. Como ya se ha comentado anteriormente, los factores que mayor influencia tienen en estos procesos son el pH, el estado de oxidación y el potencial redox; modificando estos factores, como es, elevando el pH podemos convertir al metal pesado en especies menos solubles, como hidróxidos o carbonatos .

Por otro lado, los compuestos tóxicos orgánicos no reaccionan con los aglomerantes inorgánicos, por lo que la inmovilización de estos compuestos puede darse por reacciones que destruyan o alteren los compuestos o por procesos físicos como adsorción y encapsulación.

A continuación se describen con más detalle la influencia de todos estos factores:

#### **A. CONTROL DEL pH**

La lixiviación de muchos metales depende del valor de pH, generalmente se prefieren valores de pH elevados, ya que los hidróxidos metálicos tienen solubilidades mínimas entre los valores de pH comprendidos entre 7.5 y 11, además, la mayoría de los reactivos utilizados para la solidificación tienen carácter alcalino, actuando como agentes de control de pH y aglomerante a la vez.





Por ejemplo, los carbonatos metálicos son menos solubles que sus hidróxidos metálicos.

A pH alto, la reacción de formación del carbonato metálico a partir del residuo con el hidróxido metálico esta favorecida. La permanencia del metal fijado como carbonato metálico depende de entre otros factores de la estabilidad del pH. Sin embargo, bajo condiciones fuertemente ácidas, el metal puede re disolverse y quedar libre para migrar como soluto al medio ambiente.

### **B. CONTROL DEL POTENCIAL REDOX**

Es necesario conocer el potencial redox de los residuos antes y después de su tratamiento, así como el de los lixiviados y el del suelo después de que se haya producido la deposición del material en ellos. A partir del valor de potencial redox se puede conocer el estado de oxidación de los metales y este valor a su vez está relacionado directamente con su lixiviación. Por ello el control del potencial redox se utiliza frecuentemente en estas tecnologías de estabilización para variar la valencia inicial de ciertos metales a valores más adecuados originando un producto no tóxico o menos tóxico, para su posterior precipitación, mediante la utilización de agentes de oxidación-reducción.

### **C. REACCION QUIMICA**

El mecanismo más importante para la fijación de metales en sistemas de estabilización/solidificación es la precipitación química como especies de baja solubilidad. De esta forma obtenemos un residuo más estable. Los precipitados tales como, hidróxidos, sulfuros, silicatos, carbonatos y fosfatos quedan así contenidos en la masa estabilizada como parte de la estructural del material. Normalmente, se dan combinaciones de diferentes mecanismos de precipitación.



Pueden darse reacciones de complejación y quelación que producen especies metálicas insolubles, a partir de la adición de agentes complejantes, tanto orgánicos como inorgánicos, en sistemas basados en cemento como aditivo. Uno de los agentes quelantes más usados es el ácido etilendiaminotetraacético (H<sub>4</sub>EDTA).

#### **D. ADSORCION**

La adsorción es el fenómeno por el cual los contaminantes quedan ligados de manera electroquímica a los agentes de estabilización de la matriz. Se consideran fenómenos de superficie y los enlaces típicos son por fuerzas de Van der Waals o por puentes de hidrógeno. El tratamiento se considera más permanente ya que se necesita una fuerza físico-química adicional para de sorber el material de la superficie adsorbente.

Como se ha comentado anteriormente, la estabilización de residuos orgánicos es más costosa, sin embargo, la utilización de arcillas modificadas orgánicamente, resulta muy útil en estos casos. Son arcillas que han reemplazado los cationes inorgánicos de intercambio adsorbidos a su superficie por cationes orgánicos de cadena larga, confiriéndole ese carácter organofílico de las arcillas. Un ejemplo de este tipo de arcillas es la montmorillonita que es muy usada como adsorbente de pesticidas o metales pesados en aguas residuales.

#### **E. ENCAPSULACION**

El encapsulamiento es un proceso por medio del cual el residuo es incorporado dentro de un material que lo aísla del ambiente, sin que los componentes del residuo se fijen químicamente al material utilizado. Entre los materiales de encapsulamiento están el vidrio, el metal, el cemento y el plástico.



El vidrio es inerte a la agresión de muchas sustancias químicas, pero es bastante frágil y el proceso de encapsulamiento requiere altas temperaturas. El metal, principalmente en forma de cilindros, es más práctico pero se corroe fácilmente. El cemento, sin embargo, ha sido utilizado para el encapsulamiento de residuos peligrosos obteniendo resultados muy positivos. El plástico, también utilizado como material de encapsulamiento, ha demostrado en diferentes estudios resultados óptimos y mínimo incremento de volumen de los residuos al encapsularlos. Otros autores han desarrollado un proceso en el cual se solidifican los lodos mezclándolos con cal, posteriormente se aglomeran con poli butadieno y finalmente se les encapsula con polietileno.

Dentro de la encapsulación distinguimos dos tipos, macro encapsulación y micro encapsulación.

La macro encapsulación también llamada "encamisado", es una técnica de aislamiento de residuos que consiste en envolverlos en una capa impermeable y duradera. Mediante este mecanismo los constituyentes del residuo peligroso quedan atrapados físicamente en una matriz estructural de gran tamaño. Si se produjera una degradación física del material estabilizado, incluso si es en partículas de gran tamaño, los compuestos atrapados quedan libres para migrar.

Esta masa estabilizada puede descomponerse con el tiempo (en términos de escala geológica) debido a las tensiones ambientales. Por ello, los contaminantes estabilizados únicamente utilizando este mecanismo pueden aparecer en el medio ambiente si no se conserva la estabilidad de la masa. El grado de macro encapsulación aumenta según el tipo y la energía por unidad de masa de la mezcla.



La técnica de macro encapsulación puede emplearse para la E/S de residuos que contienen sustancias muy tóxicas y solubles, tales como ácidos minerales no oxidables.

Mediante la micro encapsulación termoplástica los constituyentes del residuo quedan atrapados en la matriz solidificada a nivel microscópico, e igual que ocurría en la macro encapsulación, el residuo no está ligado químicamente a la matriz por lo que el proceso tiene lugar gracias a un proceso físico, por lo que si disminuye el diámetro de la partícula aumenta la velocidad de degradación.

### **III. 7 METALES PESADOS**

Los metales se definen en base a sus propiedades físicas en el estado sólido como son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad, estos elementos comprendidos bajo esta denominación presentan como característica en común una elevada densidad.

Según la definición más difundida, metal pesado es aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a  $5 \text{ g cm}^3$  cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos) que en concentraciones bajas pueden dañar los seres vivos y tienden a acumularse en la cadena alimentaria. Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%.



Otra definición según La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, clasifica los metales como peligrosos (cuando pueden ocasionar daños a la salud humana con una leve exposición) y potencialmente peligrosos (deben mantenerse bajo control). Incluye en la lista de principales metales de interés toxicológico los siguientes: aluminio, antimonio, arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, cobalto, cobre, estaño, hierro, litio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio, talio, zinc.

La toxicidad de los metales pesados está relacionada con su acción directa sobre los seres vivos, a través del bloqueo de las actividades biológicas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos. El bloqueo de canales, la reacción de los cationes metálicos con sitios aniónicos de la pared de la membrana, o la capacidad de los metales pesados de atravesar las membranas celulares claramente constituyen un factor crítico en muchas de sus acciones tóxicas. (10)

Los metales que se ampliarán en la tesis serán: cobre, cadmio, plomo, arsénico.

### **III. 7.1 CADMIO (Cd). (11)**

El cadmio (en latín, cadmia, y en griego kadmeia, que significa "calamina", el nombre que recibía antiguamente el carbonato de zinc) fue descubierto en Alemania en 1817 por Friedrich Stromeyer, quien observó que algunas muestras de calamina con impurezas cambiaban de color cuando se calentaban, mientras que la calamina pura no lo hacía; encontró el nuevo elemento como impureza en este compuesto de zinc. Durante unos cien años Alemania fue el principal productor de este metal.



Su símbolo es Cd, su número atómico es 48 y su masa atómica es 112.411 g/mol. El cadmio es un metal pesado de color blanco plateado que no es esencial para el crecimiento de animales o plantas.

No se encuentra nativo. Frecuentemente se presenta en pequeñas cantidades asociado a minerales de zinc, tales como la esfalerita (ZnS). Minerales propios son la greenockita o blenda de cadmio (CdS), la otavita (CdCO<sub>3</sub>) y la monteponita (CdO).

### III. 7.1.1 EFECTOS EN LA SALUD

El cadmio es un metal pesado que produce efectos tóxicos en los organismos vivos, aun en concentraciones muy pequeñas.

La exposición del cadmio en los humanos se produce generalmente a través de dos fuentes principales: la primera es la vía oral (por agua e ingestión de alimentos contaminados como pueden ser patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas.) La segunda vía es por inhalación. La población fumadora es la más expuesta a niveles significativamente altas. El humo del tabaco transporta el cadmio a los pulmones. Cuando la gente respira el cadmio, éste puede dañar severamente los pulmones. Esto puede incluso causar la muerte.

Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados por el cadmio son:

- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos,
- Debilitamiento óseo,
- Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad,
- Daño al sistema nervioso central,
- Daño al sistema inmune,
- Desórdenes psicológicos,
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.



### III. 7.1.2 EFECTOS AMBIENTALES

De forma natural grandes cantidades de cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas, también es liberado al aire a través de incendios forestales y volcanes.

Las aguas residuales con cadmio, procedentes mayoritariamente de las industrias, terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son, por ejemplo, la producción de zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol.

### III. 7.1.3 APLICACIONES

El cadmio metálico se emplea en la industria metalúrgica. Sus compuestos se utilizan como pigmentos, como estabilizador de plástico en el PVC y en la fabricación de baterías níquel-cadmio. Se utiliza también en la elaboración de plaguicidas y fertilizantes así como en los reactores nucleares.

Aproximadamente tres cuartas partes del cadmio producido se emplea en la fabricación de baterías. Especialmente en las baterías de níquel-cadmio. Una parte importante se emplea en galvanoplastia (como recubrimiento). Algunas sales se emplean como pigmentos.

Por ejemplo, el sulfuro de cadmio se emplea como pigmento amarillo. Se emplea en algunas aleaciones de bajo punto de fusión. Debido a su bajo coeficiente de fricción y muy buena resistencia a la fatiga, se emplea en aleaciones para cojinetes. Muchos tipos de soldaduras contienen este metal. En barras de control en fusión nuclear.



Algunos compuestos fosforescentes de cadmio se emplean en televisores. Se emplea en algunos semiconductores. Algunos compuestos de cadmio se emplean como estabilizantes de plásticos como el PVC. Se aplica también como pigmento en la fabricación de pintura, como el acrílico, óleo, etc.

### III. 7.1.4 ABUNDANCIA Y OBTENCION

Es un elemento escaso en la corteza terrestre. Las minas de cadmio son difíciles de encontrar, y suelen estar en pequeñas cantidades. Suele sustituir al zinc en sus minerales debido a su parecido químico. Se obtiene generalmente como subproducto; el cadmio se separa del zinc precipitándolo con sulfatos o mediante destilación. Generalmente el zinc y el cadmio están en sus minerales como sulfuros, al tostarlos se obtiene una mezcla de óxidos y sulfatos, y el cadmio se separa aprovechando la mayor facilidad para reducirlo.

El mineral más importante de zinc es la esfalerita,  $(Zn, Fe) S$ , siendo el mineral análogo de cadmio la greenockita,  $CdS$ . Además de obtenerse de la minería y metalurgia de sulfuros de zinc, también se obtiene, en menor medida, de los de plomo y cobre. Existen otras fuentes secundarias: del reciclado de chatarra de hierro y acero se obtiene aproximadamente el 10% del cadmio consumido.

### III. 7.2 COBRE (Cu) <sup>(12)</sup>

Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; Se trata de un metal de transición de color rojizo y brillo metálico que, junto con la plata y el oro, forma parte de la llamada familia del cobre, se caracteriza por ser uno de los mejores conductores de electricidad.





Uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos, es el tercer metal más utilizado en el mundo, por detrás del hierro y el aluminio.

El cobre natural, antes abundante en Estados Unidos, se extrae ahora sólo en Michigan. El grado del mineral empleado en la producción de cobre ha ido disminuyendo regularmente, conforme se han agotado los minerales más ricos y ha crecido la demanda de cobre. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo.

Es un metal comparativamente pesado, el cobre sólido puro, tiene una densidad de 8.96 g/cm<sup>3</sup> a 20°C, mientras que el del tipo comercial varía con el método de manufactura, oscilando entre 8.90 y 8.94. El punto de fusión del cobre es de 1083.0 (+/-) 0.1°C (1981.4 +/- 0.2°F). Su punto de ebullición normal es de 2595°C (4703°F).

El cobre no es magnético; o más exactamente, es un poco paramagnético. Su conductividad térmica y eléctrica es muy alta. Es uno de los metales que puede tenerse en estado más puro, es moderadamente duro, es tenaz en extremo y resistente al desgaste. La fuerza del cobre está acompañada de una alta ductibilidad.

### III. 7.2.1 PROPIEDADES FISICAS

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



Es de color rojizo y de brillo metálico y, después de la plata, es el elemento con mayor conductividad eléctrica y térmica. Es un material abundante en la naturaleza; tiene un precio accesible y se recicla de forma indefinida; forma aleaciones para mejorar las prestaciones mecánicas y es resistente a la corrosión y oxidación.

### III. 7.2.2 CARACTERISTICAS QUIMICAS

En la mayoría de sus compuestos, el cobre presenta estados de oxidación bajos, siendo el más común el +2, aunque también hay algunos con estado de oxidación +1.

Expuesto al aire, el color rojo salmón, inicial se torna rojo violeta por la formación de óxido cuproso ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) para ennegrecerse posteriormente por la formación de óxido cúprico ( $\text{CuO}$ ). La coloración azul del  $\text{Cu}^{+2}$  se debe a la formación del ion  $[\text{Cu}(\text{OH}_2)_6]^{+2}$ .

Expuesto largo tiempo al aire húmedo, forma una capa adherente e impermeable de carbonato básico (carbonato cúprico) de color verde y venenoso. También pueden formarse pátinas de cardenillo, una mezcla venenosa de acetatos de cobre de color verdoso o azulado que se forma cuando los óxidos de cobre reaccionan con ácido acético, que es el responsable del sabor del vinagre y se produce en procesos de fermentación acética.

### III. 7.2.3 EFECTOS EN LA SALUD

En las plantas, el cobre posee un importante papel en el proceso de la fotosíntesis y forma parte de la composición de la plastocianina. Alrededor del 70% del cobre de una planta está presente en la clorofila, principalmente en los cloroplastos.



Los primeros síntomas en las plantas por deficiencia de cobre aparecen en forma de hojas estrechas y retorcidas, además de puntas blanquecinas. Las panículas y las vainas pueden aparecer vacías por una deficiencia severa de cobre, ocasionando graves pérdidas económicas en la actividad agrícola.

El cobre contribuye a la formación de glóbulos rojos y al mantenimiento de los vasos sanguíneos, nervios, sistema inmunitario y huesos y por tanto es esencial para la vida humana. El cobre se encuentra en algunas enzimas como la citocromo u oxidasa, la lisil oxidasa y la su peróxido dismutasa.

El desequilibrio de cobre en el organismo cuando se produce en forma excesiva ocasiona una enfermedad hepática conocida como enfermedad de Wilson, el origen de esta enfermedad es hereditario, y aparte del trastorno hepático que ocasiona también daña al sistema nervioso. Se trata de una enfermedad poco común.

El cobre se encuentra en una gran cantidad de alimentos habituales de la dieta tales como ostras, mariscos, legumbres, vísceras y nueces entre otros, además del agua potable y por lo tanto es muy raro que se produzca una deficiencia de cobre en el organismo.

### **III. 7.2.4 EFECTOS AMBIENTALES**

La producción mundial de Cobre está todavía creciendo. Esto básicamente significa que más y más Cobre termina en el medioambiente. Los ríos están depositando barro en sus orillas que están contaminados con Cobre, debido al vertido de aguas residuales contaminadas con Cobre.



El Cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión de él. El Cobre en el aire permanecerá por un período de tiempo eminente, antes de depositarse cuando empieza a llover. Este terminará mayormente en los suelos, como resultado los suelos pueden también contener grandes cantidades de Cobre después de que esté sea depositado desde el aire.

El Cobre puede ser liberado en el medioambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos. Unos pocos de ejemplos de actividades humanas que contribuyen a la liberación del Cobre han sido ya nombrados. Otros ejemplos son la minería, la producción de metal, la producción de madera y la producción de fertilizantes fosfatados.

El Cobre no se rompe en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales cuando este es encontrado en suelos. En suelos ricos en Cobre sólo un número pequeño de plantas pueden vivir. Por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de las fábricas de Cobres, debido al efecto del Cobre sobre las plantas, es una seria amenaza para la producción en las granjas. El Cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto el estiércol que contiene Cobre es todavía usado.

El Cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto. Cuando los suelos de las granjas están contaminados con Cobre, los animales pueden absorber concentraciones de Cobre que dañan su salud. Principalmente las ovejas sufren un gran efecto por envenenamiento con Cobre, debido a que los efectos del Cobre se manifiestan a bajas concentraciones.



### III. 7.3 PLOMO (Pb) <sup>(13)</sup>

Elemento químico, Pb, número atómico 82 y peso atómico 207.19. El plomo es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 a 16°C (61°F)), de color azul-grisáceo, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327.4°C (621.3°F) y hierve a 1725°C (3164°F). Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico.

El plomo existe naturalmente en la corteza terrestre formando una gran variedad de minerales, entre los que se encuentran principalmente: galena (PbS), anglesita (PbSO<sub>4</sub>), cerusita (PbCO<sub>3</sub>) y crocoíta (PbCrO<sub>4</sub>) (F, Q, 2003; Mulligan, 2002; US EPA, 1997; Valdés y Cabrera; 1999; WHO, 1977).

#### III. 7.3.1 APLICACIONES

El plomo es un producto muy importante en la industria moderna. Esta importancia se debe a propiedades como: bajo punto de fusión, alta densidad, baja dureza y resistencia a ácidos. Los principales usos de este metal y sus compuestos son: en baterías, tetraetilo de plomo (en gasolinas), pigmentos, cerámica, plásticos, municiones, soldaduras, circuitos electrónicos, cubiertas de cables y equipo militar.

Además, su uso para atenuar ondas de sonido, radiación atómica y vibraciones mecánicas, va en aumento. En estas últimas aplicaciones, se aprovecha la suavidad y densidad alta del plomo para formar aleaciones que son las que realmente se usan.



### III. 7.3.2 EFECTOS EN LA SAULD

El Plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde el 5000 antes de Cristo para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%).

Cuando el plomo es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente toxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular.

La eliminación del plomo se efectúa por la orina, las secreciones gastrointestinales y otras vías como el sudor. Cuando la cantidad de plomo absorbida supera a la eliminada se produce acumulación de plomo en hígado, riñones, músculos y cerebro, pero de forma más clara en el tejido óseo (huesos y dientes). Después de un cierto tiempo de exposición afecta principalmente a los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, reproductor, y gastrointestinal.

Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de Plomo. El humo de los cigarros también contiene pequeñas cantidades de plomo. También en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías.

Que nosotros sepamos, el Plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua.



El Plomo puede causar varios efectos no deseados, como son:

- Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia
- Incremento de la presión sanguínea
- Daño a los riñones
- Abortos y abortos sutiles
- Perturbación del sistema nervioso
- Daño al cerebro
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños
- Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.
- El Plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer.

### **III. 7.3.3 EFECTOS AMBIENTALES**

El plomo en el ambiente se presenta de fuentes naturales. La exposición puede ocurrir a través del agua potable, del alimento, del aire, del suelo y del polvo de la vieja pintura que contiene plomo. El alimento, el aire, el agua y polvo/tierra son los caminos potenciales principales de la exposición los infantes y los niños jóvenes.

Debido a la aplicación del plomo en gasolinas un ciclo no natural del Plomo tiene lugar. En los motores de los coches el Plomo es quemado, eso genera sales de Plomo (cloruros, bromuros, óxidos) se originarán.



Estas sales de Plomo entran en el ambiente a través de los tubos de escape de los coches. Las partículas grandes precipitarán en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este Plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. Este ciclo del Plomo causado por la producción humana está mucho más extendido que el ciclo natural del plomo. Este ha causado contaminación por Plomo haciéndolo en un tema mundial no sólo la gasolina con Plomo causa concentración de Plomo en el ambiente. Otras actividades humanas, como la combustión del petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, también contribuyen.

### III. 7.4 ARSENICO (As). (14)

El arsénico es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es As y el número atómico es 33. En la tabla periódica de los elementos se encuentra en el quinto grupo principal

El arsénico forma parte de los elementos denominados metaloides o semimetales. Este tipo de elementos tienen propiedades intermedias entre metales y no metales. En cuanto a su conductividad eléctrica, este tipo de materiales al que pertenece el arsénico, son semiconductores.

El arsénico se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza (cerca de  $5 \times 10^{-4}\%$  de la corteza terrestre). Es uno de los 22 elementos conocidos que se componen de un solo nucleído estable,  $^{75}33\text{As}$ ; el peso atómico es de 74.922. Se conocen otros 17 nucleídos radiactivos de As.





Se conocen compuestos de arsénico desde la antigüedad, siendo extremadamente tóxicos, aunque se emplean como componentes en algunos medicamentos. El arsénico es usado para la fabricación de semiconductores y como componente de semiconductores III-V como el arseniuro de galio.

### III. 7.4.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES

El arsénico se presenta en tres estados alotrópicos, grises o metálicos, amarillo y negro. El arsénico gris metálico (forma  $\alpha$ ) es la forma estable en condiciones normales y tiene estructura romboédrica, es un buen conductor del calor pero pobre conductor eléctrico, su densidad es de 5,73 g/cm<sup>3</sup>, es deleznable y pierde el lustre metálico expuesto al aire.

El arsénico amarillo (forma  $\gamma$ ) se obtiene cuando el vapor de arsénico se enfría muy rápidamente. Es extremadamente volátil y más reactivo que el arsénico metálico y presenta fosforescencia a temperatura ambiente. El gas está constituido por moléculas tetraédricas de As<sub>4</sub> de forma análoga al fósforo y el sólido formado por la condensación del gas tiene estructura cúbica, es de textura jabonosa y tiene una densidad aproximada de 1,97 g/cm<sup>3</sup>. Expuesto a la luz o al calor revierte a la forma estable (gris). También se denomina arsénico amarillo al oropimente, mineral de trisulfuro de arsénico.

Una tercera forma alotrópica, el arsénico negro (forma  $\beta$ ) de estructura hexagonal y densidad 4,7 g/cm<sup>3</sup>, tiene propiedades intermedias entre las formas alotrópicas descritas y se obtiene en la descomposición térmica de la arsina o bien enfriando lentamente el vapor de arsénico.



Todas las formas alotrópicas excepto la gris carecen de lustre metálico y tienen muy baja conductividad eléctrica por lo que el elemento se comportará como metal o no metal en función, básicamente, de su estado de agregación.

A presión atmosférica el arsénico sublima a 613 °C, y a 400 °C arde con llama blanca formando el sesquióxido  $As_2O_3$ . Reacciona violentamente con el cloro y se combina, al calentarse, con la mayoría de los metales para formar el arseniuro correspondiente y con el azufre. No reacciona con el ácido clorhídrico en ausencia de oxígeno, pero sí con el nítrico caliente, sea diluido o concentrado y otros oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ácido perclórico, etc. Es insoluble en agua pero muchos de sus compuestos lo son.

Es un elemento químico esencial para la vida aunque tanto el arsénico como sus compuestos son extremadamente venenosos.

### III. 7.4.2 APLICACIONES

El arsénico y sus compuestos son venenosos y han sido utilizado como fines homicidas a lo largo de la historia, principalmente en forma de anhídrido arsenioso (polvo blanco, insípido e inodoro llama do "polvo de sucesión", "rey de los venenos", etc.

Preservan te de la madera (arseniato de cobre y cromo), uso que representa, según algunas estimaciones, cerca del 70% del consumo mundial de arsénico.

El arseniuro de galio es un importante material semiconductor empleado en circuitos integrados más rápidos, y caros, que los de silicio. También se usa en la construcción de diodos láser y LED. También aditivo en aleaciones de plomo y latones.



El disulfuro de arsénico se usa como pigmento y en pirotecnia y decolorante en la fabricación del vidrio (trioxido de arsénico). Como elemento fertilizante en forma de mineral primario rico, para la agricultura.

Históricamente el arsénico se ha empleado con fines terapéuticos prácticamente abandonados por la medicina occidental aunque recientemente se ha renovado el interés por su uso como demuestra el caso del trióxido de arsénico para el tratamiento de pacientes con leucemia promielocítica aguda.

Actualmente el arsénico se usa comercial e industrialmente como un agente en la fabricación de transistores, láser y semiconductores, así como también en la fabricación de vidrio, textiles, papeles, adhesivos de metal, preservan tés de alimentos y madera, municiones (con el plomo permite la fabricación de perdigones), procesos de bronceado, disección de animales y conservación de pieles y en la industria de curtiduría y peletería. También se aplica en la elaboración de insecticidas, herbicidas, raticidas, fungicidas, etc., aunque cada vez se utiliza menos con estos fines.

### **III. 7.4.3 EFECTOS EN LA SALUD**

El arsénico y sus compuestos son extremadamente tóxicos, especialmente el arsénico inorgánico. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de Arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire. La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga Arsénico.



Los niveles de Arsénico en la comida son bastante bajos, no es añadido debido a su toxicidad, pero los niveles de Arsénico en peces y mariscos puede ser alta, porque los peces absorben Arsénico del agua donde viven. Por suerte esta es la forma mayormente de Arsénico orgánico menos dañina, pero peces que contienen significantes cantidades de Arsénico inorgánico pueden ser un peligro para la salud humana. También es un componente del tabaco y es altamente tóxico.

La exposición al Arsénico puede ser más alta para la gente que trabaja con Arsénico, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas que contienen conservantes de la madera y gente que viven en granjas donde el Arsénico de los pesticidas ha sido aplicado en el pasado.

La exposición al Arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significantes cantidades de Arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa.

A exposiciones muy altas de Arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el Arsénico inorgánico puede dañar el ADN. El Arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago. (14)



### III. 7.4.4 EFECTOS AMBIENTALES

El arsénico (As) es un metaloide que se encuentra como contaminante natural en muchos cursos de agua y napas de agua subterránea. También puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, y tierra a través de las tormentas de polvo.

El Arsénico es un componente que es extremadamente duro de convertir en productos soluble en agua o volátil. En realidad el Arsénico es naturalmente específicamente un compuesto móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico. Esto es una buena cosa, pero el punto negativo es que la contaminación por Arsénico llega a ser un tema amplio debido al fácil esparcimiento de este.

El Arsénico no se puede movilizar fácilmente cuando este es inmóvil. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y las fundiciones, naturalmente el Arsénico inmóvil se ha movilizado también y puede ahora ser encontrado en muchos lugares donde ellos no existían de forma natural.

El ciclo del Arsénico ha sido ampliado como consecuencia de la interferencia humana y debido a esto, grandes cantidades de Arsénico terminan en el Ambiente y en organismos vivos. El Arsénico es mayoritariamente emitido por las industrias productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura.

Este no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el Ambiente, así que las cantidades que hemos añadido pueden esparcirse y causar efectos sobre la salud de los humanos y los animales en muchas localizaciones sobre la tierra.



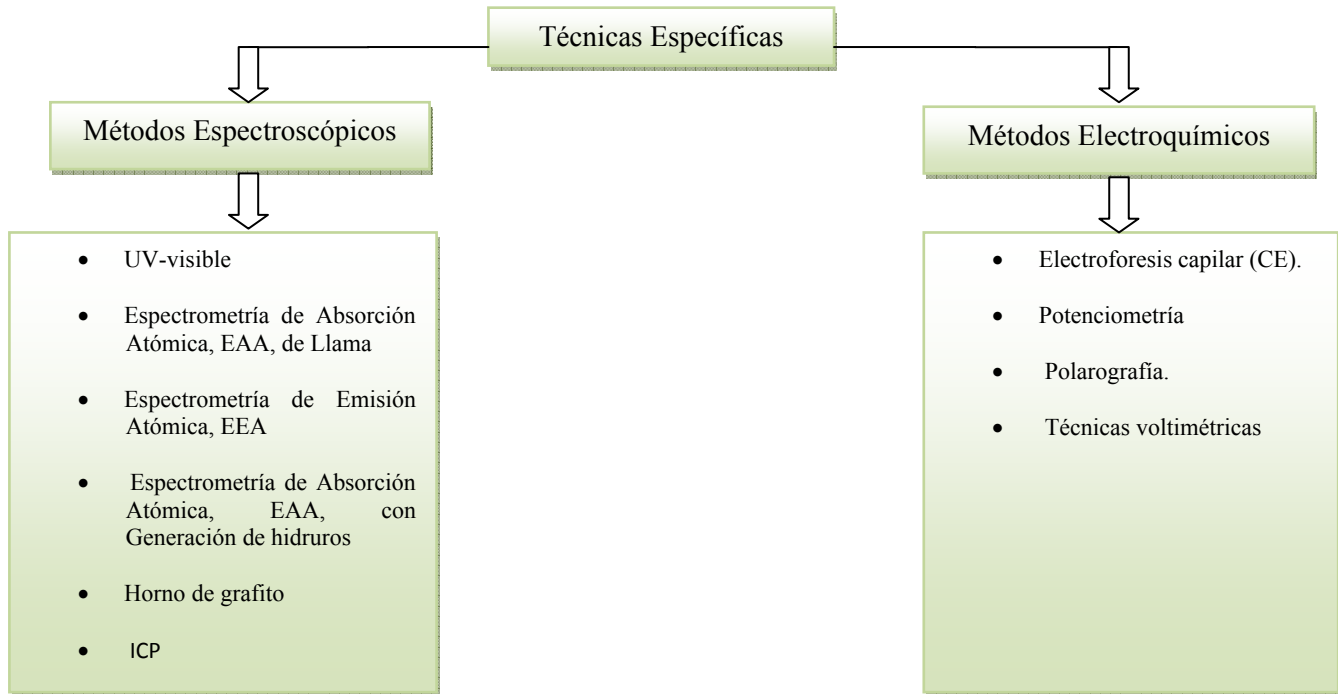
Las plantas absorben Arsénico bastante fácil, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso Arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Esto es mayormente causado por la acumulación de Arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de Arsénico y morirán como resultado del envenenamiento por Arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos.

### III. 8 TECNICAS ANALITICAS <sup>(15)</sup>

La especiación de iones metálicos en el medio ambiente es una tarea difícil, puesto que las concentraciones de metales pesados son generalmente muy bajas. Además, a veces, las propiedades físicas y químicas de dos o más especies pueden ser muy similares, lo cual hace aun más de la especiación un desafío.

La estabilidad de las especies depende de la matriz y los parámetros físicos, tales como Temperatura, humedad, rayos UV, materia orgánica, etc.

A continuación se explican los diferentes métodos analíticos que se usan para determinar la especiación de metales.



### III. 8.1 METODOS ESPECTROCOPICOS

- UV-visible: Pocas especies metálicas forman diferentes colores con ciertos ligandos y pueden ser especiadas por esta técnica espectroscópica.
- Espectrometría de Absorción Atómica, EAA, de Llama
- Espectrometría de Absorción Atómica, EAA, con Generación de hidruros: es uno de los métodos más ampliamente utilizados en la especiación de algunos metales. Por ejemplo, la especiación de arsénico se lleva a cabo determinando As (III) y el arsénico total, lo que se determina con la reducción de As (V) a As (III).
- Espectrometría de Absorción Atómica, EAA, Horno de grafito.
- Espectrometría de Absorción Atómica, EAA, ICP: implica el uso de plasma formado a alta T. Se pueden conseguir límites bajos de detección con ICP unido a la espectrometría de masa.



Cabe mencionar que métodos tales como AES y AAS unidos al sistema analítico de inyección de flujo (FIAS) dan resultados que son más precisos y exactos cuando sólo está presente en una forma de un elemento.

### III. 8.2 METODOS ELECTROQUIMICOS

- Electroforesis capilar (CE): tiene ciertas ventajas, tales como coste de funcionamiento barato, simplicidad, alta velocidad de análisis, mayor eficiencia de separación, única selectividad y alto grado de independencia de la matriz. Existen distintos tipos de CE: electroforesis de zona capilar (CZE), Isotachoforesis capilar (CIF), Electroforesis de gel capilar (CGE), Electroforesis capilar de afinidad (ACE). El más utilizado de éstos para la especiación de metales ha sido el modelo CZE.
- Potenciometría: La Potenciometría es una técnica electro analítica con la que se puede determinar la concentración de una especie electro activa en una disolución empleando un electrodo de referencia (un electrodo con un potencial conocido y constante con el tiempo) y un electrodo de trabajo (un electrodo sensible a la especie electro activa) y un potenciómetro.
- Polarografía: Capaz de detectar diferentes estados de oxidación de muchos iones metálicos.

### III. 8.3 ESPECTROMETRIA DE ABSORCION ATOMICA

En química analítica, la espectrometría de absorción atómica es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución.





Aunque la espectrometría de absorción atómica data del siglo XIX, la forma moderna fue desarrollada en gran medida durante la década de los 50 por un equipo de químicos de Australia, dirigidos por Alan Walsh. La técnica hace uso de la espectrometría de absorción para evaluar la concentración de un analito en una muestra. Se basa en gran medida en la ley de Beer-Lambert.

En resumen la espectrometría atómica, en términos generales, está basada en la absorción, emisión o fluorescencia por átomos o iones elementales. Hay dos regiones del espectro que dan información atómica: la ultravioleta/visible y la de rayos Donde los electrones de los átomos en el atomizador pueden ser promovidos a orbitales más altos por un instante mediante la absorción de una cantidad de energía (es decir, luz de una determinada longitud de onda). Esta cantidad de energía (o longitud de onda) se refiere específicamente a una transición de electrones en un elemento particular, y en general, cada longitud de onda corresponde a un solo elemento.

Como la cantidad de energía que se pone en la llama es conocida, y la cantidad restante en el otro lado (el detector) se puede medir, es posible, a partir de la ley de Beer-Lambert, calcular cuántas de estas transiciones tiene lugar, y así obtener una señal que es proporcional a la concentración del elemento que se mide.

### **III. 8.3.1 ESPECTROMETRIA DE ABSORCION ATOMICA DE LLAMA (FAAS)**

El espectrómetro de absorción atómica de llama (FAAS) permite la detección y determinación de metales en cualquier tipo de muestra industrial siempre y cuando pueda ser solubilizada. Los límites de detección en este caso son del orden de la ppm (partes por millón).



Esta técnica analítica está especialmente indicada para determinar elementos alcalinos, alcalinotérreos y metales pesados presentes en cualquier tipo de muestra susceptible de ser disuelta. Los niveles de concentración que se pueden analizar van desde % hasta ppb (partes por billón ó 1 mg/Tm).

La espectroscopia de absorción atómica con llama es el método más empleado para la determinación de metales en una amplia variedad de matrices que consiste en llevar a un estado de excitación a las moléculas de una solución acuosa mediante la aplicación de energía en forma térmica, por medio de una llama de una combinación oxígeno acetileno o bien de óxido nítrico acetileno, la muestra a alta temperatura se irradia con una luz a la longitud de onda a la cual el elemento en interés absorbe energía. Su popularidad se debe a su especificidad, sensibilidad y facilidad de operación. En este método la solución muestra es directamente aspirada a una llama de flujo laminar. La llama tiene como función generar átomos en su estado fundamental, de los elementos presentes en la solución muestra. Temperaturas cercanas a los 1,500–3,000°C son suficientes para producir la atomización de un gran número de elementos, los que absorberán parte de la radiación proveniente de la fuente luminosa.

Dependiendo de las disponibilidades de lámparas de cátodo hueco y de la naturaleza de las muestras, se pueden desarrollar metodologías de análisis que permiten la determinación, en un rango que va desde las ppm (mg/kg) a las ppb ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) de un gran número de elementos del sistema periódico:

Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hg, Ho, In, Ir, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nd, Ni, P, Pb, Pd, Pr, Pt, Rb, Rh, Ru, Sb, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Te, Ti, Tl, Tm, U, V, Y, Yb, Zn.



### III. 8.3.2 ESPECTROMETRIA DE ABSORCION ATOMICA DE HORNO DE GRAFITO (GFAAS)

Espectrometría de absorción atómica de horno de grafito (GFAAS) es también conocida como espectrometría de absorción atómica electro térmica (ETAAS). La técnica se basa en el hecho de que los átomos absorben la luz en las frecuencias o longitudes de onda característica del elemento de interés (de ahí el nombre). Dentro de ciertos límites, la cantidad de luz absorbida se puede correlacionar linealmente con la concentración de analito.

El espectrómetro de absorción atómica con cámara de grafito (GFAAS) permite trabajar con muestras de volumen muy reducido (inferior a 100  $\mu\text{L}$ ) o directamente sobre muestras orgánicas líquidas. Habitualmente se analizan muestras de material biológico de origen clínico (sangre, suero, orina, biopsias hepáticas, etc.). Por su elevada sensibilidad (niveles de ppb), la técnica se aplica en la detección de metales en productos de alta pureza, como por ejemplo fármacos, alimentos (peces y carne) y productos industriales, y también en aguas de bebida y de acuíferos (determinación de la presencia de Cu, Cd, Pb, As, Hg, etc.).

En GFAAS, las muestras se depositan en un tubo de grafito pequeño, que puede ser calentado para vaporizar y atomizar el analito. De la espectrometría de absorción atómica.

Un horno de grafito ideal debe cumplir los siguientes requisitos:

- Una temperatura constante en el tiempo y el espacio durante el intervalo en que los átomos libres se producen
- La formación de átomos cuantitativos independientemente de la composición de la muestra
- Control por separado de la volatilización y procesos de atomización
- Alta sensibilidad y buenos límites de detección; un mínimo de interferencias espectrales



La mayoría de disponibles en la actualidad están totalmente controlados desde un equipo personal que tiene un software compatible con Windows. Muestras acuosas debe ser acidificada (normalmente con ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ ) a un pH de 2,0 o menos.

Ventajas de los equipos de GFAAS:

- Muy buena detección de pequeños tamaños de la muestra
- Precio Moderado
- Instrumento muy compacto
- Pocas interferencias espectrales

Limitaciones de los equipos de GFAAS:

- Tiempo de análisis más lento
- Interferencias Químicas
- Limitaciones Elemento
- 1-6 elementos por determinación
- Rango dinámico Limitado

### **III. 9 GESTIÓN AMBIENTAL.**

Se denomina gestión ambiental o gestión del medio ambiente al conjunto de diligencias conducentes al manejo del sistema ambiental. Dicho de otro modo e incluyendo el concepto de desarrollo sostenible, es la estrategia mediante la cual se organizan las actividades antrópicas que afectan al ambiente, con el fin de lograr una adecuada calidad de vida,



previniendo o mitigando los problemas ambientales. (Manual de Gestión de Residuos en Laboratorios Ambientales Centro de Desarrollo Tecnológico Noviembre 2008).

La gestión ambiental responde al "cómo hay que hacer" para conseguir lo planteado por el desarrollo sostenible, es decir, para conseguir un equilibrio adecuado para el desarrollo económico, crecimiento de la población, uso racional de los recursos y protección y conservación del ambiente. Abarca un concepto integrador superior al del manejo ambiental: de esta forma no solo están las acciones a ejecutarse por la parte operativa, sino también las directrices, lineamientos y políticas formuladas desde los entes rectores, que terminan mediando la implementación.

### **III. 9.1 MANEJO GENERAL DE LOS (REPEL)**

El plan de manejo de los REPEL en los laboratorios de servicios e investigación del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNAN-LEON. Tiene como principal objetivo ser un instrumento de guía para el cumplimiento ambiental y normativo en materias de REPEL. Establecer medidas de manejo bajo un enfoque preventivo con el fin de controlar y minimizar los impactos ambientales que pudieran derivarse de un mal manejo de los REPEL que se generen en los laboratorios de servicios e investigación del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNAN-LEON.

Una estrategia conveniente para responder a este desafío es la puesta en marcha de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) que, sin restarle importancia a los demás aspectos ambientales, incluya el control de los riesgos e impactos asociados con los REPEL.

Un SGA son todas las operaciones a las que se someten un REPEL luego de su generación, incluyendo entre otras, su almacenamiento, transporte y eliminación. Siendo un conjunto

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



de herramientas de carácter administrativo, que permite coordinar y controlar los procesos, actividades o servicios a fin de minimizar el impacto adverso al ambiente.

El objetivo principal de un SGA es determinar qué los elementos se deben considerar en los laboratorios en materia de protección ambiental para asegurar que en el desarrollo de sus actividades se tiene en cuenta la prevención y la minimización de los efectos sobre el entorno. Se basan en la idea de integrar actuaciones potencialmente dispersas de protección ambiental en una estructura sólida y organizada, que garantice que se tiene en cuenta el control de las actividades y operaciones que podrían generar impactos ambientales significativos.

Si se requiere, un SGA puede ser validado o certificado bajo parámetros internacionales específicos. La BS7750, creada por el Instituto Británico de Normalización en 1992, fue la primera norma sobre sistemas de gestión ambiental. Luego, en 1994, la Comunidad Europea aprobó el Plan de Eco gestión y Auditoría Ambiental (EMAS); adicionalmente, en 1996, la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) creó la norma ISO 14001.

### **III. 9.2 GESTIÓN PARA MANEJO DE DESECHOS Y RESIDUOS PELIGROSOS EN EL LUGAR DE ORIGEN.**

- ❖ Recomendaciones generales.
- ❖ Almacenaje por períodos cortos.
- ❖ Defina estrategia: reutilización, reciclaje, tratamiento, o desecho.
- ❖ Si almacena en tambores o barriles, marque como “desecho peligroso”.
- ❖ Manténgalos en buenas condiciones, manéjelos con cuidado y reemplace los que presentan filtraciones o escapes.

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



- ❖ No almacene sustancias peligrosas en recipientes en que exista riesgo de ruptura, escape, corrosión u otra falla.
- ❖ Manténgalos cerrados excepto cuando se usen para llenar o vaciar.
- ❖ Inspeccione periódicamente por escapes o corrosión.
- ❖ Nunca almacene en el mismo recipiente sustancias que son incompatibles, esto es, que puedan generar incendios o reacción química incontrolable, o que produzcan descargas nocivas al medio ambiente.
- ❖ Establezca distancias y zonas de seguridad para desechos que contengan sustancias peligrosa inflamable o reactiva. Utilice la asistencia de un experto en medio ambiente o del Cuerpo de bomberos.
- ❖ Continúe con:
  - ❖ Tratamiento de desechos en el lugar.
  - ❖ Disposición de desechos en el lugar o
  - ❖ Transporte a sitio de desecho.

### **III. 9.3 PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS Y DESECHOS.**

Cuando no existe aún la posibilidad de cambio tecnológico para acceder a producción limpia, un esquema coherente de gestión ambiental para manejo de residuos sólidos y desechos peligrosos incluye los siguientes procesos en la jerarquía indicada. (Ref. Manual de Gestión de Residuos y Seguridad en Laboratorios Ambientales Centro de Desarrollo Tecnológico Noviembre 2008).

- ❖ Minimizar la generación de desechos y residuos (prioridad más alta) Reciclaje del material utilizado.
- ❖ Reutilización de los residuos.
- ❖ Tratamiento o destrucción.



- ❖ Disposición de los desechos (prioridad más baja).

### III. 10 MARCO LEGAL AMBIENTAL

El marco legal ambiental en Nicaragua se encuentra una norma técnica obligatoria para el manejo y eliminación de residuos sólidos peligrosos (NTON. 05-015-02).

La presente normativa será de obligatorio cumplimiento para todas las personas naturales y jurídicas que generen residuos sólidos peligrosos. Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos técnicos ambientales para el almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos peligrosos que se generen en actividades industriales, establecimientos que presten atención médica, tales como clínicas y hospitales, laboratorios clínicos, laboratorios de producción de agentes biológicos, de enseñanza y de investigación.

En México en el año 1988, se publica la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos y cuatro Normas Oficiales Mexicanas que establecen los requisitos que deben reunir los sitios para ubicar confinamientos controlados, así como las especificaciones para el diseño, construcción y operación de los mismos, revisadas en 1993 (NOM-055-SEMARNAT-93, NOM-056-SEMARNAT-93, NOM-057-SEMARNAT-93 y NOM-058-SEMARNAT-93), se establecieron las bases legales para el desarrollo del mercado de servicios de manejo de tales residuos.

La Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-93 (actualmente en revisión para su reforma), establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente. En dicha norma

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



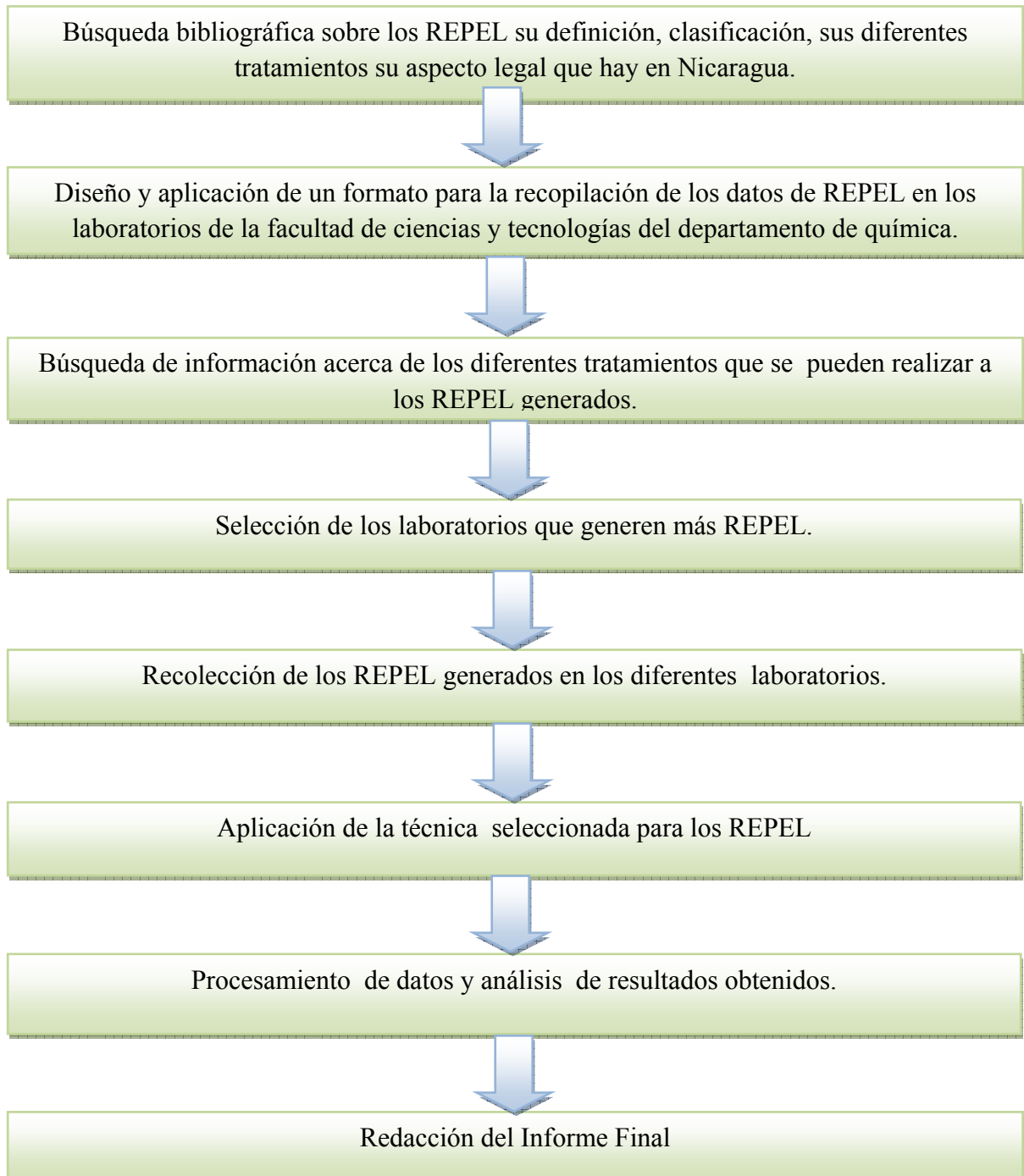


se plantea que; además de las características CRETIB, se tomará como base para determinar la peligrosidad de los residuos, el que éstos se encuentren comprendidos en los listados que se incluyen en los anexos de dicha norma y que permiten su clasificación de acuerdo con su origen o composición.

La Norma Oficial Mexicana (NOM-053-SEMARNAT-93), establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. (16)









## IV. METODOLOGIA




*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



## IV. 1 PASOS METODOLÓGICOS


1.  Se realiza una búsqueda bibliográfica acerca de:
  - Definiciones, clasificación y diferentes tratamientos
  - Leyes y normativas ambientales relacionadas con el manejo y eliminación de residuos sólidos peligrosos, en Nicaragua.
2.  Se elabora un formato mediante el cual se recopilan datos sobre los REPEL que generan los laboratorios de servicio e investigación del Departamento de Química, Facultad de Ciencias y Tecnología. Los datos obtenidos a través de este formato permiten la identificación y clasificación de los REPEL generados en cada laboratorio.
3.  De la información recabada en la bibliografía, se conocen diversos tratamientos que pueden aplicarse a los REPEL, especialmente a los de metales pesados.
4.  Se recolectan los residuos de metales pesados generados en los laboratorios del Laboratorio de Agua y Laboratorio de Suelo. Se homogenizaran las muestras obtenidas y se preservan con  $\text{HNO}_3$ .
5.  Se determina la concentración de cadmio, cobre, arsénico y plomo en los residuos líquidos homogenizados.
6.  Se elaboran los bloques de cemento, aplicando el siguiente procedimiento:
  - Se mezclan 3 bidones de arena con 1 bidón de cemento hasta homogenizarlo completamente.
  - Se agrega lentamente la solución acuosa acidificada que contienen los metales pesados.
  - Se mezcla uniformemente hasta tener una mezcla húmeda.
  - La mezcla obtenida es vertida en el molde para la elaboración del bloque (véase la figura anexo 3).



7.  Se comprueba la eficiencia de la técnica de inmovilización, midiendo la concentración de los metales estudiados en el lixiviado de los bloques, siete días después de su elaboración.

#### IV. 2 PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS BLOQUES

➤ SELECCIÓN DE MATERIALES:

1.  Arena
2.  Cemento
3.  Agua
4.  Molde metálico

➤ DOSIFICACION Y MEZCLADO:

Se prepara una mezcla en proporción de volumen

<b>Material</b>	<b>Proporción en volumen</b>
Cemento	Una parte
Arena	Tres partes
Agua (Solución que contiene los metales pesados)	Una parte



➤ MOLDEADO Y FRAGUADO:

Se procede a llenar el molde por capas conforme se va vibrando.

El vibrado se mantiene hasta observar una película de agua en la superficie.

El desmolde se realiza con cuidado sobre una superficie plana, evitando golpear la unidad

Evitar el manipuleo de los bloques.

➤ CURADO:

Se riegan con agua de grifo por un plazo mínimo de 7 días

➤ ALMACENADO:

Los bloques se mantienen secos y protegidos de la humedad.

## **IV. 3 PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE LA INMOVILIZACIÓN DE LOS METALES PESADOS**

### **IV. 3.1 Obtención del lixiviado de los bloques.**

Después de pasar los 7 días del curado, se aplicó el siguiente procedimiento:

- a) Se coloca cada bloque en un bidón de 20 litros y se le agrega lentamente agua hasta saturar el bloque.
- b) Se obtiene una mezcla compuesta por los lixiviados obtenidos de todos y cada uno de los bloques.
- c) El lixiviado obtenido es almacenado a una temperatura menor de 17 °C.
- d) El procedimiento de a) hasta c) se realiza 7 días seguidos.



#### **IV. 3.2 Aplicación del Método de Absorción Atómica de llama y horno de grafito para la medición de las concentraciones de metales pesados.**

##### **➤ IV. 3.2.1 INSTRUMENTACION**

Equipo de absorción atómica de última generación modelo ANALYST 800 de la firma PERKIN-ELMER cuyas características principales son:

- Doble sistema de atomización con intercambio totalmente automatizado:
- Mechero para atomización por llama.
- Horno de grafito para atomización electro térmica.
- Horno de grafito de calentamiento transversal con tecnología de estabilización de temperatura.
- Corrección de fondo por efecto Zeeman para la atomización electro térmica.
- Corrección de deuterio para la atomización por llama.
- Automuestreador.
- Detector de fotodiodos en fila segmentados.



➤ **IV. 3.2.2 MATERIALES Y REACTIVOS**

- Beaker 50 ml
- Bureta de 25 ml
- Micro pipeta de 1 ml
- Gotero
- Campana
- Papel toalla
- Guantes
- Pizeta
- Balón aforado de 10 ml
- Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ )
- Agua des ionizada

➤ **IV. 3.2.3 PREPARACION DE SOLUCIONES**

- Solución de Ácido nítrico al 1%

➤ **IV. 3.2.4 PREPARACION DEL ESTANDAR DE 10 ppm de Cd**

1. Se tomó 0.1 ml de la solución estándar de Cd de 1000 ppm
2. Luego se aforo en balón de 10 ml con agua des ionizada



➤ **IV. 3.2.5 CURVA DE CALIBRACION**

1. Para obtener el punto número uno de la curva de se mide con una micro pipeta 0.10 ml de la solución estándar de 10 ppm de Cd y se afora a 10 ml con agua des ionizada, para obtener una concentración de 0.10 ppm
3. El mismo procedimiento se aplica para obtener en total seis puntos con concentraciones 0.10, 0.20; 0.40; 0.60; 0.80; 1.0 ppm, respectivamente.

➤ **IV. 3.2.6 DILUCIÓN DE LA MUESTRA.**

1. Se toman 2 ml de la solución mezcla madre y se afora en balón de 10 ml con agua des ionizada para un factor de dilución igual a 5.

➤ **IV. 3.2.7 PREPARACION DE LAS SOLUCIONES ESTANDARES DE 50 ppb PARA As y Pb.**

1. Se toma 0.05 ml de una solución estándar de 100 ppb de As y Pb. Luego se afora en balón de 10 ml con agua des ionizada

➤ **IV. 3.2.8 DILUCIÓN DE LA MUESTRA.**

1. Se toman 10 ml de la mezcla madre y se afora en un balón de 100 ml para un factor de dilución de 1000.





## **V. RESULTADOS Y ANALISIS.**

### **V. 1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE RESIDUOS PELIGROSOS**

La información obtenida acerca de los Residuos Peligrosos, sirve de apoyo al desarrollo del estudio y es plasmada en el marco teórico del presente documento.

### **V. 2 DISEÑO, ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE UN FORMATO PARA LA RECOPIACIÓN DE LOS DATOS DE REPEL**

Se elaboró un formato y haciendo uso del mismo, se recopiló la información necesaria para obtener el conocimiento acerca de los (REPEL) generados en los laboratorios del Departamento de Química de la Facultad Ciencias y Tecnología.



**Código: 01**

*Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua- LEON  
Facultad de Ciencias y Tecnología  
Departamento de Química*

FORMATO PARA LA  
RECOLECCIÓN DE LOS REPEL

Fecha							
Generador							
Responsable			Cargo.		Tel.		Email.
Residuos			Cantidad	Unidad de medida	Tratamiento que se aplica	Frecuencia con que se realiza el tratamiento	Disposición final de los REPEL
Nombre	Estado Físico *	Propiedades *					

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



✓ Información adicional donde se generan los REPEL:

---

✓ Observaciones:

---

**S:** Solido    **L:** Liquido    **G:** Gaseoso    **H:** heterogéneo (sólido y líquido)    **C:** corrosivo  
**R:** reactivo    **E:** explosivo    **T:** toxico    **I:** inflamable    **B:** biologico infeccioso.

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



El formato fue aplicado a cuatro laboratorios:

- Laboratorio de Suelo
- Laboratorio de Agua
- Laboratorio de Metales Pesados
- Laboratorio de Técnicas de Separación

La información obtenida a través de la aplicación de los formatos, se describe a continuación:

- ❖ En todos los laboratorios se almacenan:
  - a. Ácidos: ( $H_2SO_4$ , HCl)
  - b. Bases: (NaOH)
  - c. Metales Pesados: (Cd, Cu, As, Pb, Hg)
- ❖ En los laboratorios implementan el tratamiento de neutralización con los ácidos y bases, luego desechándolos a la tubería de desagüe para no producir un fuerte impacto negativo al medio ambiente.
- ❖ Dentro de los REPEL de metales pesados estaban disueltos As, Cu, Pb, As en una solución acuosa acidificada.



### **V. 3 INFORMACIÓN OBTENIDA ACERCA DE TRATAMIENTOS QUE SE PUEDEN APLICAR A LOS REPEL**

#### **V. 3.1 Tratamiento Biológico**

Son tratamiento que destruyen la materia organica biodegradable presente en un agua residual mediante el empleo de microorganismo, en presencia o ausencia de oxigeno, con unas determinadas condiciones de temperatura y pH. Estas materias de tipo organico absorben una cierta cantidad de oxigeno de forma natural, debido a los procesos quimicos o biologicos de oxidacion que se producen en el seno del agua.

#### **V. 3.2 Tratamiento Térmico**

Tratamientos térmicos cobran especial importancia, contemplan la incineración como tratamiento de “solución final” de residuos no-reciclables; es decir, después de haber sido el residuo sometido a minimización (reducción y recuperación de componentes valiosos). Puede darse una definición, como “un proceso controlado que utiliza la combustión para convertir un residuo en otro material de menor volumen, menos tóxico o menos nocivo”. Sus productos son mayoritariamente CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y cenizas, pero existen otros productos minoritarios que son los más preocupantes, fundamentalmente, productos que contienen nitrógeno, azufre y halógenos.



### V. 3.3 Tratamiento Fisico-Quimico

El tratamiento fisico-químico puede constituir una única etapa dentro del tratamiento del agua residual o bien puede interponerse como proceso de depuración complementario entre el pre tratamiento y el tratamiento biológico.

En cualquiera de los dos casos, el vertido procedente del pre tratamiento es sometido a las distintas fases de depuración fisico-químicas:

- Coagulación
- Coadyuvacion
- Flocculación.

El proceso de **coagulación** se efectúa en un sistema que permita una mezcla rápida y homogénea del producto coagulante con el agua residual, llamado mezclador rápido o coagulador. Consiste en una cámara de mezcla provista de un sistema de agitación que puede ser del tipo de hélice o turbina.

El tiempo de retención es de 0,3 a 5 minutos.

El reactivo (coagulante) se almacena en un depósito específico que puede ser de material diverso como PRFV, polietileno, metálico con imprimación, etc.



El coagulante debe ser dosificado al vertido en forma de disolución; a una concentración determinada. En algunos casos, el reactivo se recibe en la planta disuelta y se almacena en los depósitos. Otras veces se recibe en estado sólido, en cuyo caso, el tanque utilizado para su almacenamiento debe estar provisto de un sistema de agitación para la preparación de la disolución.

El transporte del producto desde el depósito de almacenamiento hasta la cámara de mezcla se lleva a cabo mediante una bomba dosificadora.

La **coadyuvación** tiene como finalidad llevar el vertido a un pH óptimo para ser tratado. Para ello se utilizan ciertos productos químicos llamados coadyuvantes o ayudantes de coagulación. Este proceso tiene lugar en la misma cámara donde se realiza la coagulación.

Como en el caso del coagulante, el coadyuvante se prepara en un dispositivo aparte provisto de un sistema de agitación. Igualmente, para la adición del reactivo al agua residual se emplea una bomba dosificadora.

El vertido, una vez coagulado, pasara a la siguiente etapa, denominada floculación. En dicha etapa, se le añade al agua un producto químico llamado floculante (poli electrolito), cuya función fundamental es favorecer la agregación de las partículas individuales o floculo formado durante la coagulación. Se originan floculo de mayor tamaño, los cuales, debido a su aumento de peso, decantaran en la última etapa del tratamiento físico-químico.

La **floculación** puede tener lugar en un floculador separado o bien en el interior de un decantador. Los floculadores son depósitos provistos de sistemas de agitación que giran con relativa lentitud para no romper los flóculos formados durante la coagulación. El tiempo de retención en estos sistemas suele ser de 10 a 30 minutos.



Los sistemas de agitación pueden estar constituidos por hélices o por un conjunto de palas fijadas sobre un eje giratorio horizontal o vertical.

Otra posibilidad es realizar el proceso de coagulación-floculación y decantación en una sola unidad. En este caso, el decantador lleva incorporado un sistema de recirculación de fangos para mejorar el crecimiento de las partículas y facilitar su sedimentación.

La dosificación de poli electrolito también se hace en forma de disolución, debido a las características propias del reactivo (alta viscosidad), su preparación requiere un especial cuidado.

El depósito de almacenamiento de poli electrolito deberá disponer de un agitador para poder proceder a su acondicionamiento. La aplicación del reactivo al agua se realiza mediante una bomba especial para este tipo de producto. Se suele utilizar una bomba de desplazamiento y caudal variable, por ejemplo, una bomba tipo mono, de engranaje, pistón, etc.

### **V. 3.4 Tratamiento de Solidificación/Estabilización**

La solidificación comprende las técnicas que encapsulan el residuo en un sólido monolítico de alta integridad estructural. Esta encapsulación puede ser de finas partículas de residuo lo cual se denomina micro encapsulación, o de un gran bloque o un envase de residuos, denominándose entonces macro encapsulación.

La solidificación no implica necesariamente una interacción química entre los residuos y los agentes solidificantes, pero si puede suponer el enlace mecánico de los residuos dentro de la masa monolítica. La migración de las sustancias contaminantes se reduce a causa de la gran disminución de la superficie expuesta a la lixiviación, así como por el aislamiento de





los residuos en el interior de cápsulas impermeables. La estabilización, por el contrario, se refiere a aquellas técnicas que reducen el peligro potencial del residuo mediante el paso de sus elementos contaminantes a formas de menor movilidad, solubilidad o toxicidad.

La estabilización del residuo no cambia necesariamente su estado físico ni la forma de manipulación del mismo. El principal objetivo de estos procedimientos es convertir el residuo en una masa inerte, físicamente estable, con baja lixiviabilidad y con la suficiente resistencia mecánica como para permitir su disposición en tierra.

#### **V. 4 RECOLECCIÓN DE LOS REPEL GENERADOS EN LOS DIFERENTES LABORATORIOS.**

Se seleccionaron los laboratorios de Agua y Suelo debido a que las aguas residuales generadas que contenían metales pesados no se les practicaban ningún tratamiento.

Los residuos líquidos de metales pesados eran acidificados y guardados dentro del mismo laboratorio a temperatura ambiente. Estaban contenidos en recipientes de vidrio aproximadamente de 4 litros y en total se recolectaron aproximadamente 15 litros en el Laboratorio de Suelo y 25 litros del Laboratorio de Agua.

Luego de obtener los REPEL de metales pesados fueron llevados a otro sitio para practicar el tratamiento de Solidificación/Estabilización.

#### **V.5 APLICACIÓN DE LA TÉCNICA SELECCIONADA PARA LA INMOVILIZACIÓN DE LOS METALES PESADOS.**

Del procedimiento aplicado se obtuvo como resultado 14 bloques con las siguientes dimensiones 16 x 8 x 4 pulgadas.

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGÍA, UNAN- LEÓN”*



Es importante destacar que en el proceso de elaboración de los bloques, en vez de utilizar agua, se incorpora a la mezcla de arena y cemento, la solución residual de los laboratorios que contiene los metales Cadmio, Cobre, Plomo y Arsénico.

Para conocer la eficiencia del proceso de inmovilización de los metales pesados en los 14 bloques, se obtiene el lixiviado de 7 días de contacto de los bloques con agua de grifo. Una vez mezclados y homogenizados los lixiviados obtenidos cada día para obtener una sola muestra compuesta, se toman 100 ml de la misma. se preservan con ácido nítrico al 1% y se guardan en un envase perfectamente limpio y se mantiene a una temperatura menor de 17°C.

Se determina la concentración de los metales pesados en la muestra de los lixiviados obtenidos previamente obtenida, preservada y guardada, aplicando la técnica de Absorción Atómica de llama para cobre y cadmio y de horno de grafito para plomo y arsénico.

En las siguientes tablas se presentan los resultados de las determinaciones analíticas realizadas. Las curvas de calibración y los detalles de las determinaciones de cada uno de los metales en las diferentes muestras se presentan en ANEXO 2.



**V. 6 Tabla.N°1: Resultados del lixiviado de cadmio y cobre mediante la técnica analítica de espectrofotometría de absorción atómica de llama.**

Nombre del metal	Nombre de la muestra	Concentración de la muestra	Unidad de concentración	% de fijación del metal
Cadmio	Muestra inicial	0.041	mg/L	
	DIA 1	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 2	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 3	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 4	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 5	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 6	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 7	< LD	mg/L	≅ 100
Cobre	Muestra inicial	0.258	mg/L	
	DIA 1	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 2	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 3	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 4	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 5	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 6	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 7	< LD	mg/L	≅ 100

Límite de detección del cobre (LD):1.33944461ppm.

Límite de detección del cadmio (LD):0.018ppm.

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



**V. 7 Tabla No 2: Resultados del lixiviado de plomo y arsénico mediante la técnica analítica de espectrofotometría de absorción atómica de horno de grafito.**

Nombre del metal	Nombre de la muestra	Concentración de la muestra	Unidad de concentración	% de fijación
Plomo	Muestra inicial	0.01056	mg/L	
	DIA 1	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 2	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 3	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 4	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 5	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 6	< LD	mg/L	≅ 100
	DIA 7	< LD	mg/L	≅ 100
Arsénico	Muestra inicial	0.03874	mg/L	
	DIA 1	0.00775	mg/L	79.99
	DIA 2	0.00890	mg/L	77.03
	DIA 3	0.01280	mg/L	66.96
	DIA 4	0.00731	mg/L	81.13
	DIA 5	0.00882	mg/L	77.23
	DIA 6	0.00805	mg/L	79.22
	DIA 7	0.01160	mg/L	70.06

Límite de detección del arsénico (LD):0.0037ppm.

Límite de detección del plomo (LD): 0.0028ppm.



En los resultados presentados en las tablas se puede observar que la técnica de solidificación/estabilización aplicada resulta eficiente para los metales cadmio, cobre y plomo, ya que la concentración de estos mismos metales en los lixiviados resultó ser menor que el límite de detección del método aplicado en cada caso.

Para el caso del arsénico se logra inmovilizar en los bloques, durante los siete días, un promedio de 76 % de la concentración inicial. Probablemente esto sea debido a que las soluciones de metales provenientes de los laboratorios de Agua y Suelo son preservadas en medio ácido y estas soluciones eran incorporadas en el proceso de elaboración de los bloques tal como se recolectaban en los laboratorios, sin tratamiento previo de neutralización.

La precipitación de las sales poco solubles de arsénico se favorecen en medio alcalino, por lo tanto, el proceso de solidificación/estabilización se esperaría sea más eficiente a pH alcalino.



## VI. CONCLUSIONES.

De acuerdo con el objetivo inicialmente propuesto y los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En Nicaragua es urgente trabajar en función de una correcta gestión de residuos peligrosos proveniente de los laboratorios de enseñanza, investigación y servicio implementando procedimientos de acuerdo a los avances científicos y técnicos que se están realizando en este campo.
- El marco regulatorio en materia de REPEL en Nicaragua es muy deficiente.
- En la actualidad se carece de empresas que se dediquen a la gestión de residuos peligrosos, incluyendo recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los REPEL.
- La aplicación de la tecnología de estabilización/solidificación en aguas residuales provenientes de los desechos del Laboratorio de Agua y el Laboratorio de Suelo de la UNAN-León resultó ser eficiente para los metales cobre, plomo, cadmio.
- Para la inmovilización del arsénico por medio de esta técnica, se logra eliminar un promedio del 76 % de la concentración inicial; haciendo falta realizar las modificaciones necesarias en el proceso para mejorar la eficiencia en la tecnología de solidificación/estabilización; esta modificación podría ser la alcalinización de los residuos antes de incorporar la solución a la mezcla para elaborar los bloques de cemento y arena.



## VII. RECOMENDACIONES

1. Que la UNAN-León tome las iniciativas para proponer una adecuada normativa nacional de gestión de residuos peligrosos provenientes de los laboratorios.
2. Continuar desarrollando trabajos enfocados hacia una correcta gestión de residuos peligrosos en todos los laboratorios de la UNAN-León.
3. Dar seguimiento a los resultados obtenidos en el presente trabajo, validando y llevando a la práctica la técnica de inmovilización de metales pesados, haciendo las adecuaciones necesarias para su correcta implementación. En este sentido se recomienda alcalinizar los residuos antes de incorporarlos a la mezcla de arena y cemento para mejorar la inmovilización del arsénico.
4. Se recomienda que en estudios posteriores se sometan los bloques a pruebas físicas, como dureza, resistencia a la compresión y permeabilidad; de manera que puedan plantearse alternativas de uso de los nuevos materiales (bloques).
5. Describir el procedimiento que se realiza para la reutilización del mercurio en el laboratorio de metales pesado



### VIII. BIBLIOGRAFIA.

1. <http://www.slideshare.net/yerga/residuos-quimicos-en-un-laboratorio>. (introducción)
2. [http://www.vracad.usb.ve/sites/default/files/documentos/avances\\_manejo\\_matpel.pdf](http://www.vracad.usb.ve/sites/default/files/documentos/avances_manejo_matpel.pdf)( historia)
3. <http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/9e314815a08d4a6206257265005d21f9/f124ab4e19e485950625728a005c2c3f?OpenDocument> (el MANEJO Y ELIMINACION DE RESIDUOS SOLIDOS PELIGROSOS)
4. <http://www.areaciencias.com/basura-y-residuos.htm>.
5. <http://www.ihobe.net/documentos/imagenpaginas/000-RNP.pdf>
6. [http://binational.pharmacy.arizona.edu/sites/binational.pharmacy.arizona.edu/files/all\\_files//Residuos\\_Peligrosos.pdf](http://binational.pharmacy.arizona.edu/sites/binational.pharmacy.arizona.edu/files/all_files//Residuos_Peligrosos.pdf)
7. <http://clubensayos.com/Temas-Variados/Codigo-Cretib/579806.html>
8. [http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_aguas\\_residuales/Versi%C3%B3n\\_para\\_imprimir](http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Versi%C3%B3n_para_imprimir).
9. [http://www.epa.gov/superfund/action/spanish/pdfs/es\\_solid\\_stab.pdf](http://www.epa.gov/superfund/action/spanish/pdfs/es_solid_stab.pdf)
10. [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales\\_pesados.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.aspx)
11. <http://www.monografias.com/trabajos28/cadmio-toxico-encubierto/cadmio-toxico-encubierto.shtml>
12. <http://www.monografias.com/trabajos13/tramat/tramat.shtml>
13. <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/content/el-plomo-y-la-salud>
14. [http://es.wikipedia.org/wiki/Intoxicaci%C3%B3n\\_por\\_ars%C3%A9nico](http://es.wikipedia.org/wiki/Intoxicaci%C3%B3n_por_ars%C3%A9nico)
15. [http://www.uma.es/investigadores/servinv/LabEA/tec\\_analiticas/tec\\_analiticas.html](http://www.uma.es/investigadores/servinv/LabEA/tec_analiticas/tec_analiticas.html)
16. <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/materialesactividades/Paginas/ResPel.aspx>





## ANEXO 1:

Formatos recolectados con la información acerca de los REPEL generados en los laboratorios de servicios e investigación del departamento de Química, Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNAN-LEON

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua- LEON  
 Facultad de Ciencias y Tecnología  
 Departamento de Química



FORMATO PARA LA  
 RECOLECCIÓN DE LOS REPEL

Fecha		14 de febrero del 2013.		Generador		Laboratorio de Tenia de Separación		Responsable		Mara Enahtio Soto Serna	
Nombre		Estado Físico	Propiedades	Cantidad	Unidad de medida	Tratamiento que se aplica	Frecuencia con que se realiza el tratamiento	Disposición final de los REPEL			
Aridos (1)		L	C,	5	L	-	-	Almacenamiento			
Metales: plomo, cadmio		L	Y Y	2	L	-	-	Almacenamiento			
Hidruro		L	Y	3	L	Re-hidratación	-	Almacenamiento			
Bases (OH) No. X		L	E	4	L	-	-	Almacenamiento			
Alcohol		L	I	2 1/2	L	-	-	Almacenamiento			





✓ Información adicional donde se generan los REPEL:

Las botellas son rotuladas y se almacenan siempre. Siempre se usa lo fecha de seguridad si puede perjudicar el medio ambiente si almacenar. El fixano si ridículo y lo utiliza para otros temas. Pero como un tiempo de Jane aproximadamente.

✓ Observaciones:

- Se nombran generalmente acrílico porque todas las cosas desechadas son almacenadas en la misma botella, igual los pesos, desechos, vidrios.
- El lugar de almacenamiento de los residuos no es adecuado, por lo tanto perjudicial para el personal de lab. y el medio ambiente.

SUBESTANDA: El departamento de Química de la UNAN-León desea de tener un lugar donde se almacenen estos residuos, que puedan tener propiedades más nuevas con el pasar de los años.

- S: Sólido      L: Líquido      G: Gaseoso      H: heterogéneo (sólido y líquido)
- C: corrosivo      R: reactivo      E: explosivo      T: tóxico      I: inflamable      B: biológico infeccioso.



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - LEON  
Facultad de Ciencias y Tecnología  
Departamento de Química



FORMATO PARA LA  
RECOLECCIÓN DE LOS REPEL

Fecha		11-02-13		Laboratorio de Suelo.							
Generador		Cecilia Alvarado Delgado		Cargos. tecn. docente en el		Tel.		-		Email. <a href="mailto:anarbalmar@alvarado.com">anarbalmar@alvarado.com</a>	
Residuos		Propiedades		Cantidad		Unidad de medida		Tratamiento que se aplica		Frecuencia con que se realiza el tratamiento	
Nombre		Estado Físico									
Acidos (HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Peróxido de hidrogeno acido oxalofosforico)		L		20		L		Neutraliza		-	
Metales (Pb, As)		L		15		L		-		-	
bolsas (vaat)		L		4.5		L		Neutraliza		-	
Metales (Sales, acidos, nitratos de sodio y potasa organico).		L		4		gobores		-		-	
										Almacén en medio.	
										Almacén en medio. Desechados. Almacén en medio. Almacén Desechados	

“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”



✓ Información adicional donde se generan los REPEL:

cuando hay una cantidad similar al del ácido que hay de las bases se hace el tratamiento de neutralizado, claro preferiblemente más bases. y luego se desechan.

✓ Observaciones: Fíjese al lugar de donde guardan los REPEL no es adecuado ya que se debe a que no hay un lugar adecuado para su almacenamiento, y pueda ser perjudicial para el personal del lab y para el medio ambiente.

- Sugerencias: soliciten un lugar adecuado para guardar todos los REPEL generados en dicho laboratorio.
- S: Sólido
  - L: Líquido
  - G: Gaseoso
  - H: heterogéneo (sólido y líquido)
  - C: corrosivo
  - R: reactivo
  - E: explosivo
  - T: tóxico
  - I: inflamable
  - B: biológico infeccioso.



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua- LEON  
Facultad de Ciencias y Tecnología  
Departamento de Química

Código: 03

FORMATO PARA LA  
RECOLECCIÓN DE LOS REPEL

Fecha		11 de Junio del 2013							
Generador		Laboratorio de Analisis de Trazo de metales pesados							
Responsable		Gino Solorzano							
Residuos		Propiedades		Carga.		Tel.		Email.	
Nombre	Estado Físico	Cantidad	Unidad de medida	Tratamiento que se aplica	Frecuencia con que se realiza el tratamiento	Disposicion final de los REPEL			
Alambres (Así, ardores) Nitro	L	21/2	L	Multiplicacion	una vez por semana	-			
Nitro	L	500	ml	lavado de autoclave con agua engargada con NaOH	una vez por semana	Multiplicar			

“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”



✓ Información adicional donde se generan los REPEL:

Los residuos de arriba se arrojan en una misma botella, igual que los bras quemados se arrojan en una botella diferente a neutralizaba.

✓ Observaciones:

Los líquidos que se acumulan los residuos no se arrojan, ya que debido a esto pueden causar accidentes tanto al personal como medio ambiente.

- S: Sólido      L: Líquido      G: Gaseoso      H: heterogéneo (sólido y líquido)
- C: corrosivo    R: reactivo    E: explosivo    T: tóxico    I: inflamable    B: biológico infeccioso.



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - LEON  
Facultad de Ciencias y Tecnología  
Departamento de Química

Código: 04

FORMATO PARA LA  
RECOLECCIÓN DE LOS REPEL

Fecha	07-02-13						
Generador	(L.A.A) Laboratorio de Analisis de Agua						
Responsable	Amelia Carrasco						
Residuos			Carga.		Tel.	Email.	
Nombre	Estado Físico	Propiedades	Cantidad	Unidad de medida	Tratamiento que se aplica	Frecuencia con que se realiza el tratamiento	Disposicion final de los REPEL
Metales (As, Pb, Cu, Cd)	Líquido	T	25 litros	litros	NA (Almacenado)	NA	Almacenamiento
Tenaf	líquido	T	5 "	litros	NA	NA	Almacenamiento
Acidos y Bases	líquidos	Q	20 "	litros	Neutralización	siempre	eliminación
solventes (Hexano) organicos	líquido	I, T	10 "	litros	Reducción	siempre	Reducción

“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”





✓ Información adicional donde se generan los REPEL:

Generados en laboratorios de Servicios (LAA)

✓ Observaciones:

**S:** Sólido    **L:** Líquido    **G:** Gaseoso    **H:** heterogéneo (sólido y líquido)  
**C:** corrosivo    **R:** reactivo    **E:** explosivo    **T:** tóxico    **I:** inflamable    **B:** biológico infeccioso.



## ANEXO 2:

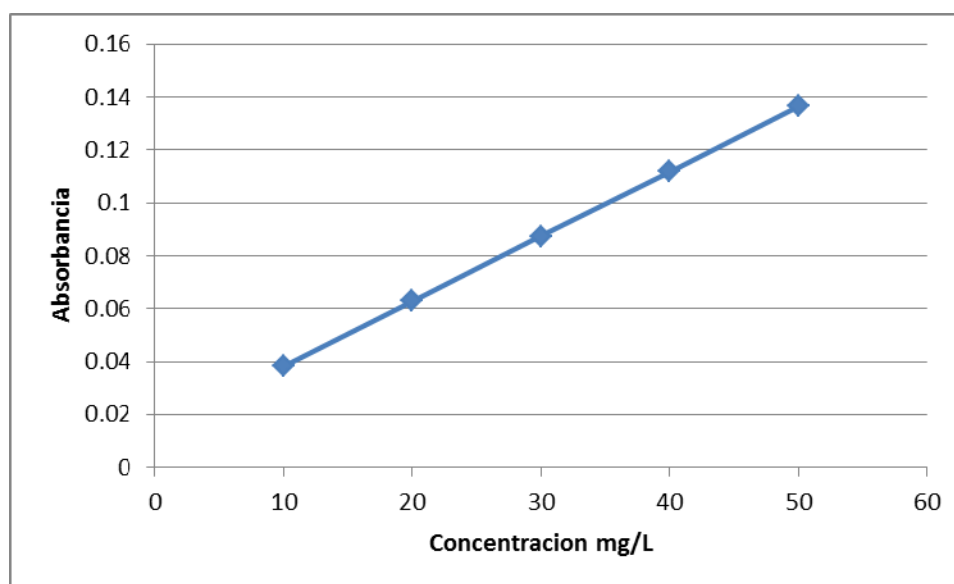
Datos de las Curvas de Calibración de los metales pesados de As, Pb, Cd y Cu.



### Datos de la curva de calibración de arsénico(As) ppm

Concentración	Absorbancia	Absorbancia corregida	
10	0.0355	0.0382	7.29E-06
20	0.0672	0.06276	1.97E-05
30	0.0866	0.08732	5.18E-07
40	0.1108	0.11188	1.17E-06
50	0.1365	0.13644	3.60E-09
a	0.01364	N	5
b	0.002456	Suma	2.87E-05
r	0.99763011	residual	0.00309257
r <sup>2</sup>	0.99526584		
Y	0.02292		
LD	0.0037 ppm		
Y	4.5E-02		
LC	12.5919045		

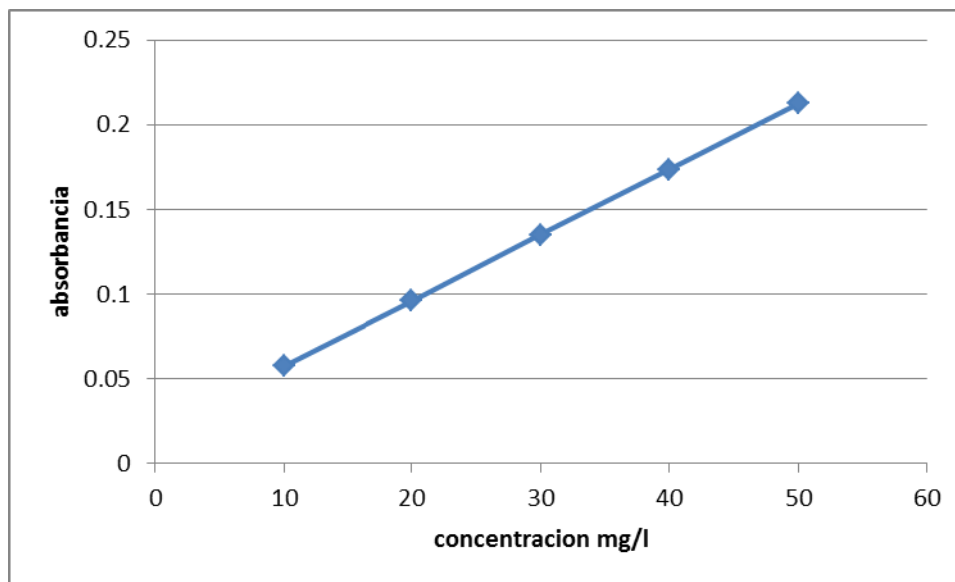
### Curva de Calibración de Arsénico.



*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*

**Datos de la curva de calibración del plomo (Pb) ppm.**

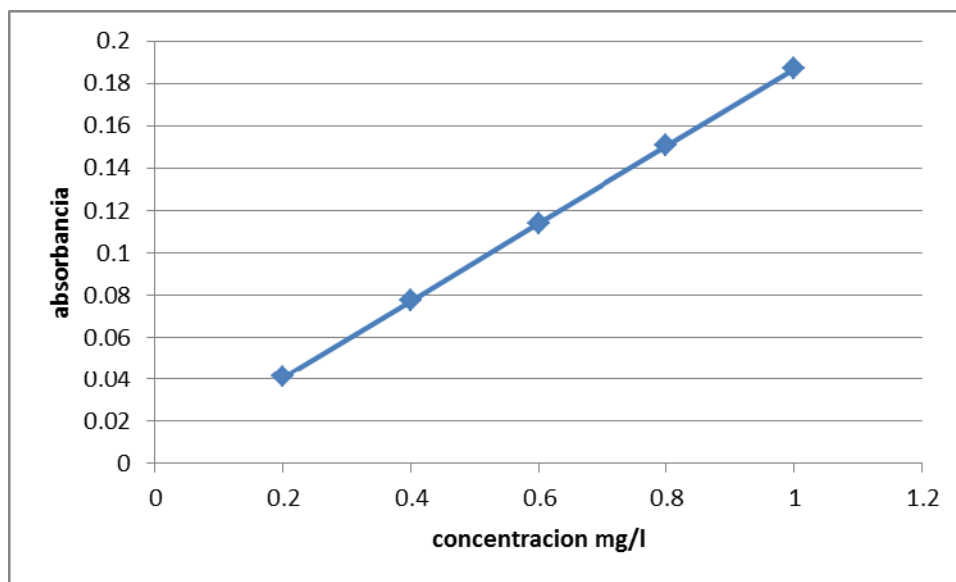
Concentración	Absorbancia	Absorbancia corregida	
10	0.0562	0.05738	1.39E-06
20	0.0943	0.09613	3.35E-06
30	0.1385	0.13488	1.31E-05
40	0.1766	0.17363	8.82E-06
50	0.2088	0.21238	1.28E-05
a	0.01863	N	5
b	0.003875	Suma	3.95E-05
r	0.99868786	residual	0.00362781
r <sup>2</sup>	0.99737743		
Y	0.02951		
LD	0.0028ppm		
Y	5.5E-02		
LC	9.3620884		

**Curva de calibración de Plomo.**

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*

**Datos de curva de calibración del Cadmio (Cd) ppm.**

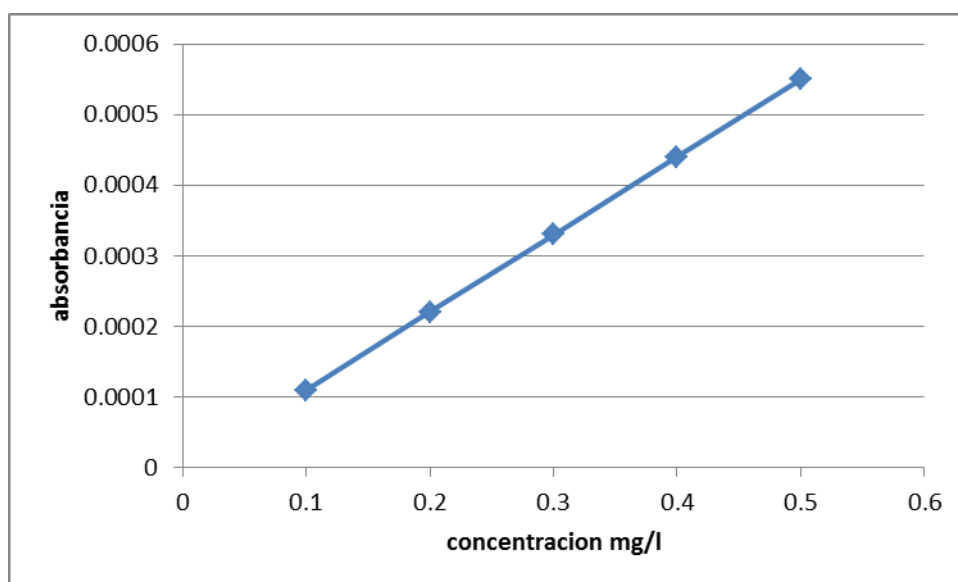
Concentración	Absorbancia	Absorbancia corregida	
0.2	0.0411	0.04096	1.96E-08
0.4	0.0775	0.07748	4.00E-10
0.6	0.1145	0.114	2.50E-07
0.8	0.1489	0.15052	2.62E-06
1.0	0.1880	0.18704	9.22E-07
a	0.00444	N	5
b	0.1826	Suma	3.82E-06
r	0.99985697	residual	0.00112783
r <sup>2</sup>	0.99971396		
Y	0.00782		
LD	0.018ppm		
Y	1.6E-02		
LC	0.06176505		

**Curva de Calibración de Cadmio.**

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*

**Datos de la curva de calibración del Cobre (Cu) ppm.**

Concentración	Absorbancia	Absorbancia corregida	
0,1	0,0058	0,00011	3,2376E-05
0,2	0,01	0,00022	9,5648E-05
0,3	0,0144	0,00033	0,00019796
0,4	0,019	0,00044	0,00034447
0,5	0,0238	0,00055	0,00054056
a	0,00110	N	5
b	0,04500	Suma	0,00121103
r <sup>2</sup>	0,99930912	residual	0,02009167
Y	0,06137501		
LD	1,33944461		

**Curva de Calibración de Cobre.**

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*

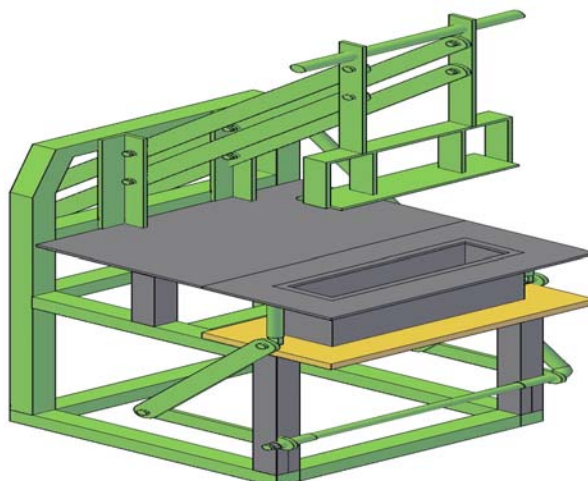


## ANEXO 3:

Imágenes del proceso de elaboración del Tratamiento de  
Solidificación/Estabilización

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS  
LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD  
CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



**Figura 1. DEL MODELO UTILIZADO PARA LA REALIZACION DEL BLOQUE.**



**Figura.2. RESIDUOS PELIGROSOS QUE CONTIENEN METALES PESADOS DE Cd;  
Cu; Pb; As.**

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*





**Figura 3. MEZCLA HOMOGENIZADA DE ARENA Y CEMENTO.**



**Figura 4. MEZCLA HOMOGENIZADA DE SOLUCIÓN DE METALES PESADOS,  
ARENA Y CEMENTO.**

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS  
LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD  
CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*



**Figura.5. AÑADIENDO LA MEZCLA EN EL MOLDE METALICO DE BLOQUE**



**Figura 6. BLOQUES FORMADOS CON RESIDUOS PELIGROSOS QUE CONTENIAN METALES PESADOS DE Cd; Cu; Pb; As.**

---

*“SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS GENERADOS COMO RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE SERVICIOS E INVESTIGACIÓN, DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA, FACULTAD CIENCIAS Y TECNOLOGIA, UNAN- LEON”*