



UASLP
Universidad Autónoma
de San Luis Potosí



AGENDA
AMBIENTAL



GUÍA DE TRATAMIENTO DE SUSTANCIAS Y MATERIALES REGULADOS

Elaboró:

Jessica Alejandra Martínez Guzmán
Becaria del Sistema de Gestión Ambiental de la Agenda Ambiental de la UASLP

Contenido

1.	INTRODUCCION	3
1.1	OBJETIVOS	4
2.	CONSIDERACIONES PREVIAS.....	5
3.	TRATAMIENTO DE RESIDUOS.....	6
3.1	DILUCIÓN.....	7
3.1.1	DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE DILUCIÓN	7
3.2	EVAPORACIÓN	9
3.3	NEUTRALIZACIÓN	10
3.3.1	INDICADORES ÁCIDO-BASE	10
3.3.2	PROCEDIMIENTO DE NEUTRALIZACIÓN DE ÁCIDOS	11
3.3.3	PROCEDIMIENTO DE NEUTRALIZACIÓN DE BASES	12
3.4	PRECIPITACIÓN.....	13
4	TRATAMIENTOS ESPECIFICOS.....	15
4.1	ELECTROFORESIS.....	16
5	RESIDUOS QUIMICOS DESCONOCIDOS.....	17
5.1	PRUEBAS QUIMICAS A REALIZAR EN QUIMICOS DESCONOCIDOS	17
	SOLUBILIDAD EN AGUA:	19
	PRESENCIA DE PERÓXIDOS	19
	<i>Pruebas de yoduro/almidón</i>	19
	PRESENCIA DE SULFUROS.....	19
	PRESENCIA DE CIANURO	20
	PRUEBA QUÍMICA PARA DETERMINAR LA PRESENCIA DE ÁCIDOS ESPECÍFICOS	20
	DETERMINACION DE PRESENCIA DE MERCURIO	20
5.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE RESIDUOS DESCONOCIDOS.....	21
	ANEXO I	23
	ANEXO II	25
	ANEXO III	29
	BIBLIOGRAFIA.....	32

1. INTRODUCCION

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), un residuo peligroso (RP) es un material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y se encuentra en estado sólido o semisólido, líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y es susceptible de ser valorizado o requerir sujetarse a tratamiento o disposición final, y además contiene al menos una de las características CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable, Biológico-infeccioso).

De esta forma, casi todas las sustancias químicas utilizadas resultantes de un proceso productivo se consideran como residuos peligrosos. Entendiendo que la mayoría de los residuos peligrosos están constituidos por carbono, hidrógeno, oxígeno, halógenos, azufre, nitrógeno y metales pesados, y que la estructura de la molécula determina generalmente que tan peligrosa es una sustancia para la salud humana y para el ambiente, la toxicidad disminuye si el compuesto puede ser reducido a formas más sencillas. Sin embargo, muchas de ellas no se degradan y pueden persistir en la naturaleza indefinidamente.

Debido a esto se busca principalmente fomentar la minimización de RP disminuyendo su volumen y peligrosidad basándose en dos aspectos fundamentales:

- ✓ Reducción en la fuente
- ✓ Reciclado

La reducción en la fuente y el reciclado consisten en una serie de procedimientos, los cuales se presentan en forma esquemática en la siguiente figura. Entre estas dos alternativas siempre debe preferirse la reducción de la fuente.



Fig. 1 Minimización de residuos (Smith, P. 2012)

Es por esto que, con el propósito de regular el manejo de desechos peligrosos generados en la UASLP, La Agenda Ambiental a partir del programa estratégico del Sistema de Gestión Ambiental (SGA), como parte de su programa de Manejo y Gestión Integral de Residuos forma parte y complementa el

Procedimiento para el Manejo de Sustancias y Materiales Reguladas poniendo a disposición de profesores y alumnos una guía para el tratamiento de Residuos Peligrosos, en el cual se describe la manera correcta de desechar y dar tratamiento a algunos RP.



1.1 OBJETIVOS

Como objetivos principales en esta guía se tienen:

- Minimizar el volumen y mejorar las características físicas de los residuos para su posterior tratamiento específico o eliminación, tomando como base la pirámide del consumo responsable (Fig.2).
- Eliminar el carácter de peligrosidad de los residuos mediante reacciones químicas o tratamientos físicos.
- Separar compuestos químicos, de forma que se aislen los auténticamente peligrosos.
- Complementar el Procedimiento para el Manejo de Sustancias y Materiales Regulados.



2. CONSIDERACIONES PREVIAS

Una vez que se tiene la certeza de que el residuo a manejar cuenta con características de peligrosidad (diagrama 2 del Procedimiento para el Manejo de Sustancias y Materiales Regulados), se deberá analizar la posibilidad de realizar tratamientos específicos que dependerán de las características físicas y químicas de la sustancia a tratar, ya que dicho tratamiento permitirá eliminar o minimizar el residuo de manera segura.

Otro factor a tomar en cuenta es que, si no se conocen sus componentes, o faltan etiquetas y sellado para su identificación, este deberá ser tratado como **residuo desconocido** (Los pasos para su correcta identificación se describirán más adelante).

A continuación, se muestra una lista de productos químicos sólidos que no se consideran peligrosos y que, por lo tanto, se pueden eliminar como desechos comunes. Normalmente se verterán en el desagüe las soluciones acuosas con metanol, etanol y las soluciones diluidas de los siguientes compuestos:

Productos químicos orgánicos:

- Carbón activo
- Azúcares y alcoholes de azúcar
- Almidón
- Ácido cítrico y sus sales: Na, K, Mg, Ca y NH₄
- Ácido láctico y sus sales: Na, K, Mg, Ca y NH₄
- Urea

Productos químicos inorgánicos:

- Sílice
- Sulfatos: Na, K, Mg, Ca, Sr, NH₄
- Fosfatos: Na, K, Mg, Ca, Sr, NH₄
- Carbonatos: Na, K, Mg, Ca, Sr, NH₄
- Óxidos: B, Mg, Ca, Sr, Al, Si, Ti, Mn, Fe, Co, Cu
- Cloruros: Ca, Na, K, Mg, NH₄
- Boratos: Na, K, Mg, Ca
- Clorito de sodio

*La urea puede donarse para ser utilizada como fertilizante si el envase está intacto y sin contaminar. La urea no debe utilizarse para la neutralización de ácidos; con el hipoclorito de sodio reacciona formando tricloruro de nitrógeno, el cuál es un explosivo.

Los compuestos químicos que ya tengan antigüedad y se encuentren en recipientes cerrados apropiadamente pueden ofrecerse a otros grupos o institutos para su uso posterior. Para esto existe un "Inventario virtual de Sustancias y Materiales de Reacomodo" de acuerdo al Procedimiento para Manejo de Sustancias y Materiales Regulados, al cual podrá solicitarse registro para el reacomodo de

las sustancias. **Solamente deberá considerarse eliminarlos si no hay nadie interesado en tener dichas sustancias en un periodo de tiempo razonable o si estos ya pasaron su fecha de caducidad.**



3. TRATAMIENTO DE RESIDUOS

Es importante tener en cuenta que, en la mayor parte de los casos, no se puede utilizar un solo tipo de tratamiento, por lo que es conveniente considerar sistemas donde los tratamientos específicos son en realidad etapas.

Los tratamientos empleados para su destrucción o para disminuir su peligrosidad, pueden ser físicos, químicos, biológicos, térmicos o avanzados.

Tratamiento Físico	Tratamiento Químico	Tratamiento biológico	Tratamiento Térmico
Adsorción	Calcinación	Compostaje	Combustión
Centrifugación	Catálisis	Digestión anaeróbica	Gasificación
Cristalización	Clorolisis	Filtros de chorro	Incineración
Coagulación-floculación	Electrolisis	Lagunas aireadas	Pirolisis
Desorción	Fotolisis	Lodos activos	
Destilación	Hidrólisis	Piscinas de estabilización	
Electrodiálisis	Neutralización	Tratamiento enzimático	
Evaporación	Precipitación	Biorremediación	
Filtración	Oxidación		
Flotación	Ozonolisis		
Intercambio iónico	Reducción		
Ósmosis inversa	Dilución		
Secado por frío			
Sedimentación			
Separación magnética			
Ultrafiltración			

Tabla 1. Tipos de tratamientos

Es importante resaltar que aquellos residuos resultantes de tratamientos previos o estabilizados de alguna forma, u otros que conserven sus características de peligrosidad y cuyo tratamiento no sea posible, deben ser enviados a rellenos especiales o depósitos de seguridad (confinamiento).

Para considerar si es posible desechar alguna sustancia por el alcantarillado se deberá consultar la NOM-002-SEMARNAT-1996 la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	.01	.015	.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

*Tabla 2. Límites máximos permisibles de contaminantes (NOM-002-SEMARNAT-1996).
Cualquier residuo que exceda estos límites no deberá ser descargado al alcantarillado.*

Entre los tratamientos más conocidos que se pueden aplicar a los residuos químicos peligrosos, están la neutralización, dilución, evaporación y precipitación.

A continuación, se describirán cada uno de ellos con el fin de que puedan ser aplicados para reducir o eliminar la peligrosidad de dichos residuos. Además, se describen otros tratamientos comunes y un procedimiento para manejar sustancias desconocidas.

3.1 DILUCIÓN

La dilución consiste en rebajar la cantidad de soluto para disminuir la peligrosidad del residuo por lo que es importante resaltar que en la mayoría de las ocasiones la dilución es un tratamiento secundario que acompaña otro tipo de tratamientos, como es el caso de la neutralización.

Para lograr aplicar este concepto es necesario aplicar el factor de dilución (FD), el cual es un número que indica las veces que debe diluirse una solución para obtener una de menor concentración. La solución puede tener disuelto ya sea un soluto sólido, líquido o gaseoso. Por lo tanto, su concentración depende del número de partículas del soluto y del volumen total V.

Para poder seguir este procedimiento, es necesario que partamos de una disolución madre cuya concentración conozcamos y esté expresada en términos de Molaridad, Concentración másica o porcentaje p/v (gramos de soluto por cada ml de solución), ya que estas tres magnitudes expresan la concentración de soluto en base al volumen de disolución.

Así, se podrá conocer las veces que debe diluirse la solución inicial para obtener una solución con la concentración deseada. El número de veces es lo que se conoce como el factor de dilución.

3.1.1 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE DILUCIÓN

Para preparar una dilución un volumen de una solución inicial o madre se debe llevar a un matraz aforado, donde se agrega agua hasta completar la capacidad de medida del matraz aforado. En este

caso, cuando se agrega agua al matraz aforado no se está agregando masa del soluto. Entonces, la masa de soluto o de la solución permanece constante:

$$m_i = m_f \quad (1)$$

m_i = masa del soluto inicial (en la solución concentrada).

m_f = masa del soluto final (en la solución diluida).

Pero, $m = V \times C$. Sustituyendo en la ecuación (1), se tiene:

$$V_i \times C_i = V_f \times C_f \quad (2)$$

V_i = volumen de la solución madre o inicial que se tomó para hacer la dilución.

C_i = concentración de la solución madre o inicial.

V_f = volumen de la solución diluida que se preparó.

C_f = concentración de la solución diluida.

Se puede escribir la ecuación (2) de la forma siguiente:

$$C_i / C_f = V_f / V_i \quad (3)$$

Donde, C_i / C_f por definición es el Factor de Dilución, ya que indica las veces que es mayor la concentración de la solución madre o inicial con relación a la concentración de la solución diluida. Por lo tanto, indica la dilución que hay que realizar para preparar la solución diluida a partir de la solución madre.

Asimismo, de la observación de la ecuación (3) se puede concluir que la relación V_f / V_i es otra forma de obtener el Factor de Dilución. Es decir, cualquiera de las dos expresiones (C_i/C_f , V_f/V_i) son válidas para calcular FD. El uso de una o de otra, dependerá de los datos disponibles.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de tratamientos por diluciones:

Tipo de Residuo	Procedimiento
Alcoholes	Diluir y verter al drenaje.
Peróxidos inorgánicos	Diluir y verter al drenaje.
Haluros de ácidos orgánicos	Añadir NaHCO_3 y agua y verter al drenaje.
Cianuros, mercaptanos:	Mezclar bien en una solución de hidróxido de sodio e hipoclorito de sodio, agitando de vez en cuando. Dejar en contacto 24 horas como mínimo. Diluir con agua abundante. Eliminar el

	exceso de hipoclorito con una solución de tiosulfato de sodio y neutralizar.
Bases, aminas, sales básicas y soluciones básicas	Diluir con agua y neutralizar hasta pH 6-8 añadiendo lentamente ácido sulfúrico diluido. La solución resultante se diluye 1:10.
Soluciones buffer de sales inocuas	Diluir y verter al drenaje.

Tabla 3. Tratamientos por dilución

3.2 EVAPORACIÓN

Uno de los tratamientos ambientalmente favorables para la reducción de pequeños volúmenes de residuos químicos es la evaporación, ya que muchas veces con el simple hecho de eliminar el excedente de agua se puede disminuir de manera considerable la cantidad de residuos generados. Este método debe utilizarse cuando se tienen reactivos diluidos en grandes cantidades de agua, lo que hace que estos químicos disminuyan su nivel de contaminación y permitan que por el proceso de evaporación logren reducirse hasta obtener pequeñas cantidades de sedimentos que son más sencillos de tratar en otros procesos.

Para este proceso se deberá tener en cuenta principalmente el punto de ebullición de las sustancias que se encuentren presentes en el residuo para elegir correctamente la temperatura a la que se llevará la evaporación.

La evaporación se efectúa en recipientes poco hondos y con mucha superficie para facilitar el proceso. La disolución a evaporar se coloca en un vaso de precipitado que se calienta mediante una fuente de calor, la cual deberá ser escogida según la naturaleza del líquido a evaporar.

*Se sugiere que este tipo de procedimientos se realicen en una campana de extracción o bien en un área ventilada, haciendo uso del equipo de protección personal como lo es el uso de bata de algodón, zapato cerrado, mascarilla tipo concha y lentes de seguridad.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de tratamientos haciendo uso de la evaporación.

Tipo de residuo	Procedimiento
Disolventes no miscibles con agua	Evaporarlos en pequeñas dosis en lugares bien ventilados evitando la formación de mezclas combustibles de vapor/aire y manteniéndolos alejados de llamas abiertas o de cualquier otra fuente inflamable. Posteriormente disponer los residuos en el recipiente correspondiente.
Ésteres	Evaporarlos en pequeñas dosis en lugares bien ventilados, añadiendo aproximadamente 1% de hierro II sulfato 7-hidrato, evitando la formación de mezclas combustibles de vapor/aire y manteniéndolos alejados de llamas abiertas o de cualquier otra fuente inflamable. Posteriormente disponer los residuos en el recipiente correspondiente.

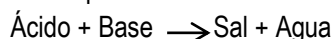
Nitrilos	Tratar con una disolución alcohólica de NaOH (conversión en cianato soluble), evaporar el alcohol y añadir hipoclorito cálcico. Dejar en reposo (24h). Verter al desagüe.
Plomo, cadmio	Añadir HNO ₃ (Se producen nitratos). Evaporar, añadir agua y saturar con H ₂ S. Filtrar y secar.

Tabla 4. Tratamientos por evaporación

3.3 NEUTRALIZACIÓN

Se llama neutralización a la reacción que se produce entre disoluciones ácidas y básicas y todas estas reacciones dan como producto una sal y agua.

La ecuación general que representa este tipo de reacción es:



El proceso de neutralización es utilizado para tratar residuos peligrosos con la característica de corrosividad (C), esta tecnología se lleva a cabo ajustando el pH de una sustancia química corrosiva a niveles de neutralidad (pH 6-8). Un residuo neutralizado puede requerir un tratamiento secundario dependiendo de los constituyentes peligrosos que estén presentes en el proceso de generación antes de ser descargados al drenaje municipal.

3.3.1 INDICADORES ÁCIDO-BASE

El punto final o de equivalencia de una neutralización viene determinado por el cambio de color de los indicadores ácido base, que cambian de color a determinados intervalos de pH. Cada tipo de neutralización requiere de un indicador adecuado:

- En la neutralización de un ácido fuerte con una base fuerte, en el punto de equivalencia, el pH es neutro, y por tanto es igual a 7. El indicador más adecuado es el tornasol o el azul de bromotimol que cambian de color en ese intervalo de pH.
- En la neutralización de un ácido débil con una base fuerte, en el punto de equivalencia, el pH es básico, y por lo tanto mayor que 7. El indicador más adecuado es la fenolftaleína o el azul de timol que cambian de color en ese intervalo de pH.
- En la neutralización de un ácido fuerte con una base débil, en el punto de equivalencia, el pH es ácido, y por tanto menor que 7. El indicador más adecuado es el rojo de metilo, el rojo Congo o el naranja de metilo que cambian de color en ese intervalo de pH.

INDICADOR	COLOR ÁCIDO	COLOR BÁSICO	INTERVALO DE pH DE CAMBIO DE COLOR
Azul de timol	Rosco	Amarillo	1.2 - 2.8
Naranja de metilo	Rosco	Amarillo	3.2 - 4.4
Azul de bromotenci	Amarillo	Violeta	3.0 - 4.6
Rosco congo	Azul	Rosco	3.0 - 5.0
Rosco de metilo	Rosco	Amarillo	4.2 - 6.3
Azul de bromotimol	Amarillo	Azul	6.0 - 7.6
Tomato	Rosco	Azul	6.0 - 8.0
Azul de timol	Amarillo	Azul	8.0 - 9.6
Fenolftaleina	Incoloro	Rosco	8.2 - 9.8
Amarillo de alizarina	Amarillo	Violeta	10.0 - 12.1

Fig.3 Indicadores ácido-base (Gobierno de Canarias, 2010)

3.3.2 PROCEDIMIENTO DE NEUTRALIZACIÓN DE ÁCIDOS

Para tratar un residuo peligroso ácido por neutralización, se deberá tener principalmente la certeza de que realmente se trata de un tipo de ácido (es decir que tenga un pH menor a 7). Una vez identificado se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar un material básico como bicarbonato de sodio, bicarbonato de potasio, bicarbonato de calcio, hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. Llenar una bureta con la sustancia elegida.
2. Vaciar con cuidado el ácido a tratar en un matraz Erlenmeyer y adicionar 3 gotas de indicador (el indicador se deberá elegir acorde a lo señalado en el punto 3.3.1).
3. El matraz con el ácido y el indicador deberán estar en constante agitación para favorecer la reacción. Se recomienda tomar el pH inicial tomando una gota del ácido y poniéndola en un papel indicador de pH.
4. Comenzar a titular con la sustancia básica elegida, con sumo cuidado, de ser necesario ir añadiendo de gota a gota para observar el cambio de color en el punto de equivalencia de la muestra.
5. Al llegar al punto de equivalencia medir nuevamente el pH. Si este se encuentra en un rango neutro (observar puntos de equivalencia en el punto 3.3.1) no es necesario seguir titulado, de lo contrario seguir añadiendo con la bureta hasta encontrar un pH neutro.
6. Una vez neutralizada la muestra se deberá diluir con agua aproximadamente en una relación de 1:10 para que pueda ser eliminada por el drenaje.

Como recomendación se sugiere también utilizar cal si es posible, ya que esta disminuye la presencia de sales solubles en agua.

Cabe destacar que se deberá tener cuidado al manejar este tipo de sustancias ya que estas son corrosivas y pueden ocasionar quemaduras y daños permanentes, por lo que se deberá utilizar en todo momento el equipo de protección personal necesario (bata de manga larga, lentes de seguridad, guantes de nitrilo y zapato cerrado).

También se debe hacer énfasis en que al manejar ácidos **jamás se debe agregar agua al ácido, siempre deberá ser en sentido contrario, el ácido al agua**, esto para evitar que se lleve a cabo una reacción exotérmica violenta.

3.3.3 PROCEDIMIENTO DE NEUTRALIZACIÓN DE BASES

Para tratar un residuo peligroso básico por neutralización, se deberá tener principalmente la certeza de que realmente se trata de un tipo de base (es decir que tenga un pH mayor a 7). Una vez identificado se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar una sustancia ácida como ácido sulfúrico o ácido clorhídrico, pero nunca ácido nítrico, para neutralizar las bases. Llenar una bureta con la sustancia elegida.
2. Vaciar con cuidado la base a tratar en un matraz Erlenmeyer y adicionar 3 gotas de indicador (el indicador se deberá elegir acorde a lo señalado en el punto 3.3.1).
3. El matraz con la base y el indicador deberán estar en constante agitación para favorecer la reacción. Se recomienda tomar el pH inicial tomando una gota de la muestra básica para ponerla en un papel indicador de pH.
4. Comenzar a titular con la sustancia ácida elegida, con sumo cuidado, de ser necesario ir añadiendo de gota a gota para observar el cambio de color en el punto de equivalencia de la muestra.
5. Al llegar al punto de equivalencia medir nuevamente el pH. Si este se encuentra en un rango neutro (observar puntos de equivalencia en el punto 3.3.1) no es necesario seguir titulando, de lo contrario seguir añadiendo con la bureta hasta encontrar un pH neutro.
6. Una vez neutralizada la muestra se deberá diluir con agua aproximadamente en una relación de 1:10 para que pueda ser eliminada por el drenaje.

NOTA: Calor y vapores son generados durante estos procedimientos. Realizar este procedimiento en una campana de vapores, o en un lugar ventilado con el apropiado equipo de protección personal (Bata de algodón, guantes de nitrilo, mascarilla tipo concha, zapato cerrado y lentes de seguridad).

A continuación, se muestran algunos tratamientos por neutralización.

Tipo de residuo	Procedimiento
Bases, aminas, sales y soluciones básicas	Diluir con agua y neutralizar hasta pH 6-8 añadiendo lentamente ácido sulfúrico diluido. Diluir la solución resultante.
Clorhidrinas y nitroparafinas	Añadir NaHCO_3 , neutralizar y verter al drenaje.
Aminas alifáticas	Añadir NaHCO_3 pulverizar con agua, posteriormente neutralizar y verter al drenaje.
Sales inorgánicas	Añadir un exceso de Na_2CO_3 y agua, dejar reposar por 24hr, neutralizar con HCl (6M) y verter al drenaje.
Oxidantes	Tratar como reductor (disolución concentrada). Neutralizar y verter al drenaje.

Reductores	Añadir Na_2CO_3 y agua (hasta suspensión), dejar en reposo 2 hr, neutralizar y verter al drenaje.
Hidracinas	Diluir hasta un 40% y neutralizar con H_2SO_4 . Verter al drenaje.
Álcalis cáusticos y amoníaco	Neutralizar y verter al drenaje.
Amidas inorgánicas	Verter sobre agua y agitar, neutralizar con HCl 3M o NH_4OH 6M y verter al drenaje.
Sulfuros inorgánicos	Añadir una disolución de FeCl_3 con agitación, neutralizar con Na_2CO_3 y verter al drenaje.
Berilio	Disolver en HCl 6M, filtrar. Neutralizar con NH_4OH (6M). Filtrar y secar.
EDTA	Se deberán diluir éstos residuos con agua de la llave, para después neutralizar con hidróxido de sodio 10 % hasta alcanzar un pH entre 5 y 7. Después de esto, se puede verter al alcantarillado o se incineran.
Ácidos o álcalis, orgánicos o inorgánicos	Se deberán neutralizar hasta $\text{pH} = 7$ de modo que las sales resultantes sean solubles en agua e inocuas. Así, se las puede eliminar por la pileta en forma diluida con abundante agua. Si los productos de la neutralización fueran sales insolubles en suspensión, serán eliminados en bidones de polietileno.

Tabla 5. Tratamientos por neutralización

3.4 PRECIPITACIÓN

Este procedimiento consiste en efectuar un tratamiento al residuo que permita recuperar algún o algunos elementos o sus compuestos que su elevado valor o toxicidad hace aconsejable no eliminar. Es un procedimiento especialmente indicado para los metales pesados y sus compuestos.

Una vez recuperado un compuesto, la solución ideal es su reutilización o reciclado, ya que la acumulación de productos químicos sin uso previsible en el laboratorio no es recomendable. El mercurio es un ejemplo claro en este sentido. En algunos casos, el reciclado puede tener lugar fuera del laboratorio, ya que el producto recuperado (igual o diferente del contaminante originalmente considerado) puede ser útil para otras actividades distintas de las del laboratorio. ("Inventario Virtual de Sustancias y Materiales de Reacomodo" en la página web de la agenda ambiental)

La precipitación consiste en la obtención de un sólido a partir de una disolución. Puede realizarse por evaporación del disolvente, por enfriamiento repentino de una disolución caliente o por una reacción química.

La precipitación encuentra aplicación en la separación de un componente de una mezcla de compuestos, por distinta solubilidad en un determinado disolvente.

Para esto se debe conocer la constante del producto de solubilidad K_{ps} (Anexo III), la cual es la constante del equilibrio que se establece entre el sólido y sus iones en una disolución saturada. Puesto que el producto de solubilidad K_s rige el equilibrio que se establece en una disolución saturada, si este equilibrio se rompe por disminución de las concentraciones iónicas, nuevas cantidades de precipitado se disuelven hasta alcanzar el equilibrio. Por el contrario, si aumentan las concentraciones de los iones, hasta restablecer el equilibrio.

Si:

$K_{ps} \leq [A^-] [B^+]$ Precipitación

$K_{ps} = [A^-] [B^+]$ Equilibrio (Saturación)

$K_{ps} > [A^-] [B^+]$ Disolución

Posteriormente se utilizará la decantación o filtración para el aislamiento de dicho precipitado para que este pueda ser dispuesto como residuo y pueda ser tratado.

Como requisitos para que el residuo en cuestión pueda ser precipitado se debe tomar en cuenta:

- La sustancia a separar debe tener muy baja solubilidad en el agua o en el solvente a utilizar.
- Para aumentar la pureza se debe precipitar en repetidas ocasiones.

Algunos ejemplos son:

Tipo de Residuo	Procedimiento
Arsénico, bismuto, antimonio	Disolver en HCL y diluir hasta aparición de un precipitado blanco ($SbOCl$ y $BiOCl$). Añadir HCl 6M hasta redisolución. Saturar con sulfhídrico. Filtrar, lavar y secar.
Estroncio, bario	Disolver en HCl 6M, filtrar. Neutralizar ($NH_4 OH$ 6M). Precipitar ($Na_2 CO_3$). Filtrar, lavar y secar.
Compuestos de arsénico, cadmio, plomo, selenio y talio	Estos productos se transformarán en sales insolubles, disolviendo en ácido clorhídrico, diluir la solución y saturar con ácido sulfhídrico en un lugar ventilado con las precauciones necesarias para no exponerse a los gases generados por la reacción. Lavar el precipitado de sulfuro formado.
Compuestos de bario	Estos productos se transformarán en sales insolubles, disolviéndolos en ácido y neutralizándolos con precaución con hidróxido de amonio y precipitándolos posteriormente con adición de carbonato de sodio. Lavar el precipitado de carbonato formado. Disponer finalmente los residuos en un recipiente.
Compuestos oxidantes, aldehídos	Estos compuestos se transformarán en sales insolubles, disolviendo en ácido, neutralizando con precaución con hidróxido de amonio y

	precipitando luego por adición de carbonato de sodio. Lavar el precipitado formado de carbonato y disponer en un recipiente.
Desechos metálicos	Precipitar para recuperar (según costes y conveniencia).

Tabla 6. Tratamientos por precipitación

4 TRATAMIENTOS ESPECIFICOS

A continuación, se describen algunos tratamientos para otros tipos de residuos, los cuales implican la realización de 2 o más tipos de tratamientos y la aplicación de procedimientos específicos a seguir.

Tipo de residuo	Procedimiento
Selenio, telurio	Disolver en HCl. Adicionar sulfito sódico para producir SO ₂ (reductor). Calentar. (se forma Se gris y Te negro). Dejar en reposo (12h). Filtrar y secar
Vanadio	Añadir a Na ₂ CO ₃ (capa) en una placa de evaporación. Añadir NH ₄ OH (6M) (pulverizar). Añadir hielo (agitar). Reposar (12h). Filtrar (vanadato amónico) y secar.
Cianuros solubles	Las soluciones acuosas de cianuro de sodio o potasio, altamente tóxicas, se oxidan a cianatos no tóxicos por reacción con lejía (cloro). La reacción debe realizarse en una campana extractora. Las soluciones de cianuro de sodio o potasio se diluyen con agua a una concentración no mayor al 2%. Para cada 50 ml de solución se adicionan 5 ml de hidróxido de sodio al 10%. Para cada 50 ml de solución de cianuro se adicionan 70 ml de lejía, lentamente y con agitación. La solución debe ensayarse para confirmar la ausencia de cianuros, colocar 1 ml de solución en un tubo de ensayo, adicionar dos gotas de solución de sulfato ferroso al 5% recientemente preparada. Hervir la mezcla por 30 segundos, enfriar a temperatura ambiente y adicionar 2 gotas de solución de cloruro férrico al 1%, acidificar la mezcla con ácido clorhídrico 6M. Si el cianuro está aún presente se formara un precipitado azul intenso. Con este ensayo pueden detectarse concentraciones de cianuro mayores a 1 ppm. Cuando el precipitado azul no se forme, la solución puede desecharse en el drenaje con abundante agua. Este método no puede utilizarse para nitrilos orgánicos tales como benzonitrilo, el cual no reacciona con lejía.
Cianuros	Cuando se trate de pequeñas cantidades, tratarlos con Agua Lavandina concentrada comercial dentro

	de un recipiente plástico cerrado y bajo campana con buena extracción. Dejar reaccionar unas 24 horas mínimo con lo que se oxida el cianuro a cianato. Luego verter al desagüe en forma muy diluida con abundante agua.
Hidruros	Mezclar con arena seca, pulverizar con alcohol butílico y añadir agua (hasta destrucción del hidruro). Neutralizar (HCl6M) y decantar. Verter al desagüe. Residuo de arena: enterrarlo.
Compuestos internometálicos (cloruro de sulfúrico, tricloruro de fósforo, etc.)	Rociar sobre una capa gruesa de una mezcla de Na_2CO_3 y cal apagada. Mezclar y atomizar agua. Neutralizar. Verter al desagüe.
Carbuos	Adicionar sobre agua en un recipiente grande, quemar el hidrocarburo que se desprende. Dejar en reposo (24h). Verter el líquido por el desagüe. Precipitado sólido: tirarlo a un vertedero.
Permanganato de potasio	Calcular la concentración de la solución. Por cada ml de solución adicionar una gota de ácido sulfúrico concentrado. En la vitrina de extracción, lentamente y con agitación, adicionar la solución de bisulfito de sodio al 10% hasta que desaparezca el color del permanganato y se inicie la precipitación de dióxido de manganeso, café. Neutralizar la solución resultante con carbonato de sodio sólido y desechar la solución incolora en el drenaje.
Clorato de sodio	Calcular la concentración de la solución y si es necesario diluir a no más del 10% con agua. Para cada 10 ml de solución, adicionar lentamente y con agitación constante 18 ml de una solución al 10% de bisulfito de sodio. Para verificar la presencia de agente oxidante, medir 3 ml de una solución en un tubo de ensayo y adicionar 3 ml de una solución recientemente preparada de yoduro de potasio en ácido sulfúrico 3M. Un cambio de color ámbar a café indica que el agente oxidante aún está presente. Continuar la adición de bisulfito de sodio sobre la solución de clorato de sodio inicial hasta que este ensayo resulte en un líquido incoloro o amarillo pálido. Neutralizar la solución acida por adición de carbonato de sodio sólido y desechar al drenaje con agua.

Tabla 7. Tratamientos específicos

4.1 ELECTROFORESIS

Un caso particular es el proceso de electroforesis, el cuál al llevarse a cabo produce un exceso de bromuro de etidio que se dispone como residuo peligroso, por lo cual se hacen las siguientes recomendaciones para persuadir su uso y disminuir la contaminación provocada por este.

- ✓ Usar alternativas menos tóxicas para la salud y el medio ambiente, menos peligrosas en el manejo, como por ejemplo GelRed4 etc.
- ✓ Revisar la posibilidad de establecer un tratamiento para el agua que se requiere para el lavado de materiales que se utilizan para el proceso de electroforesis, de modo de evitar propagación de sustancias químicas o biológicas al alcantarillado.
- ✓ Planear adecuadamente cada proceso de electroforesis, de modo de evitar procedimientos innecesarios y con ello disminuir la utilización de insumos.
- ✓ Investigar más alternativas de reutilización de los residuos químicos, de modo de disminuir la disposición final de residuos peligrosos.
- ✓ Se propone un control permanente del proceso, por ejemplo, cada mes. Verificar si se produce aumento de residuos, en base a un registro de todos los residuos y la cantidad utilizada.
- ✓ Analizar qué residuos se desechan, de modo de propender a una mejora constante del proceso. (Coheen. H., Soares. R., Pirazán.L., Silva.C., Serano.C., y wild.C., 2018)

(referencia trabajo PMPCA)

5 RESIDUOS QUIMICOS DESCONOCIDOS

Todo el personal (laboratoristas en caso de empresas e instituciones) debe realizar todos los esfuerzos para proveer una descripción exacta de todos los materiales sobrantes y residuos químicos, ya que los químicos desconocidos presentan un serio problema para la Universidad (empresa / institución). Sin un nombre químico exacto o preciso, los químicos no pueden ser ni manejados ni dispuestos de una manera segura. Los desconocidos deberían ser envasados para recolección y disposición para ser descubiertos. Cualquier información de éstos, como su historia y propiedades físicas que pudiesen ser entregadas para el personal de residuos peligrosos ayudará a la investigación e identificación de los desconocidos. Compañías de descarga o tratamiento no aceptarán residuos químicos desconocidos sin previo análisis. Los problemas presentados por desconocidos pueden ser reducidos mediante el examen periódico del inventario de químicos almacenados, el etiquetado rápido de contenedores, y la disposición de todos los residuos químicos y químicos inusuales desde un área satélite antes de la salida de un facultativo o miembro del personal.

5.1 PRUEBAS QUIMICAS A REALIZAR EN QUIMICOS DESCONOCIDOS

Los exámenes o pruebas son particularmente importantes si las sustancias químicas fueron abiertas y faltan las etiquetas y/o el sellado original de fábrica, o si existen mezclas o desechos de laboratorio sin identificar.

Todo residuo de origen desconocido deberá ser sometido, como condición mínima, al conjunto de análisis que se detalla a continuación; con el fin de determinar su naturaleza y propiedades. Será necesario, pero no suficiente, poder informar si se trata de: un hidrocarburo (saturado, insaturado [alquenos, alquinos], aromático), solvente clorado, solvente no clorado, ácido mineral, bases inorgánicas, etc. Aunque las técnicas de identificación que se mencionarán fueron concebidas para

sustancias orgánicas, se tendrán en cuenta en forma subsidiaria técnicas para identificar sustancias consideradas inorgánicas y para aquellas muestras que han sido abandonadas, en recipientes como erlenmeyers, balones, matraces, etc. sin rótulo que indique la composición de su contenido.

Como información preliminar se sugiere obtener los siguientes datos:

- ✓ Obtener información del recipiente que contiene la sustancia química (líquida o sólida).
- ✓ El tamaño del recipiente puede ser útil, ya que en general los recipientes de capacidad mayor a cuatro (4) litros (por ejemplo: bidones, recipientes conocidos comúnmente como "damajuanas", etc) suelen contener sustancias normalmente utilizados como solventes que son de grado de pureza inferior a la reconocida como "analítica" (inferior a Grado P.A.).
- ✓ Si un material desconocido tiene dos o tres capas líquidas, se describe cada capa separadamente, y se adjudica a cada capa un porcentaje aproximado del total del material. Esto puede ser de gran ayuda al determinar la calidad de los productos químicos que se pondrán en la lista y serán eliminados.
- ✓ El estado de agregación (sólido, líquido, gas), color, viscosidad, densidad, claridad; pueden aportar información muy valiosa. Se deberá intentar probar propiedades ácido/base haciendo uso de papel para medir pH. **BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA INTENTE UTILIZAR EL OLFATO PARA CARACTERIZAR EL MATERIAL DE IDENTIDAD DESCONOCIDA.**
- ✓ Se podrá colocar una cantidad mínima de material (aproximadamente 0,1 g en el caso de sólidos, o 0,3 mL si el material es líquido), acercarlo cuidadosamente a una llama; las características de los productos de combustión y de la forma que se desarrolla la misma (restos de material carbonoso, color de la llama, pH de los vapores desprendidos en caso que existieran, otras) podrán sumar indicios sobre la presencia de hidrocarburos saturados/insaturados. Si el material es un sólido puede intentarse tomar su punto de fusión. Puede suceder que se evidencie su descomposición. Si la temperatura de fusión supera el rango de los 200-250°C puede sospecharse que se está en presencia de un material inorgánico. En este caso agregar agua al residuo y medir su acidez como se indicó anteriormente. **SE DEBE ASEGURAR QUE EL MATERIAL A IDENTIFICAR NO SE CARACTERIZA POR TENER UN REGIMEN DE DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA-OXIDACIÓN QUE SEA ACOMPAÑADO DE LOS FENÓMENOS DE DEFLAGRACIÓN Y/O DETONACIÓN.**
- ✓ Tomar una cantidad mínima de volumen o masa indicada anteriormente y colocarlo en una cuchara comúnmente utilizada en el laboratorio para trasvasar sustancias, u otro elemento que pueda improvisar compuesto de cobre y acercarlo cuidadosamente a una llama, si la misma es de color verde puede presumirse que la muestra contiene uno o varios componentes halogenados. Probar la solubilidad del material en diferentes solventes, por ejemplo: agua, soluciones acuosas de diferentes pH (soluciones diluidas y concentradas de ácidos y bases), éter etílico, hexanos. Todas las operaciones podrán ser llevadas a cabo por un químico experimentado en un lapso de tiempo corto.

SERÁ CONDICIÓN DE CUMPLIMIENTO OBLIGATORIO TRABAJAR SIEMPRE BAJO LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD NECESARIAS, UTILIZANDO EL EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL Y SIGUIENDO LAS RECOMENDACIONES DADAS.

A continuación se describen otro tipo de pruebas que se podrán realizar a las sustancias desconocidas, con el fin de tener una mayor certeza de que tipo de sustancia es la que se maneja.

SOLUBILIDAD EN AGUA:

Agregar unos pocos cristales (si la sustancia es sólida) o cinco gotas (si la sustancia es líquida) a 1 ml de agua. Observar si el sólido o el líquido se disuelven en el agua. Si el líquido es insoluble, tomar nota si es menos o más denso que el agua (es decir, flota o se hunde). La mayoría de los líquidos orgánicos no halogenados son menos densos que el agua.

PRESENCIA DE PERÓXIDOS

Pruebas de yoduro:

1. Agregar 1 ml de la sustancia que se está examinando a una solución recién preparada de 100 mg de yoduro de sodio (potasio) en 1 ml de ácido acético glacial. El color amarillo indica baja concentración de peróxidos y el color marrón indica alta concentración de peróxidos
2. Agregar de 1 a 3 ml del líquido a ser examinado, a una cantidad igual de ácido acético y añadir unas pocas gotas de solución 5% de yoduro de potasio y agitar. Si aparece una coloración de amarillo a marrón, demuestra la presencia de peróxidos
3. Agregar la sustancia a ser examinada a un 1 ml de una solución recién preparada de yoduro de potasio en 10 ml de éter etílico en un cilindro de vidrio incoloro con tapón protegido de la luz. Si la solución se torna color amarillo, indica la presencia de 0,005% de peróxidos.

Pruebas de yoduro/almidón:

Método 1:

Agregar 0,5 ml de la solución a ser examinada a una solución al 10% de 1 ml de yoduro de potasio y 0,5 ml de ácido clorhídrico diluido al que se le agregó unas gotas de solución de almidón un momento antes de realizar la prueba. La aparición, dentro del lapso de un minuto, de un color azul a azul negro indica la presencia de peróxidos.

Método 2:

Preparar una solución de 5 ml de sulfato de amonio y hierro (II) al 15%, 0,5 ml de 1 N de ácido sulfúrico y 0,5 ml de 0,1 N de tiocianuro de amonio. Para realizar la prueba agitar con una igual cantidad de la solución a ser examinada. Si contiene peróxidos, la solución se tornará roja.

PRESENCIA DE SULFUROS

La prueba para sulfuros inorgánicos se hace solamente cuando el pH de una solución acuosa de la materia desconocida es mayor que 10. Agregar unas gotas de ácido clorhídrico concentrado a una muestra de la materia desconocida, sosteniendo al mismo tiempo un papel reactivo comercial de acetato de plomo, mojado en agua destilada, sobre la muestra. La aparición de un color marrón a negro en el papel indica la generación de sulfuro de hidrógeno. En vista del grado de toxicidad del sulfuro de hidrógeno que se produce en esta prueba, debe usarse una muestra pequeña y debe llevarse a cabo en un lugar ventilado.

PRESENCIA DE CIANURO

Esta prueba de cianuro inorgánico se realiza solamente cuando el pH de la solución acuosa de la materia desconocida es superior a 10.

Antes de realizar la prueba de cianuro, se deben preparar las siguientes soluciones:

- Hidróxido de sodio acuoso al 10% (solución A)
- Sulfato de hierro (II) acuoso al 10% (solución B)
- Cloruro de hierro (III) al 5% (solución C).

Mezclar 2 ml de la muestra con 1 ml de agua destilada y 1 ml de cada una de las soluciones A, B y C. Agregar suficiente ácido sulfúrico para acidificar la solución. El desarrollo de un color azul (azul de Prusia, debido al ferrocianuro de hierro (III) indica la presencia de cianuro. En vista del grado de toxicidad del hidrógeno de cianuro que se produce en esta prueba, debe usarse una muestra pequeña y debe llevarse a cabo en un lugar ventilado.

PRUEBA QUÍMICA PARA DETERMINAR LA PRESENCIA DE ÁCIDOS ESPECÍFICOS

Preparar tres soluciones por separado del ácido que será examinado mezclando 1 a 2 gotas del ácido con 1 ml de agua desionizada.

Realizar las siguientes pruebas:

- Prueba de nitrato de plata: Agregar de 1 a 2 gotas de reactivo de nitrato de plata al 5% a la solución y observar si ocurre una precipitación. Si hay precipitación, agregar de 1 a 2 gotas de hidróxido de amonio concentrado y observar si el precipitado se re disuelve.
- Prueba de nitrato de bario: Agregar 1-2 gotas de reactivo de nitrato de bario 5% y observar si hay precipitación.
- Prueba de nitrato de bario básico: Agregar 1-2 gotas de NaOH al 50% y asegurarse de que el pH es básico.

Ácido	Nitrato de plata	Nitrato de plata + NH_4OH	Nitrato de bario	Nitrato de bario básico
HBr	ppt amarillo pálido	Se disuelve	No ppt	No ppt
HI	ppt amarillo	ppt blanco	No ppt	No ppt
HCl	ppt blanco	Se disuelve	No ppt	No ppt
H_2SO_4	No ppt	No ppt	ppt blanco	ppt blanco
HNO_3	No ppt	No ppt	No ppt	No ppt
H_3PO_4	No ppt	No ppt	No ppt	ppt blanco
H_3PO_2	ppt negro	No ppt	No ppt	No ppt

ppt = precipitado.

Tabla 8. Tipos de ácidos por precipitados

DETERMINACION DE PRESENCIA DE MERCURIO

Preparar las siguientes soluciones:

- 1 g de yoduro de potasio en 10 ml de agua. Agregar el material a la probeta: Agregar el reactivo y observar el color, calentarlo y observar el cambio de color

2. 19,4 g de cromato de potasio disuelto en 1 litro de agua. Agregar el material a la probeta: Agregar al reactivo y observar el color, calentarlo y observar el color.

<i>Ión de mercurio</i>	<i>Yoduro de potasio</i>	<i>Solución calentada de yoduro de potasio</i>	<i>Cromato de potasio</i>	<i>Solución calentada de cromato de potasio</i>
Hg+	Precipitado verde Se vuelve negro con reactivo en exceso	Rojo	ppt marrón	Rojo
Hg++	Precipitado naranja a rojo-marrón. Incoloro con reactivo en exceso	Ningún cambio	n/a	n/a

n/a: no aplicable.

Tabla 9. Identificación de presencia de mercurio por cambio de color

5.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE RESIDUOS DESCONOCIDOS

Es de suma importancia utilizar el siguiente equipo de protección personal y seguir las recomendaciones dadas, siempre que se manejen residuos desconocidos o se lleve a cabo algún tipo de tratamiento.

- Lentes de seguridad químicos: Es necesario hacer uso de los lentes durante todo el tiempo que se tenga contacto con el residuo. También es importante recalcar que es de suma importancia que los lentes sean de tipo químico ya que poseen marcos duraderos que tienen la propiedad de absorber el impacto y además cuentan con protecciones laterales que impiden que los objetos o líquidos entren en contacto con los ojos del usuario.



- Bata de algodón o traje de seguridad: Se deberá hacer uso preferentemente de un traje de protección completo para garantizar una mayor protección en caso de algún accidente, en caso de no contar con él se deberá utilizar una bata de laboratorio de algodón de manga larga.



- Guantes de nitrilo: De igual manera deberán utilizarse siempre que se esté en contacto con el residuo para prevenir daños a la piel en caso de salpicaduras o derrames.



- Zapatos o botas de seguridad: siempre se deberá de trabajar con zapato cerrado, de preferencia con botas de seguridad con suela antiderrapante para evitar daños en los pies por derrames, salpicaduras, etc.



- Mascarilla tipo concha: Se deben utilizar en caso de exposición a gases o vapores emanados por algún residuo para evitar posibles intoxicaciones y daños al sistema respiratorio.



RECOMENDACIONES:

Como principales recomendaciones se deberán seguir las siguientes:

- Trabajar siempre que sea posible en una campana extractora de gases: Es importante que al trabajar con residuos desconocidos se utilice una campana extractora de gases o bien si no se cuenta con ella trabajar en un lugar ventilado ya que al ser destapados los recipientes pueden liberar vapores o gases tóxicos de manera violenta.



- Abrir los recipientes con la sustancia desconocida lo más alejado posible del cuerpo: Se deberá hacer con suma precaución y destaparlo lo más retirado posible. Esto para evitar alguna salpicadura o golpe por alguna reacción violenta que se pueda llevar a cabo. Es importante siempre estar conscientes de que se está trabajando con residuos desconocidos por lo que no se debe subestimar el comportamiento de estas sustancias.
- No tratar de percibir el olor de las sustancias acercando el rostro al recipiente: Para esto se utilizara la mano como pantalla para llevar una pequeña cantidad del vapor de la sustancia hasta la nariz.



ANEXO I

MATERIALES CONTAMINADOS CON RESIDUOS PELIGROSOS

La disposición de materiales de laboratorio se vuelve importante cuando es contaminado con químicos altamente tóxicos. El término "materiales de laboratorio" se refiere a aquellos artículos desechables, tales como guantes, cubiertas de mesa, pipetas, tubos de ensayo, etc. La decisión de desechar estos materiales a la basura, con o sin algún tratamiento previo, o de desecharlos como un residuo peligroso

dependerá de la toxicidad y contaminación del contaminante. Esta decisión será realizada por el personal de la Subcomisión Mixta de Seguridad e Higiene del lugar en conjunto con las correspondientes autoridades. Los generadores que crean que sus residuos encajan dentro de esta categoría deben consultar con un miembro del personal de la Subcomisión Mixta de Seguridad e Higiene antes de descargar materiales de laboratorio en la basura.

PROCEDIMIENTO PARA EL LAVADO DE FRASCOS DE VIDRIO

Este procedimiento es aplicable siempre que se eliminen frascos vacíos de vidrio que contuvieron reactivos y residuos químicos peligrosos que en ocasiones quedan impregnados con pequeños remanentes de material. Dichos frascos requieren de un lavado previo, ya sean desechados o rehusados.

Descripción del procedimiento:

1. Usar el equipo de protección personal básico (bata, lentes de seguridad, guantes)
2. Escurrir todo el contenido del frasco y depositarlo en su lugar correspondiente como residuo químico.
3. Realizar un primer lavado del frasco de acuerdo a la siguiente recomendación ya sea utilizando la solución A, B, C o D.

Solución*	Contenido	Remanentes
A	Carbonato de sodio 5% Tiosulfato de sodio 5%	Ácidos inorgánicos, cloroformo, disolventes, aromáticos.
B	Hipoclorito de calcio 10%	Metales pesados, fenoles, cianuros, amoníaco.
C	Tiosulfato de sodio 5%	Aceites, grasas, disolventes halogenados
D	Ácido clorhídrico 5%	Bases inorgánicas, álcalis
E	Detergente en agua	Hidrocarburos, disolventes oxigenados, sales inorgánicas de Na, K, Cu, Mg.

*Estas soluciones se recomiendan en la literatura principalmente aplicando el factor de dilución y en algunos casos la degradación química.

Tabla 10. Soluciones para lavado de recipientes de vidrio

4. Los residuos del primer lavado deberán separarse en un frasco debidamente rotulado.
5. Dar un segundo lavado con la solución E y desechar al drenaje.
6. Finalizar con un tercer lavado con abundante agua.
7. Si el frasco se va a desechar a la basura como residuos inorgánicos deberá romperse para evitar su rehuso.

Nota: Para frascos que contuvieron algún reactivo en particular, se deberán revisar las recomendaciones de destrucción descritos en la hoja de seguridad correspondiente.

ANEXO II

CATIONES DE ALTA Y BAJA TOXICIDAD, Y PRECIPITANTES PREFERENTES

Cationes de alta y baja toxicidad, y precipitantes preferentes

Cationes	Precipitante	Cationes	Precipitante
Alta peligrosidad		Baja peligrosidad	
Antimonio	OH ⁻	Aluminio	OH ⁻
Arsénico		Bismuto	OH ⁻
Bario	SO ₄ ²⁻ ; CO ₃ ²⁻	Calcio	SO ₄ ²⁻ ; CO ₃ ²⁻
Berilio	OH ⁻	Cerio	OH ⁻

Cadmio	OH ⁻	Cesio	
Cromo (III) ^b	OH ⁻	Cobre ^c	OH ⁻
Cobalto (II) ^b	OH ⁻	Oro	OH ⁻
Galio	OH ⁻ ;	Hierro ^c	OH ⁻
Germanio	OH ⁻	Lantánidos	OH ⁻
Hafnio	OH ⁻	Litio	
Indio	OH ⁻	Magnesio	OH ⁻
Iridio ^d	OH ⁻	Molibdeno (VI) ^{b,e}	OH ⁻
Plomo	OH ⁻	Niobio	OH ⁻
Manganeso (II) ^b	OH ⁻	Paladio	OH ⁻
Mercurio	OH ⁻	Potasio	
Niquel	OH ⁻	Rubidio	
Osmio (IV) ^{b,f}	OH ⁻	Escandio	OH ⁻ ;
Platino (II) ^b	OH ⁻	Sodio	
Renio (VII) ^b		Estroncio	SO ₄ ²⁻ ; CO ₃ ²⁻
Rodio (III) ^b	OH ⁻	Tantalio	OH ⁻
Rutenio (III) ^b	OH ⁻	Estaño	OH ⁻
Selenio		Titanio	OH ⁻
Plata ^d	Cl ⁻ ; OH ⁻	Ytrio	OH ⁻
Telurio		Zinc ^c	OH ⁻
Talio	OH ⁻	Zirconio	OH ⁻
Tungsteno (VI) ^{b,e}			
Vanadio	OH ⁻		

Tabla 11. Cationes de alta y baja peligrosidad

^a Los precipitantes están listados en orden de preferencia OH⁻; CO₃²⁻, siendo la base el hidróxido de sodio, y el carbonato de sodio.

^b El precipitante es para el estado de oxidación indicado

^c Los máximos niveles de tolerancia muy bajos, han sido mostrados como iones de baja toxicidad en algunos países, y grandes cantidades no pueden ser vertidas en el sistema de drenaje público. Las cantidades pequeñas típicamente utilizadas en los laboratorios normalmente no afectarán las corrientes residuales; sin embargo ellas pueden ser prohibidas por la legislación local y los propios trabajos de tratamiento. (POTW)

^d La recuperación de estos raros y caros metales puede ser económicamente más favorable.

^e Estos iones son precipitados mejor como molibdato (IV) de calcio, o Tungstenato (IV) de calcio.

^f PRECAUCION: El tetraóxido de Osmio OsO_4 , es volátil y es una sustancia extremadamente venenosa, es formada desde casi cualquier cantidad de compuesto de osmio bajo condiciones ácidas en la presencia de aire

ANIONES DE ALTA Y BAJA TOXICIDAD, Y PRECIPITANTES PREFERENTES

Aniones	Tipo de Riesgo	Precipitante	Aniones
Alta peligrosidad			Baja peligrosidad
Hidruro de Aluminio AlH_4^-	F,W	—	Bisulfito HSO_3^-
Amida NH_2^-	F,E ^b	—	Borato BO_3^{3-} ; $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$
Arsenato AsO_3^- ; AsO_4^{3-}	T	Cu^{2+} ; Fe^{2+} ; Ca^{2+}	Bromuro Br^-
*Arsenito AsO_2^- ; AsO_3^{3-}	T	H_2O_2 (oxidar a arsenato)	Carbonato CO_3^{2-}
Azida N_3^-	E,T	—	Cloruro Cl^-
Borohidruro BH_4^-	F	—	Cianato CNO^-
Bromato BrO_3^-	O,F,E	—	Hidróxido OH^-
Clorato ClO_3^-	O,E	—	Ioduro I^-
Cromato CrO_4^{2-} ; $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	T,O	—	Óxido O^{2-}

Cianuro CN^-	T	—	Fosfato PO_4^{3-}
Frerricianuro $(\text{Fe}(\text{CN})_6)^{3-}$	T	Fe^{2+}	Sulfato SO_4^{2-}
Ferrocianuro $(\text{Fe}(\text{CN})_6)^{4-}$	T	Fe^{3+}	Sulfito SO_3^{2-}
Flururo F^-	T	Ca^{2+}	Tiocianato SCN^-
Hidruro H^-	F,W	—	
HidroPeróxido O_2H^-	O,E	—	
Bisulfuro SH^-	T	—	
Hipoclorito ClO^-	O	—	
Iodato IO_3^-	O,E	—	
Nitrato NO_3^-	O	—	
Nitrito NO_2^-	T,O	—	
Perclorato ClO_4^-	O,E	—	
Permanganato MnO_4^-	T,O	—	
Peróxido O_2^{2-}	O,E	d	
Persulfato $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$	O	—	
Selenato SeO_4^{2-}	T	—	
Selenuro Se^{2-}	T	Cu^{2+} ;	
Sulfuro S^{2-}	T	e	

Tabla 12 Aniones de baja y alta toxicidad

^aT = Tóxico; O = Flamable; E = Explosivo; W = Reactivo con el agua.

^bAmidas metálicas, fácilmente forman peróxidos explosivos con el aire

^cReduce y precipita como Cromo III

^dReduce y precipita como Manganeseo II; Ver la tabla anterior 7.1

^eVer la tabla anterior 7.1

ANEXO III

TABLAS DE SOLUBILIDADES

Alcohol	Solubilidad en agua
METANOL	EN TODAS PROPORCIONES
ETANOL	EN TODAS PROPORCIONES
BUTANOL	8,3 %
OCTANOL	PRACTICAMENTE INSOLUBLE

Alcohol	Solubilidad en agua
<i>n</i> -butílico	9,1 %
<i>t</i> -butílico	Miscible
<i>iso</i> -butílico	10,0 %

Alcohol	Solubilidad en agua
Etanol + carbonato de sodio	Insoluble

Tabla 13. Solubilidad de algunos alcoholes en agua

Compuesto	Nombre	Kps
AgBr	Bromuro de plata	5×10^{-13}
AgCl	cloruro de plata	$1,8 \times 10^{-10}$
AgI	yoduro de plata	$8,3 \times 10^{-17}$
AgBrO ₃	bromato de plata	4×10^{-5}
AgIO ₃	yodato de plata	$3,0 \times 10^{-8}$
Ag ₂ S	sulfuro de plata	$2,1 \times 10^{-49}$
Ag ₃ PO ₄	fosfato de plata	$1,3 \times 10^{-30}$
Ag ₂ CO ₃	carbonato de plata	$6,2 \times 10^{-12}$
Ag ₂ Cr ₂ O ₇	dicromato de plata	$2,7 \times 10^{-11}$
Ag ₂ SO ₄	sulfato de plata	$1,6 \times 10^{-5}$
Ag ₃ AsO ₄	arseniato de plata	$1,0 \times 10^{-22}$
AgCN	cianuro de plata	$1,2 \times 10^{-16}$
Ag ₂ CrO ₄	cromato de plata	$1,9 \times 10^{-12}$
Al(OH) ₃	hidróxido de aluminio	5×10^{-33}
AuCl	cloruro de oro(I)	$2,0 \times 10^{-13}$
AuCl ₃	cloruro de oro(III)	$3,2 \times 10^{-25}$
BaCO ₃	carbonato de bario	$8,1 \times 10^{-9}$
BaC ₂ O ₄	oxalato de bario	$1,7 \times 10^{-7}$
BaCrO ₄	cromato de bario	$1,2 \times 10^{-10}$
BaF ₂	fluoruro de bario	$2,4 \times 10^{-5}$
Ba(IO ₃) ₂	yodato de bario	$6,0 \times 10^{-10}$
Ba(OH) ₂	hidróxido de bario	5×10^{-3}
BaSO ₄	sulfato de bario	$1,1 \times 10^{-10}$
Be(OH) ₂	hidróxido de berilio	$2,0 \times 10^{-18}$
Bi ₂ S ₃	sulfuro de bismuto(III)	$3,0 \times 10^{-96}$
CaCO ₃	carbonato de calcio	$4,8 \times 10^{-9}$
CaC ₂ O ₄	oxalato de calcio	$2,6 \times 10^{-9}$
CaCrO ₄	cromato de calcio	$7,1 \times 10^{-4}$

CaF_2	fluoruro de calcio	$4,0 \times 10^{-11}$
Ca(OH)_2	hidróxido de calcio	$5,5 \times 10^{-6}$
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	fósforo de calcio	$2,0 \times 10^{-29}$
CaSO_4	sulfato de calcio	$2,0 \times 10^{-4}$
CdCO_3	carbonato de cadmio	$5,2 \times 10^{-12}$
Cd(OH)_2	hidróxido de cadmio	$2,5 \times 10^{-14}$
CdS	sulfuro de cadmio	$1,6 \times 10^{-28}$
CeF_3	fluoruro de cerio(III)	8×10^{-16}
$\text{Ce(IO}_3)_3$	yodato de cerio(III)	$3,5 \times 10^{-10}$
Ce(OH)_3	hidróxido de cerio(III)	$1,5 \times 10^{-20}$
CoCO_3	carbonato de cobalto(II)	$1,4 \times 10^{-13}$
Co(OH)_2	hidróxido de cobalto(II)	$1,6 \times 10^{-15}$
CoS	sulfuro de cobalto(II)	5×10^{-22}
CrF_3	fluoruro de cromo(III)	$6,6 \times 10^{-11}$
Cr(OH)_3	hidróxido de cromo(III)	7×10^{-31}
CuBr	bromuro de cobre(I)	6×10^{-9}
CuCO_3	carbonato de cobre(II)	$1,4 \times 10^{-10}$
CuCl	cloruro de cobre(I)	$1,2 \times 10^{-6}$
CuI	yoduro de cobre(I)	1×10^{-12}
Cu(OH)_2	hidróxido de cobre(II)	$2,2 \times 10^{-20}$
$\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$	fósforo de cobre(II)	$1,3 \times 10^{-37}$
CuS	sulfuro de cobre(II)	4×10^{-36}
FeCO_3	carbonato de hierro(II)	$3,2 \times 10^{-11}$
Fe(OH)_3	hidróxido de hierro(III)	$4,0 \times 10^{-38}$
Fe(OH)_2	hidróxido de hierro(II)	$8,0 \times 10^{-16}$
FeS	sulfuro de hierro(II)	4×10^{-17}
Gd(OH)_3	hidróxido de gadolinio(III)	$1,8 \times 10^{-23}$
Hg_2Br_2	bromuro de mercurio(I)	$1,3 \times 10^{-22}$
$\text{Hg}_2\text{C}_2\text{O}_4$	oxalato de mercurio(I)	2×10^{-13}
Hg_2Cl_2	cloruro de mercurio(I)	$1,3 \times 10^{-18}$

MgC ₂ O ₄	oxalato de magnesio	$8,6 \times 10^{-5}$
MgF ₂	fluoruro de magnesio	$7,1 \times 10^{-9}$
Mg(OH) ₂	hidróxido de magnesio	$1,8 \times 10^{-11}$
MnCO ₃	carbonato de manganeso(II)	$1,8 \times 10^{-11}$
Mn(OH) ₂	hidróxido de manganeso(II)	$1,9 \times 10^{-12}$
MnS	sulfuro de manganeso(II)	1×10^{-5}
NiCO ₃	carbonato de níquel(II)	$6,6 \times 10^{-9}$
Ni(OH) ₂	hidróxido de níquel(II)	$1,6 \times 10^{-14}$
NiS	sulfuro de níquel(II)	$3,2 \times 10^{-19}$
PbCl ₂	cloruro de plomo(II)	$1,6 \times 10^{-5}$
PbBr ₂	bromuro de plomo(II)	9×10^{-6}
PbCO ₃	carbonato de plomo(II)	$3,3 \times 10^{-14}$
PbF ₂	fluoruro de plomo(II)	$2,7 \times 10^{-8}$
PbI ₂	yoduro de plomo(II)	$7,1 \times 10^{-9}$
Pb(IO ₃) ₂	yodato de plomo(II)	$1,2 \times 10^{-12}$
Pb(OH) ₂	hidróxido de plomo(II)	$1,2 \times 10^{-15}$
PbS	sulfuro de plomo(II)	8×10^{-28}
PbSO ₄	sulfato de plomo(II)	$1,6 \times 10^{-8}$
Sb ₂ S ₃	sulfuro de antimonio(III)	$1,7 \times 10^{-10}$
Sn(OH) ₂	hidróxido de estaño(II)	$1,4 \times 10^{-38}$
SnS	sulfuro de estaño(II)	$1,0 \times 10^{-28}$
SrCO ₃	carbonato de estroncio	$1,6 \times 10^{-9}$
SrSO ₄	sulfato de estroncio	$2,8 \times 10^{-7}$
TlBrO ₃	bromato de talio(I)	$8,5 \times 10^{-5}$
TlCl	cloruro de talio(I)	$1,7 \times 10^{-4}$
TlI	yoduro de talio(I)	$4,0 \times 10^{-9}$
TlIO ₃	yodato de talio(I)	4×10^{-7}
Tl ₂ S	sulfuro de talio(I)	$5,0 \times 10^{-22}$
ZnCO ₃	carbonato de zinc	$1,4 \times 10^{-11}$
Zn(OH) ₂	hidróxido de zinc	$1,2 \times 10^{-17}$
ZnS	sulfuro de zinc	$1,2 \times 10^{-23}$
ZrF ₄	fluoruro de zirconio(IV)	1×10^{-3}

Tabla 14. Tablas de Constantes del producto de solubilidad

BIBLIOGRAFIA

1. Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J. Analytical Chemistry, 7^a. ed., Nueva York, Saunders College Publishing, 1996
2. TURUGUET MAYOL D. Y GUARDINO SOLA X. Procedimientos para la eliminación de residuos (Traducción del "Laboratory Waste Disposal Manual" Editado por la M. C.A.). Documento Técnico 20, INSHT, Madrid, 1983.
3. Norma Oficial Mexicana *Límites máximos permisibles de contaminantes (NOM-002-SEMARNAT-1996)*, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de junio de 1998.
4. Smith, P. (Febrero de 2012). Directrices para el manejo y eliminación seguros de los productos químicos, UNODC. Volumen (11).
5. Gobierno de canarias. (2010). Neutralización. Valoración ácido-base. Recuperado de: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/lentiscal/1-CDQuimica-TIC/applets/Neutralizacion/teoria-neutralizacion.htm>
6. Subcomisión Mixta de Seguridad e Higiene F.C.Q. (2012). Guía para el manejo de RPBI.
7. Coheen. H., Soares. R., Pirazán.L., Silva.C., Serano.C., y wild.C. (2018). Reporte de balance de materia y energía: Proceso de electroforesis. Programa multidisciplinario de posgrado en ciencias ambientales