

# Trazabilidad residuo químico líquido en laboratorios de docencia. Caso: Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá D.C, Colombia

Traceability of Liquid Chemical Residues at Teaching Laboratories: Case of Study Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá D.C, Colombia

Liliana Caycedo<sup>1</sup>, Diana Trujillo<sup>1</sup>, Sonia Rosas<sup>1</sup>

## Resumen

**Objetivo:** Realizar seguimiento a la trazabilidad desde los reactivos hasta los residuos químicos líquidos (RQL) en los laboratorios de docencia destinados a prácticas de Química General en la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, D.C- Colombia. **Materiales y métodos:** Revisión, identificación y análisis fisicoquímico de los volúmenes de RQL (básicos y ácidos) de las guías de laboratorio de la Química General. **Resultados:** Los resultados confirmaron que la solubilidad y en especial el solvente facilitan la formación de especies iónicas que pueden ser identificadas en los RQL. Las sustancias utilizadas en los laboratorios docentes continúan reaccionando después de finalizada la práctica, como consecuencia es pertinente tener clara la forma como se van a almacenar los productos de las reacciones.

**Palabras clave.** trazabilidad, residuos químicos, política ambiental, gestión integral de desechos.

## Abstract

**Objective:** To trace and follow chemical reagents from their initial use to their final disposition in the General Chemistry teaching laboratories at Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Bogotá, D.C- Colombia. **Materials and Methods:** Laboratory guidelines were reviewed to determine type of reagents for General Chemistry practices and their corresponding volumes. Physical and chemical analyses were subsequently conducted on the identified compounds independent of their level of acidity. **Results:** Ionic species were identified and attributed to the type of solvent and their solubility properties. Once laboratory practices are completed, reagents continue to react and thereby is of the utmost importance to assure proper storage and handling conditions.

**Keywords.** traceability, chemical residues, environmental policy, integrated waste management

<sup>1</sup>Docentes Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.  
Correspondencia: .smrosas@unicolmayor.edu.co

## Introducción

Los residuos químicos son considerados como residuos peligrosos por el decreto 4741 de 2005 (1-2), la connotación de RQL le confiere a este tipo de residuo propiedades como la solubilidad, permeabilidad, viscosidad y temperatura de evaporación, entre otras que favorecen la dispersión de contaminantes y la formación de nuevos compuestos.

De esta forma, es posible que en los laboratorios de química general se desechen los residuos equiparándolos con los reactivos que se han utilizado en los experimentos, generando así confusión e inadecuada identificación de lo que constituye realmente el residuo químico.

De acuerdo con el Manual de Procedimientos de Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y similares en Colombia se consideran a los residuos químicos como: “...*los restos de sustancias químicas y sus empaques ó cualquier otro residuo contaminado con éstos, los cuales, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición tienen el potencial para causar la muerte, lesiones graves o efectos adversos a la salud y el medio ambiente*” (3).

Por el grado de peligrosidad y toxicidad al ambiente que tienen este tipo de sustancias se pueden clasificar de acuerdo a su composición, a su solubilidad y a sus propiedades físico-químicas en: (a) fármacos parcialmente consumidos, vencidos y/o deteriorados, (b) residuos de citotóxicos, (c) metales pesados, (d) reactivos, (e) contenedores presurizados, (f) aceites usados.

Una de las propiedades que potencia el efecto contaminante de los RQL es la solubilidad, debido a que la condición del agua como solvente

potencia los solutos para la formación de nuevos compuestos que no se encuentran en la clasificación anterior. Como consecuencia se pueden hallar diferentes combinaciones de residuos que aumenten el grado de toxicidad.

La solubilidad y la formación simultánea de iones (cationes y aniones) favorecen choques intermoleculares facilitando la formación de nuevas sustancias diferentes a las que se tenían planteadas para una reacción específica. En consecuencia, cuando el residuo de la práctica se desecha es pertinente cuestionarse por las posibles interacciones que continúan ocurriendo en los recipientes temporales que se encuentran dispuestos en los laboratorios a fin de proponer la mejor alternativa de almacenamiento que produzca el menor número de sustancias contaminantes y nocivas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se revisaron los volúmenes de RQL de las guías de laboratorio de la Química General y con esta información se diagnosticaron los aspectos fisicoquímicos de los RQL recolectados en los laboratorios de Química de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca durante el primer semestre de 2012, para el caso particular en estos laboratorios se recolectan los residuos de las reacciones y los sobrantes del reactivo de preparación en dos galones, uno identificado como residuos básicos y otro como residuos ácidos.

De esta forma se establecieron las posibles especies catiónicas y aniónicas formadas por el efecto de solubilidad antes mencionado. El análisis se enfocó en el hallazgo de cationes en el galón de residuo básico y de aniones en el galón de residuos ácido entre otros analitos como se aprecia en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Aspectos de análisis practicado al residuo químico líquido (RQL).

Tipo de residuo	Análisis identificados
<b>RQL básico</b>	Alcalinidad total, nitrógeno amoniacal, cloruros, color, conductividad, DBO5, DQO, densidad, tenso activos, dureza total, grasas y aceites, pH, sólidos sedimentables, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos totales, turbiedad, aluminio, arsénico, bario, boro, cadmio, calcio, cobre, cromo total, hierro, litio, magnesio, manganeso, mercurio, níquel, plata, plomo total, potasio, selenio sodio, zinc.
<b>RQL ácido</b>	Acidez total, nitrógeno amoniacal, cianuros, cloro residual total, cloruros, color, conductividad, dbo5, dco, densidad, tensoactivos, fenoles totales, fluoruros, fosforo total, grasas y aceites, nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico, ortofosfatos, pH, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos totales, sulfatos, sulfitos, sulfuros, turbiedad, cromo total, magnesio, plomo total, potasio y sodio.

Como resultado se observó que al contrastar el volumen de RQL producido en los laboratorios contra lo que se realmente se almacena en los galones, un volumen de aproximadamente 18 L de RQL van a los vertederos al finalizar las practicas, lo que indica un impacto ambiental considerable. En cuanto a la composición del RQL y atendiendo lo establecido por la clasificación referida en el código de Basilea (4) se puede establecer que en los RQL se encuentran residuos no planeados en las prácticas tales como metales pesados (mercurio, plomo y cadmio) así como aniones altamente reactivos como cloruros, fluoruros y sulfuros.

Los resultados confirman que la solubilidad, y en especial el solvente, facilita la formación de especies iónicas que pueden ser identificadas en los RQL, es decir que estas sustancias continúan reaccionando después de finalizada la práctica, como consecuencia es pertinente tener clara la forma como se van a almacenar los productos de las reacciones en los laboratorios de docencia que desarrollan prácticas Química General.

Por ejemplo la presencia de cloro residual, fluoruros, fósforo, nitrógeno orgánico, sulfatos, sulfuros y sulfitos en las muestras procedentes de los galones destinados a recolectar residuos ácidos tiene un efecto ambiental importante por cuenta de la acidificación del residuo y de la interacción anionica.

Igualmente, respecto a los metales pesados, la presencia de cromo y plomo en los residuos de naturaleza acida, no se asocia al empleo de reactivos previstos en las prácticas y por lo tanto no corresponde al tipo de almacenamiento, aquí se evidencia una vez más la inadecuada separación en la fuente de las soluciones empleadas en los laboratorios de docencia.

El hallazgo en el residuo básico de metales como cadmio, cromo, mercurio, níquel, y plomo, está asociado a contaminaciones cruzadas, con excepción del mercurio que puede proceder del uso del *reactivo de Millon* utilizado en prácticas de identificación orgánica.

Para el manejo del RQL se definieron alternativas diseñadas a partir del concepto químico (mecanismo de reacción) así se propone un plan de minimización del RQL desde el diseño de las practicas del laboratorio que privilegie el uso de mezclas más que de sustancias puras, partiendo de la premisa “entre más pureza química mayor contaminación”.

***Recomendaciones ambientales en prácticas relacionadas con la preparación de soluciones oxidantes***

Solución de permanganato de potasio. Uno de los reactivos típicos para la explicación del efecto oxidante es el permanganato de potasio ( $KMnO_4$ ), agente químico usado preferiblemente en solución

a diferentes concentraciones, por sus características químicas y su solubilidad se ha constituido en un reactivo que no está ausente en las prácticas de docencia.

En cuanto a propiedades organolépticas y físicas, se puede señalar que el permanganato de potasio es una sal inodora, sólida a temperatura ambiente con coloraciones entre azules y violetas intensas que varían en función del tiempo de contacto con el aire. Precisamente esta propiedad física de viraje es lo que hace que sea utilizado ampliamente en los análisis de tipo volumétrico, en los que se aprovecha la intensidad del color para determinar el punto final de la titulación; a partir de este proceso se originan iones  $Mn^{+2}$  que no deben ignorarse dentro del manejo ambiental, adicionalmente si el proceso de valoración ocurre en medio ácido se forma dióxido de manganeso.

#### ***Manejo del residuo químico líquido procedente del permanganato de potasio***

$Mn^{+2}$ . Al no ser una forma estable, y con el objeto de controlar el proceso oxidativo, se propone utilizar como destino final el almacenaje donde haya presencia de soluciones que cuenten con especies químicas de carácter ácido (ácido clorhídrico, ácido sulfúrico) para obtener como producto final sales neutras del tipo cloruro o sulfato; en un medio ácido, esta condición es importante si se desea generar un proceso de biodegradación del residuo porque la condición de pH del residuo debe adecuarse al comportamiento del microorganismo o agente biológico para que se genere una verdadera respuesta dentro del proceso de biodegradación.

$MnO_2$ . Como el proceso se encuentra en estado de oxidación, este producto tiene como alternativa de destino final el almacenaje, en donde se albergan sustancias de carácter ácido con el fin de asegurar que el resultado final sea una sal neutra.

No es una alternativa arrojar el producto de esta reacción en el recipiente donde se almacenan las bases, porque no se controla la reacción del metal

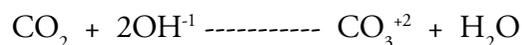
y el medio no posibilitaría la formación de sales con carácter neutro como por ejemplo:  $MnCl_2$ ,  $Mn(ClO_3)_2$ ,  $MnSO_4$ ,  $NaHCO_3$ .

#### ***Recomendaciones ambientales en prácticas relacionadas con volumetrías***

Biftalato de potasio como valorante primario en neutralizaciones. Este compuesto es un patrón primario en volumetrías de neutralización. Un patrón primario es una sustancia utilizada en química como referencia al momento de hacer una valoración o estandarización.

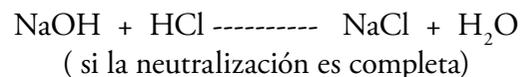
Hidróxido de sodio como valorante de segundo orden en neutralizaciones. Es uno de los reactivos que más se usa en titulaciones. Es pertinente aclarar que generalmente se utiliza como un valorante secundario, y debido a su grado de disociación, se usa acompañado de la fenolftaleína como indicador ácido-base, lo cual puede acarrear la liberación de compuestos fenólicos en los procesos.

Siguiendo el camino del reactivo hasta el residuo se debe considerar el efecto del ion carbonato, el cual es absorbido por la solución básica de acuerdo a la siguiente reacción:



Estos carbonatos reaccionan con iones  $Na^{+1}$  solubles en agua. En el proceso de neutralización y al utilizar la fenolftaleína, el ion carbonato  $CO_3^{+2}$  captura un hidrogenión formando iones bicarbonato  $HCO_3^{+1}$ ; bajo esta consideración es importante tener en cuenta la presencia de carbonatos que acompaña al residuo proveniente del hidróxido de sodio.

En la reacción global de la neutralización, el otro producto estable que se forma es el cloruro de sodio.



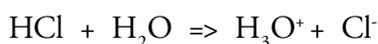
En este caso es recomendable generar el almacenamiento de los valorantes primarios en un recipiente independiente de los denominados ácidos y bases.

### ***Manejo del residuo químico líquido procedente del hidróxido de sodio***

Los estados intermedios en la formación de las sales neutras tales como carbonatos, bicarbonatos y cloruros de sodio, entre otros, implican la formación y liberación de cationes ( $\text{Na}^{+1}$ ).

La liberación del catión  $\text{Na}^{+1}$  constituye un proceso de oxidación que conlleva, a su vez, la pérdida de un electrón desde el sodio metálico inestable hacia la formación de una sal neutra, lo que genera que el metal adquiere mayor estabilidad química. Con el objeto de controlar el proceso oxidativo, se propone utilizar como recipiente de almacenaje en el laboratorio el mismo para todos los residuos de neutralización, así se propicia el ambiente químico para la interacción entre los iones (cationes) restantes y los posibles aniones procedentes de los reactivos de carácter ácido.

Ácido clorhídrico como valorante de segundo orden en neutralizaciones. Este compuesto, como sustancia covalente polar, es una de alta solubilidad en agua, lo que incide directamente en la reactividad del mismo.



El ácido clorhídrico en agua se disocia casi completamente, con el ion de hidrógeno capturado por las moléculas de agua para generar el ion hidronio ( $\text{H}^+$ ), el cual se convierte en donador de un protón que posee propiedades catalíticas y por tal razón es capaz de reaccionar con moléculas orgánicas. Esto puede explicar la capacidad del cloruro de hidrógeno para inducir lesiones celulares y necrosis. Por sus características físicas y de constitución molecular, este material se torna persistente en el suelo y puede filtrarse en el agua subterránea.

### ***Recomendaciones ambientales en prácticas relacionadas con la utilización de fenol o compuestos fenólicos***

El fenol, en particular, corresponde a un derivado directo del benceno en el cual se ha sustituido un hidrogeno por un grupo hidroxilo proceso que le otorga cierta polaridad y por lo tanto cierta solubilidad en compuestos polares como el agua debido a la formación de puentes de hidrógeno.

En consecuencia, los compuestos fenólicos son las sustancias químicas cuya característica común es tener en la molécula al menos un anillo aromático en el que uno de los átomos de hidrógeno está sustituido por un grupo hidroxilo.

En las prácticas químicas de docencia las aplicaciones de este compuesto se limitan principalmente a su uso como solvente, aun conociendo los efectos importantes que se desencadenan sobre la salud los cuales pueden ir desde la irritación de la piel, mucosas y garganta hasta quemaduras, alteraciones hepáticas, renales y cardiacas cuando el contacto es muy prolongado.

Sin embargo, es importante considerar que este tipo de compuestos fenólicos generan cadenas de reacciones con otros reactivos como es el caso de la oxidación del ácido benzoico, la hidrólisis del cloro benceno y la reacción del benceno-sulfonato de sodio, el cual se funde con hidróxido de sodio seguido de acidificación.

Así mismo, es importante precisar que los fenoles son esenciales en la preparación de colorantes y por tanto pueden derivar en nuevas reacciones en las cuales intervienen estos reactivos.

Uno de los aportes más significativos de esta investigación es el reconocimiento de los mecanismos de reacción para que la disposición final del RQL atienda la incidencia del agua como compuesto polar con el fin de lograr consolidar una alternativa de biorremediación y un adecuado manejo del residuo. Igualmente en la siguiente fase de la

investigación se pretende contribuir al estado del arte desde la propuesta de una alternativa de biotratamiento del RQL y desde lo formativo se tiene como objetivo lograr consolidar una propuesta de formación en educación superior que aporte al marco de la química ambiental.

## Referencias

1. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos. República de Colombia. 2005.
2. Congreso de la República, Diario Oficial 46137, Decreto 4741 de 2005 *por el cual se reglamenta la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral*. Bogotá, D.C. 2005.
3. Ministerio del Medio Ambiente. Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares En Colombia. República De Colombia. 2002.
4. Convención de Basilea sobre el Control del Movimiento transfronterizo de Desechos peligrosos y su Eliminación. Guía Metodológica para la Realización de Inventarios Nacionales de Desechos Peligrosos. Convención De Basilea. Primera Versión Basilea/Sbc No.: 99/009 Ginebra. 2000.