TRATAMIENTO DE RESIDUALES DE LABORATORIOS DOCENTES DE QUÍMICA: ACCIONES PARA MINIMIZAR LA CONTAMINACIÓN

Ing. José Luis Laucerica Núñez[1,4], MSc. Damarys González Rodríguez[2], Ing. Yumisán de Bárbara Sánchez Linares[3], Dr.C. Luis García Plasencia[1]

[1] Departamento de Química e Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba. jose.laucerica@umcc.cu

[2] Laboratorio de Monitoreo Ambiental. Centro de Servicios Ambientales. Matanzas. Cuba.

[3] Centro Provincial de Higiene y Epidemiología. Matanzas. Cuba

[4] Laboratorio de Ensayos. Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas. Cuba

CD de Monografías 2016
(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Resumen

El trabajo se relaciona con los residuales líquidos que se generan en los laboratorios docentes de Química de la Universidad de Matanzas. Se realiza un tratamiento de neutralización a partir de una caracterización físico – química previa de los residuales, que considera los parámetros de examen físico, pH, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales, dureza total y el contenido de iones cloruro. Se proponen acciones para la adecuada gestión de los mismos, basándose en los principios de la Química Verde y el convenio de Basilea. Los resultados de la caracterización reportan volúmenes medios de 7,18L. Se obtienen valores de pH ácidos y básicos, que son peligrosos por corrosividad, elevados contenidos de materia orgánica y sólidos totales, que se encuentran por encima de lo establecido en las normas cubanas para el vertimiento. Con el tratamiento por neutralización realizado se obtienen buenos resultados en la remoción de la demanda química de oxígeno, por lo que se reduce considerablemente la contaminación.

Palabras Claves: *Residuales Líquidos, Laboratorios docentes de Química, Tratamiento, Neutralización.*

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Introducción.

Las dos últimas décadas se han caracterizado por la preocupación que el hombre ha demostrado hacia el ambiente y su propia integridad. Algunos inconvenientes como la acumulación y la producción desmedida de residuos, motivaron a la humanidad a reflexionar sobre el futuro de la tierra y el de su propia supervivencia. La preocupación, que se concibió en los países con mayor desarrollo, obligó la toma de medidas que contrarrestan dicha situación (Mera, *et al*., 2007; Fernández, 2008; Muñoz, 2008; Galvis, 2009).

Los riesgos al ambiente y a la salud humana, causados por la generación de residuos químicos y peligrosos, han generado alertas por los efectos adversos que estos han ocasionado al planeta (García – Vidal, *et al*., 2006). La contaminación de cuerpos acuíferos (aguas subterráneas y fuentes hídricas), causada por la disposición inadecuada de los residuos químicos y peligrosos, impulsó a nivel mundial un tratamiento de alta prioridad para que se les diera un adecuado manejo (Bertini y Salvador, 2009; Galvis, 2009).

A partir de lo proclamado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, desarrollada en Rio de Janeiro, se dio inicio a la regulación de esta problemática mediante la promulgación de una serie de legislaciones que han establecido procesos de tratamiento, recolección, reutilización, almacenamiento, transporte y disposición final, buscando minimizar los impactos negativos generados sobre variables del medio natural y socioeconómico (Terry, 2001; Álvarez, 2005; Galvis, 2009).

A tales efectos, en la Ley 81 de Protección del Medio Ambiente (1997) se establece el control estricto sobre el vertimiento de las aguas residuales previamente tratadas, y es precisamente la protección del medio ambiente uno de los lineamientos que rige el desarrollo sostenible en nuestro país y constituye un factor relevante, por lo que se contribuye a asegurar la disponibilidad de los recursos naturales indispensables para la satisfacción de las necesidades básicas de la población.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Sobre esta situación, los generadores de residuos tienen la responsabilidad de realizar las acciones necesarias para que estos no ocasionen daños a su entorno. Dentro de los generadores institucionales se encuentran las universidades, especialmente las que poseen carreras técnicas y tienen laboratorios docentes de Química (Bertini y Salvador, 2009).

La actividad docente en los laboratorios universitarios de Química tiene un fuerte impacto ambiental debido a la manipulación con sustancias tóxicas y peligrosas (Torres, *et al*., 2011). Aunque el volumen de residuales generado en estos laboratorios es generalmente pequeño en relación al proveniente del sector industrial, no debe subvalorarse el problema que estos puedan ocasionar (Laucerica, 2007; Mera, *et al*., 2007; Bertini y Salvador, 2009; Laucerica, *et al.*, 2014). Condiciones de trabajo adecuadas implican inevitablemente el control, tratamiento y eliminación de los residuos generados en los mismos, por lo que su gestión es un aspecto imprescindible en la organización de todo laboratorio (Gadea y Guardino, 1991; Berrio, *et al*., 2012).

El tipo de tratamiento y gestión de los residuos de laboratorio depende, entre otros factores, de las características y peligrosidad de los mismos, así como de la posibilidad de recuperación, de reutilización o de reciclado, que para ciertos productos resulta muy aconsejable (Berrio, *et al*., 2012). Conocer la composición química de los residuales y las formas de tratamiento permite la realización de acciones para minimizar el daño que provocan en las instalaciones de los respectivos laboratorios y en los cuerpos receptores donde sean vertidos. A su vez, los resultados son de gran utilidad desde el punto de vista educativo del estudiante universitario, en lo que se refiere al aspecto medioambiental, por la posibilidad de realizar acciones sencillas para disminuir la agresividad de estos residuales, y de esta manera crear una conciencia de protección y cuidado al medio ambiente, como parte de su formación integral (Laucerica, *et al.*, 2014).

Los laboratorios docentes de Química y sus residuales.

Las aguas residuales, según su origen, son la combinación de agua y residuos procedentes de diferentes actividades socioeconómicas y productivas, industrias, viviendas, instalaciones agropecuarias a las que pueden agregarse de forma eventual determinados

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

volúmenes de aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Benavides, 2007; Soto, 2007; Mayo, 2010; García, 2012; Chamorro, 2014).

De acuerdo con la fuente generadora (Ramalho, 1996; Serrano, *et al.*, 2006; Calao, 2007; Soto, 2007, Muñoz, 2008; Méndez y Feliciano, 2010; Aguiar, 2015) se pueden clasifican en:

- Domésticos: Aguas residuales generadas en asentamientos poblacionales, escuelas, instalaciones turísticas, edificios públicos, centros comerciales e instalaciones sanitarias de las industrias, que se componen fundamentalmente de desperdicios humanos.
- Industriales: Aguas residuales resultantes de la actividad manufacturera, la industria extractiva y el procesamiento de los productos de la actividad agropecuaria. Son muy variables en cuanto a caudal y composición y se difieren en las características de los vertidos, no solo de una industria a otra, también dentro de un mismo tipo de industria. Estas son más contaminadas que las aguas residuales urbanas.
- Agropecuarios: Aguas residuales generadas en las instalaciones agropecuarias (centros porcinos, vaquerías, granjas avícolas, producciones agrícolas). Son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales.
- Municipales: Combinación de aguas residuales provenientes de residencias, edificios públicos, establecimientos comerciales, sistemas de drenaje pluvial y algunas industrias.
- De laboratorios: Los residuos de laboratorio son un tipo de desecho producido por una actividad del hombre, y debemos tener en cuenta que estos residuos provienen de procesos con sustancias químicas que pueden ser altamente perjudiciales para la salud como para el medio ambiente.

En los laboratorios se manejan sustancias químicas y se efectúan diversas operaciones que conllevan a la generación de residuos que, en la mayoría de los casos, son peligrosos para la salud y el medio ambiente (Gadea y Guardino, 1991; Davis, *et al*., 1996; Zumalacárregui, *et al*., 2003; Osicka, *et al*., 2004).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Varios autores (Clavero, *et al*., 1998; Galvis, 2009; Guarín, 2010) otorgan una clasificación por grupos a los residuos generados en los laboratorios de Química, los que se detallan a continuación:

Grupo 1. Disolventes halogenados: Productos líquidos orgánicos con un contenido superior al 2% de algún halógeno. Se trata de productos muy tóxicos e irritantes y, en algunos casos, cancerígenos. Se incluyen en este grupo también las mezclas de disolventes halogenados y no halogenados, siempre que el contenido en halógenos de la mezcla sea superior al 2%.

Grupo 2. Disolventes no halogenados: Líquidos orgánicos inflamables que contengan menos de un 2% en halógenos.

Grupo 3. Disoluciones acuosas: En este grupo se incluyen tanto las soluciones acuosas de productos orgánicos como inorgánicos.

Disoluciones acuosas inorgánicas:

- Soluciones acuosas básicas: hidróxido sódico, hidróxido potásico.
- Soluciones acuosas ácidas de metales pesados: níquel, plata, cadmio, selenio, fijadores.
- Soluciones acuosas ácidas sin metales pesados (menos del 10 % en volumen de ácido).
- Soluciones acuosas de cromo (VI).
- Otras soluciones acuosas inorgánicas: reveladores, sulfatos, fosfatos, cloruros.

Disoluciones acuosas orgánicas o de alta Demanda Química de Oxígeno (DQO):

- Soluciones acuosas de colorantes: naranja de metilo, fenolftaleína, etc.
- Soluciones de fijadores orgánicos: formol, fenol, glutaraldehído.
- Mezclas agua/disolvente: eluyentes de cromatografía, metanol / agua.

Grupo 4. Ácidos: Corresponden a este grupo los ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas (más del 10% en volumen). Debe tenerse en cuenta que su mezcla, en función de la composición y la concentración, puede producir alguna reacción química peligrosa con desprendimiento de gases tóxicos e incremento de temperatura.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Grupo 5. Aceites: Aceites minerales derivados de operaciones de mantenimiento y en su caso, de baños calefactores.

Grupo 6. Sólidos: Productos químicos en estado sólido de naturaleza orgánica e inorgánica y el material desechable contaminado con productos químicos.

Grupo 7. Especiales: Productos químicos, sólidos o líquidos, que por su elevada peligrosidad, no deben ser incluidos en ninguno de los otros grupos, así como los reactivos puros obsoletos o caducados.

Las características fundamentales que presentan los residuales generados en los laboratorios de Química (Davis, *et al*., 1996; Clavero, *et al*., 1998; Serrano, *et al*., 2006; Guarín, 2010; Jiménez, *et al*., 2010; Paredes, 2012) son:

Inflamabilidad. Un residuo químico exhibe la característica de inflamabilidad si posee cualquiera de las siguientes propiedades:

- Es líquido y presenta un punto de inflamación inferior a 61°C en ensayos de copa cerrada o no superior a 65,6°C en ensayos de copa abierta. No se incluyen en esta definición, las disoluciones acuosas con una concentración de volumen de alcohol inferior o igual al 24%.
- No es líquido y es capaz de provocar, bajo condiciones estándares de presión y temperatura (1 atmósfera y 25°C), fuego por fricción, por absorción de humedad o cambios químicos espontáneos, y cuando se inflama, lo hace en forma tan vigorosa y persistente, que ocasiona una situación de peligro.
- Es un gas comprimido inflamable. Se dice que un gas o una mezcla de gases es inflamable cuando al combinarse con aire constituye una mezcla que tiene un punto de inflamación inferior a 61°C.

- Es una sustancia oxidante, tal como los cloratos, permanganatos, peróxidos inorgánicos o nitratos, que genera oxígeno lo suficientemente rápido como para estimular la combustión de la materia orgánica.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Corrosividad. Un residuo químico exhibe la característica de corrosividad si posee cualquiera de las siguientes propiedades:

- Una solución acuosa que posee un pH menor o igual a 2, o mayor o igual que 12,5 es considerado corrosivo.
- Sólidos que, cuando son mezclados con una parte igual de agua, forman soluciones con un pH como es descrito en el punto anterior.
- Las sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos puedan ejercer una acción destructiva de los mismos.
- Corroe el acero a una tasa mayor de 6,35 mm/año, a una temperatura de 55°C según el método de la Tasa de Corrosión.

Reactividad. Un residuo químico exhibe la característica de reactividad si posee cualquiera de las siguientes propiedades:

- Cuando se mezcla con agua, reacciona violentamente, forma mezclas potencialmente explosivas, o genera gases tóxicos en cantidades suficientes como para presentar un peligro a la salud humana.
- Contiene cianuros o sulfuros que cuando son expuestos a condiciones de pH entre 2 y 12,5 pueden generar gases tóxicos en cantidades suficientes como para presentar un peligro a la salud humana.

Toxicidad. Una mezcla que contenga residuos tóxicos a una concentración equivalente mayor o igual que 0,001% es una mezcla o residuo tóxico.

Carcinogenia. Si esta mezcla contiene un residuo cancerígeno en una concentración mayor de 0,01% es un residuo cancerígeno.

Persistencia Medioambiental. Los residuales que contienen un residuo persistente, en concentración total mayor a 0,01% para hidrocarburos halogenados y mayor que 1% para hidrocarburos con 4, 5 y 6 anillos es un residuo peligroso persistente.

La minimización de residuos químicos es la reducción, en lo posible, de residuos químicos peligrosos que son generados o subsecuentemente tratados, almacenados, o descargados.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Incluye cualquier reducción en la fuente, reciclaje, o actividades de tratamiento que resulten en la reducción del volumen total o en la cantidad de residuos químicos peligrosos, o la reducción de la toxicidad de los residuos químicos peligrosa, o ambos. (Serrano, *et al*., 2006; Quintero y Salichs, 2007; Fernández, 2008; Castillo, 2000; Guarín, 2010).

Reducción en la fuente. Es el más preferible acercamiento a la minimización de residuos, puede verse como una actividad que reduce o elimina la generación de un residuo químico peligroso en un proceso. Los elementos de reducción en la fuente son los siguientes:

- *Cambio de reactivos*. La generación de residuos de solventes puede ser reducida al sustituir los solventes por otros materiales menos tóxicos o seguros medioambientalmente. Por ejemplo, detergentes biodegradables podrían ser sustitutos de solventes usados para limpiar.
- *Cambios de procedimientos y operación*. Aspectos de la vida diaria pueden ser extremadamente importantes en la reducción de residuos. "Buena operación" o "buena administración doméstica" incluyen el entrenamiento de los usuarios, control de inventarios, incentivar la propia iniciativa de los usuarios para aumentar la conciencia de la necesidad para la minimización de residuos, y reforzar la mantención de requerimientos para el uso de metodologías preventivas en un esfuerzo para reducir el número de fugas y derrames.
- *Implementación de políticas rígidas de procedimientos*. Los usuarios de químicos deberían procurar establecer procedimientos de control.

Reciclaje. El reciclaje incluye tanto la reutilización, como la recuperación. El reciclo puede ser visto como cualquier actividad que reduce el volumen de residuos peligrosos y/o tóxicos con la generación de un material valioso o una corriente de energía. Reutilización, recuperación y reciclaje deberían ser las primeras consideraciones antes de clasificar una sustancia química como un desecho.

Tratamiento en el punto de generación, el laboratorio. El tratamiento es la reducción o eliminación de la toxicidad de un residuo químico peligroso por:

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

- Alteración de los constituyentes tóxicos del residuo a formas menos tóxicas o no tóxicas.
- Disminución de la concentración de constituyentes tóxicos en el residuo, por métodos distintos a la dilución. Los pasos del tratamiento están incluidos como parte del procedimiento del laboratorio, donde se evita incluir los subproductos en la corriente de los residuos. Idealmente, estos pasos del tratamiento deberían estar escritos en todos los procedimientos del laboratorio.

Otras alternativas son valoradas para disminuir los volúmenes de reactivos usados en experimentos de laboratorio como se plantea en el Reglamento de manejo de residuos peligrosos, 1998.

- Utilizar pequeños volúmenes de sustancias químicas en laboratorios docentes. El uso de pequeños volúmenes tiene varias ventajas: reducción de reactivos químicos utilizados y de residuos generados, disminución del riesgo de fuego y explosión y reducción de la concentración de vapores orgánicos perjudiciales en el aire del laboratorio.
- Identificar usuarios comunes de un reactivo químico particular. Esto aumentará el uso en conjunto de sustancias y minimizará los requerimientos de almacenaje.
- Uso de servicios del programa de residuos químicos peligrosos para la redistribución de reactivos químicos, o destilación de solventes acuosos y formaldehído.
- Mantener la segregación individual de corrientes residuales. Separar los residuos químicos peligrosos de los no peligrosos y los residuos químicos reciclables de los no reciclables.
- Desarrollar un dinámico inventario de los reactivos químicos de laboratorio para minimizar la acumulación. Asegurar que todos los químicos y los residuos químicos estén apropiadamente etiquetados. Actualizar el inventario de químicos, para utilizarlos antes que su vida de uso expire.
- Sustituir con reactivos químicos menos peligrosos.
- Asegurar que los usuarios de químicos estén instruidos en buenas técnicas de experimentación.
- Pesada previa de algunos de los reactivos químicos para uso de estudiantes.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

- Reciclaje o tratamiento de residuos químicos peligrosos como la última etapa en las prácticas de laboratorio.
- Implementación de estrictos procedimientos de chequeo para facultativos, laboratoristas y estudiantes en los casos requeridos.

Ejemplo de las operaciones para tratar los residuales en el laboratorio se muestran en la tabla siguiente:

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Tabla 1. Principales procesos de tratamiento.

Procesos físicos	Procesos químicos	Procesos térmicos
Sedimentación	Neutralización	Incineración
Filtración	Precipitación	
Destilación	Oxidación	
Intercambio iónico	Reducción	
Adsorción en carbón	Electrólisis	
Extracción con solventes	Estabilización química	
Estabilización / solidificación		

Fuente: Serrano, *et al*., 2006

Desarrollo

Para este trabajo se seleccionaron a criterio de expertos tres de las prácticas de laboratorio que más se realizan en un curso académico en la Universidad. Estas prácticas corresponden a tres laboratorios diferentes: Laboratorio de Química General, Análisis Químico y Química Orgánica. Las prácticas seleccionadas son:

→ Laboratorio de Química General. Determinación experimental de la variación de entalpía (R-QG).

→ Laboratorio de Análisis Químico. Determinación del % de HCl en una muestra de salfumán (R-AQ).

→ Laboratorio de Química Orgánica. Estudio experimental de la fracción queroseno del petróleo. Propiedades químicas y análisis orgánico de hidrocarburos alifáticos y aromáticos (R-QO).

El trabajo se desarrolló en tres etapas:

1. Toma de muestra, inmediatamente después de desarrollada la práctica por los estudiantes.
2. Determinación de algunos parámetros de caracterización físico – química (APHA, AWWA, WEF, 1999).
3. Tratamiento por neutralización y propuesta de acciones para minimizar la contaminación provocada por los residuales de los laboratorios.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Parámetros de caracterización físico – química.

Densidad. El método se basa en la determinación de la masa de la muestra de acuerdo a un volumen prefijado. Se parte de 25 mL contenidos en un Pignómetro Gay Lussac. La pesada se realiza a 20°C y se expresa en gramos / mililitros (g/mL).

pH. La determinación del pH se realizó por el método potenciométrico directo, en un pH metro HANNA HI 2210, con las disoluciones buffers de calibración correspondientes.

Oxigeno disuelto (O.D). El parámetro se determina por el método del electrodo de membrana, el cual se basa en la tasa de difusión del Oxígeno molecular a través de una membrana. Se utiliza un Oxímetro HACH, y se expresa el resultado en miligramos / litro (mg/L).

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Para la determinación de la DQO se utilizó la técnica que tiene como principio que la mayoría de las sustancias orgánicas son destruidas por una mezcla hirviente de ácidos crómico y sulfúrico en cantidades conocidas. El exceso de dicromato se valora con sulfato ferroso amoniacal. Se utiliza un equipo de reflujo abierto y se expresa el resultado en miligramos / litro (mg/L).

Sólidos Totales, Sólidos Totales Fijos y Sólidos Totales Volátiles. Para la determinación se utilizan métodos analíticos gravimétricos por volatilización, a partir de 50 mL de muestra, a los que se les realiza un tratamiento en estufa (Estufa – incubadora digital AISET YLD-6000) por 1 hora y posteriormente en mufla (Horno mufla analógico Box-type electric furnace modelo SX2) durante 15 minutos. El resultado se expresa en miligramos / litro (mg/L).

Tratamiento de los residuales estudiados.

El tratamiento por neutralización de los residuales, a escala de laboratorio, se realizó durante un tiempo de 5 minutos y hasta un valor de pH= 7, parámetros optimizados en

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

trabajos anteriores (Laucerica, 2007). La variable que se analiza posterior al tratamiento es: la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La metodología para el tratamiento de los residuales seleccionados se realizó a través de los siguientes pasos:

- Se seleccionó un volumen representativo del volumen total del residual y se diluyó con agua a una proporción 1:5, utilizando un vaso de precipitado de 5L.
- Se procede a la neutralización utilizando hidróxido de sodio o ácido sulfúrico al 5%, con medición potenciométrica de pH y uso de cronómetro para medir el tiempo del tratamiento. Para garantizar la homogeneidad de la mezcla se emplea un agitador de hélice (Agitador de hélice digital IKA, modelo RW 20).
- Terminado este proceso se toma una muestra y se determina la Demanda Química de Oxígeno, para valorar la efectividad del mismo.

Resultados de la caracterización físico – química.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del análisis organoléptico, determinaciones de volumen y densidad de los residuales líquidos generados en prácticas de laboratorios.

Tabla 2. Características generales de los residuales estudiados.

Residual	Análisis organoléptico.	Volumen, L	Densidad, g/mL
R-QG	Líquido incoloro, inodoro y con presencia de espuma.	3,2	0,9980
R-AQ	Líquido de color violeta, inodoro.	10	0,9975
R-QO	Líquido amarillo verdoso y aceitoso con olor característico del queroseno.	8,35	1,0008

Según se aprecia en la tabla 2 el examen físico de los residuales estudiados muestra que todos son líquidos acuosos, en su mayoría coloreados. Por lo general los olores de los residuales se corresponden con el olor de los componentes mayoritarios durante el desarrollo de la práctica, por tal motivo las muestras R-QG y R-AQ no presentan olor, a

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

diferencia del residual de la práctica de Química Orgánica, que presenta olor a queroseno, ya que se estudia en la práctica de laboratorio esta fracción del petróleo.

Los volúmenes obtenidos de los residuales que se estudian están en el rango de 3 y 10L, con un valor medio general de 7,18L. Estos valores se corresponden con lo encontrado en la literatura donde se han reportado volúmenes de 4 y 10 Litros (Reglamento de Manejo de Residuos Peligrosos, 1998), y coinciden con valores reportados por Laucerica, 2007 que obtuvo residuales con volúmenes promedios de 8,9L.

El residual de la práctica de laboratorio de Química General genera menor volumen de residual, lo cual se fundamenta porque en esta asignatura se emplean ensayos que implican pocos volúmenes de agua y los estudiantes trabajan en equipos, de al menos, dos integrantes.

En la práctica de laboratorio de Análisis Químico se preparan una mayor cantidad de disoluciones, con el mayor número de ensayos, réplicas, operaciones de limpieza e independencia del estudiante ya que se realiza el trabajo de forma individual, hecho que explica el volumen generado (Laucerica y Hernández, 2001).

Dada la naturaleza acuosa de éstos residuales, por ser el agua el principal disolvente de los ensayos químicos y las operaciones de limpieza, las densidades de éstos son comparables a la densidad del agua, con valores ligeramente inferiores y superiores a esta magnitud y coincidente con los valores de densidad obtenidos en estudios previos (Laucerica y Hernández, 2001; Laucerica, 2007; Laucerica, *et al*., 2014).

Resultados de la determinación del pH.

Como ya ha sido indicado los residuales con pH ≤ 2 o pH ≥ 12 son considerados peligrosos por corrosividad. Según se aprecia en la figura 1 los residuales objeto de estudio presentan valores de pH ácidos y básicos.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

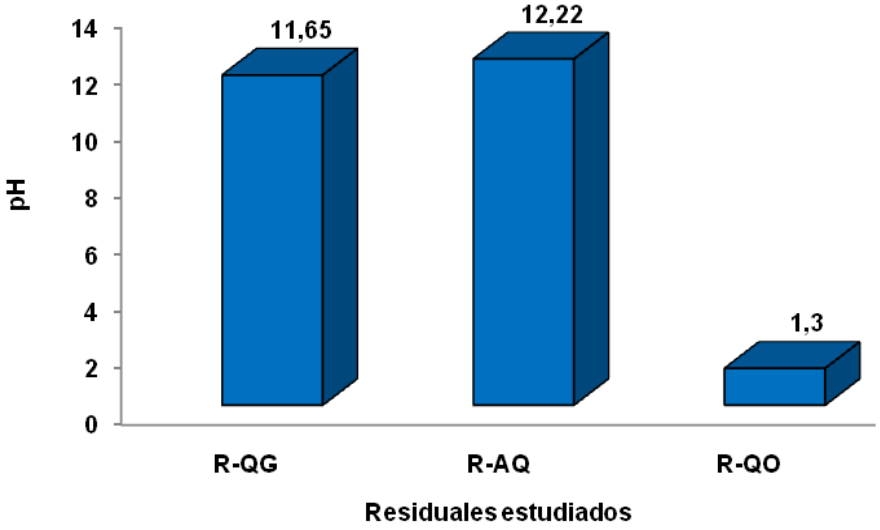

Figura 1. Comportamiento del pH en los residuales estudiados.

De los residuales estudiados, la muestra del laboratorio de Química Orgánica (R-QO) es clasificada como ácido, y peligroso por corrosividad. Este resultado se fundamenta por el uso de los ácidos: sulfúrico, clorhídrico y acético, como reaccionante y disolventes de pruebas de solubilidad.

Los residuales de los laboratorios de Química General (R-QG) y de Análisis Químico (R-AQ) presentan valores de pH que se clasifican como básicos. La muestra R-AQ también se puede clasificar como peligroso por corrosividad. Estos valores de pH tan alcalinos se pueden explicar por el empleo en las prácticas de cantidades elevadas de Hidróxido de sodio como agente valorante.

Resultados de la determinación del Oxígeno disuelto.

Para valorar los resultados de oxígeno disuelto de los residuales estudiados, también se le determinó este parámetro a una muestra de agua natural.

Los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis de oxígeno disuelto es una prueba clave en la contaminación del agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

En la tabla 2 los resultados para la determinación muestran que los valores de oxígeno disuelto de los residuales son comparables entre sí y semejantes al agua natural usada de referencia.

Tabla 2. Comportamiento del Oxígeno disuelto en los residuales estudiados.

Residual	**Oxígeno disuelto, mg/L**
R-QG	6,2
R-AQ	6,65
R-QO	5,93
Agua natural	5,31

Resultados de la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar las materias existentes en el agua, en condiciones determinadas. Esta medida es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral.

En la figura 2 se puede observar que el residual R-QO presenta el valor de Demanda Química de Oxígeno (DQO) más elevado, indicando un alto contenido de materia orgánica, que cubre varios tipos de compuestos orgánicos: hidrocarburos alifáticos y aromáticos, haluros de los hidrocarburos y alcoholes. En comparación con las normas cubanas, este residual (R-QO) presenta un valor muy superior a lo que se establece para efectuar el vertimiento, por lo que se debe realizar algún tipo de tratamiento antes de ser vertido a algún cuerpo receptor.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

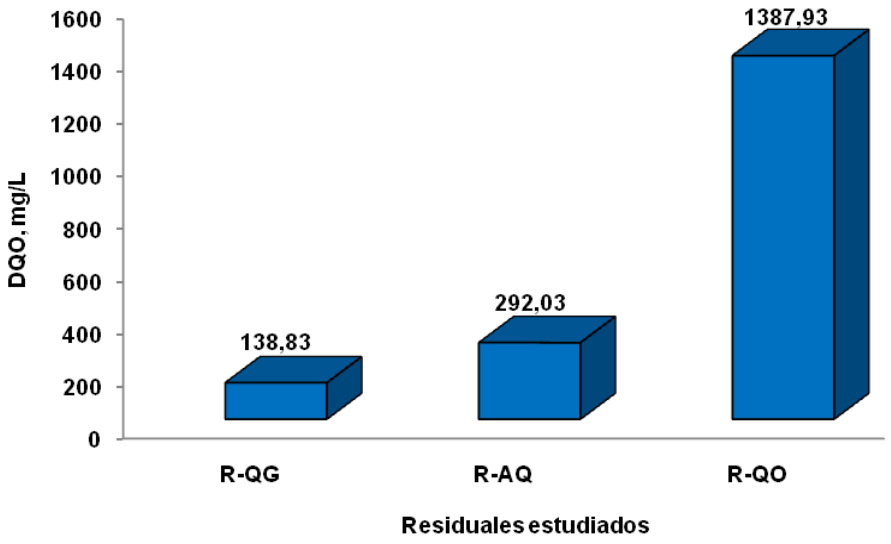

Figura 2. Comportamiento de la DQO en los residuales estudiados.

Las muestras de residuales de los laboratorio de Química General (R-QG) y Análisis Químico (R-AQ) evidencian resultados relativamente bajos de DQO, lo cual está en correspondencia con la naturaleza de los residuales, que poseen en su composición, baja carga orgánica y la composición inorgánica es resistente a la oxidación química. Estos residuales, a diferencia de la muestra R-QO, pueden ser vertidos directamente en cuerpos receptores marinos, específicamente donde se desarrolla la pesca o en áreas marinas cuyas aguas se toman para uso industrial y la navegación (NC 521: 2007).

Resultados de la determinación de los Sólidos Totales.

Según se observa en la figura 3 la muestra de residual del laboratorio de Química Orgánica presenta el valor más elevado de Sólidos Totales (5963,0 mg/L). Los residuales de los laboratorios de Química General (R-QG) y Análisis Químico (R-AQ) presentan los valores más elevados de Sólidos Totales Fijos (STF), hecho que se puede explicar por la naturaleza de los mismos, porque el contenido de Sólidos Totales Fijos está relacionado con la composición inorgánica. En la muestra R-QO sucede lo contrario, o sea, hay mayor contenido de Sólidos Totales Volátiles (STV) por la presencia de más compuestos orgánicos volátiles, debido a la naturaleza de este residual.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

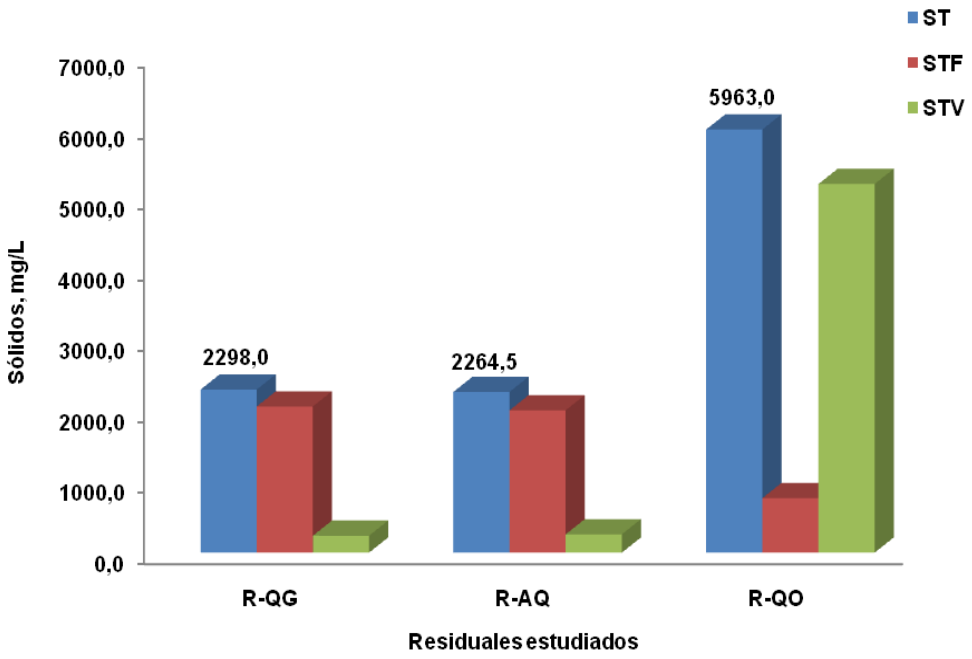

Figura 3. Comportamiento del contenido de Sólidos en los residuales estudiados.

Resultados del tratamiento de los residuales estudiados.

Uno de los métodos de tratamiento más comunes para los residuales de laboratorio es la neutralización y se recomienda por Momplet y Esteban (1995) efectuarlo después de una dilución 1:5.

En la figura 4 se puede observar que en todos los residuales después del tratamiento por neutralización los valores de la DQO disminuyen considerablemente, aunque se puede destacar que en el residual R-QG (residual estudiado del laboratorio de Química General) y R-AQ (residual estudiado del laboratorio de Análisis Químico) muestran remociones más bajas, debido a las características de los residuales, ya que sus componentes son en su mayoría inorgánicos. Para el residual del laboratorio de Química Orgánica la disminución del valor de la Demanda Química de Oxígeno es significativa. La mayoría de estos residuales después de este tratamiento pueden ser vertidos a cuerpos receptores marinos donde se desarrolla la pesca, o en aéreas marinas cuyas aguas se toman para uso industrial, o donde se desarrolle la actividad marítima – portuaria (NC 521: 2007).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

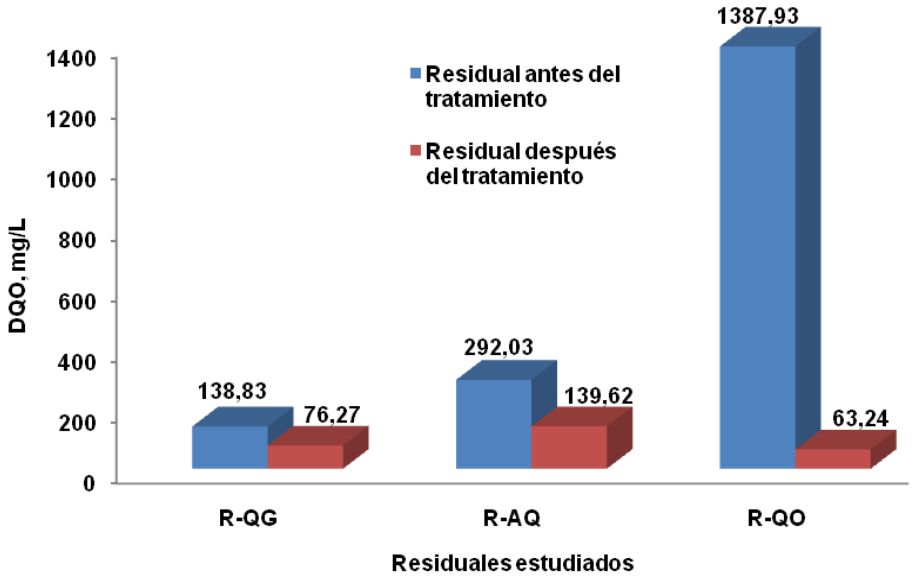

Figura 4. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno en el tratamiento de los residuales estudiados.

A continuación se resumen los principales resultados del tratamiento por neutralización para los residuales estudiados.

Tabla 3. Resumen de los resultados del tratamiento por neutralización de los residuales estudiados.

Residual	**pH inicial**	**DQO inicial, mg/L**	**pH final**	**DQO final, mg/L**	**Agente neutralizante**	**Remoción de la DQO, %**
R-QG	11,65	138,83	7	76,27	H_2SO_4	45,06
R-AQ	12,22	292,03	7	139,62	H_2SO_4	52,18
R-QO	1,3	1387,93	7	63,24	NaOH	95,44

Como se puede observar en la tabla 3, después de realizado el tratamiento por neutralización, utilizando hidróxido de sodio o ácido sulfúrico como agentes neutralizantes, los residuales no son peligrosos por corrosividad. Se muestra además que los valores de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) disminuyen considerablemente, aunque más en el

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

residual de Química Orgánica (R-QO), obteniéndose valores que se encuentran dentro de la norma para el vertimiento de los residuales y con resultados de porcentajes de remoción de 45 - 95%, lo que demuestra que con un simple tratamiento de neutralización en el propio laboratorio se puede minimizar la contaminación que se provoca en los mismos. (Laucerica y Hernández, 2001; Laucerica, *et al*., 2014)

Dado las características de los residuales y los resultados del tratamiento efectuado, se presentan algunas acciones generales que se deben realizar para la gestión ambiental de estos residuales y minimizar su impacto ambiental. Para la presentación de estas acciones se ha tenido en cuenta la jerarquía en las medidas como principios básicos de toda gestión ambiental.

Reducción en la fuente.

- Ahorro del recurso agua por estudiantes e investigadores en las operaciones de destilación, reflujo y operaciones de limpieza.
- Realizar prácticas de laboratorio con cantidades menores de reactivos, manteniendo la proporción estequiométrica, siempre que la práctica lo permita.
- Sustituir reactivos por otros menos peligrosos, siempre que la técnica lo permita.
- Sustituir un método de síntesis por otro, donde no se formen sustancias colaterales (subproductos) o sea mínima la cantidad formada.
- Realizar prácticas de síntesis donde las materias primas y/o el producto formado tengan poca toxicidad.

Reciclaje y reutilización.

- Reutilizar los productos orgánicos sintetizados para la comprobación de propiedades químicas y el análisis orgánico funcional.
- Recuperación de solventes por destilación o rotoevaporación.
- Reciclar los productos inorgánicos, siempre que los métodos sean sencillos y económicos.

Tratamiento.

- Filtración previa, cuando hay presencia de sólidos.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

- Realizar la neutralización (para residuales ácidos o básicos).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Conclusiones.

1. Los residuales son, , líquidos en su mayoría coloreados con volúmenes medios de 7,18L, y densidades similares a la del agua.

2. Los residuales estudiados presentan valores de pH ácidos y básicos, que pueden llegar a ser peligrosos por corrosividad.

3. El residual del laboratorio de Química Orgánica es el que presenta mayor contenido de materia orgánica, dada la naturaleza del mismo, con un valor de 1387,93 mg/L muy por encima de lo establecido por las normas de vertimiento.

4. Los valores de remoción durante el tratamiento por neutralización, previa dilución 1:5 fueron de 45 – 95%, logrando disminuir considerablemente el contenido de materia orgánica, alcanzando los mejores resultados para el residual generado en el laboratorio de Química Orgánica.

5. Se proponen acciones para minimizar el impacto negativo de estos residuales, tenido en cuenta los principios básicos de la gestión ambiental: Reducción en la fuente, Reciclaje y reutilización y el tratamiento.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Bibliografía.

Aguilar, E, A. (2015). Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. Tesis para optar el grado académico de magíster en ciencias ambientales con mención en control de la contaminación y ordenamiento ambiental. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. República de Perú.

Álvarez, S. (2005). Manejo de desechos peligrosos en Cuba. Situación actual y perspectivas. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. Año 5, No. 9, ISSN: 1683-8904.

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th Edition. Joint Editorial Board. Washington, DC. Estados Unidos. (1999).

Benavides, L. (2007). Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. Organización Panamericana de la Salud [on line] [Consulta: diciembre 23, 2012]. Disponible en: http://www.cepis.opsoms.org/cdromrepi86/fulltexts/.html.

Berrio, L; Beltrán, O; Agudelo, E; Cardona, S. Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico. Revista Gestión y Ambiente. Volumen 15 - No. 3, Diciembre de 2012, Medellín ISSN 0124.177X. pp 113-124.

Bertini, L.M; Salvador, D. (2009). Gestión de residuos generados en laboratorios de enseñanza de Química en entidades universitarias con participación activa del Alumnado. Fomento e Innovación con Nuevas Tecnologías en la Docencia de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-463-9.

Calao, J.E. (2007). Caracterización ambiental de la industria petrolera: Tecnologías disponibles para la prevención y mitigación de impactos ambientales. Tesis para optar por el título de Ingeniero de Petróleos. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. República de Colombia.

Chamorro, G, K. (2014). Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa de fabricación de quesos. Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniería Ambiental. Colegio de Ciencias e Ingeniería. Universidad San Francisco de Quito. República de Ecuador.

Clavero, J.M; Ysern, P; Gállego, B; Travesa, F; Gadea, E; Guardino, X. (1998). NTP 480: La gestión de los residuos peligrosos en los laboratorios universitarios y de investigación. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Davis, M; Flores, E; Hauth, J; Skumanich, M; Wieringa, D. (1996). Laboratory Waste Minimization and Pollution Prevention: a guide for teachers. Battelle Seattle Research Center.

Fernández, M. (2008). Manual de gestión de residuos y seguridad en laboratorios ambientales. Centro de Desarrollo Tecnológico.

Gadea, E; Guardino, X. (1991). NTP-276. Eliminación de residuos en el laboratorio: procedimientos generales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España.

Galvis, C.J. (2009). Manual para el manejo de los residuos químicos y peligrosos en la Universidad Pedagógica Nacional. Bogota. República de Colombia.

García - Vidal, J.A; Duran – Valle, C.J; Santiago Ferrera - Escudero. Green chemistry: Efficient epoxides ring-opening with 1-butanol under microwave irradiation. Applied Surface Science 252 (2006) 6064–6066.

García, Z.M. (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Republica de Perú.

Guarín, O; Rueda, G; Pérez, H. (2010). Manejo de residuos líquidos peligrosos en la Universidad de Santander. Programa de Ingeniería Ambiental. Colombia.

Jiménez, R; Loredo, L; Dibildox, E; Sagredo, R.D; Silva, J; Zapata, M.G; Ornelas, M; Rocha, M. (2010). Reglamento de manejo, tratamiento y minimización de residuos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Estados Unidos Mexicanos.

Laucerica, J. L. (2007). Caracterización físico química y tratamiento de residuales de laboratorios químicos académicos. Matanzas (72) p. Trabajo de Diploma. Facultad de Ingenierías. Universidad de Matanzas.

Laucerica, J.L; González, D; Sánchez, Y.B. (2014). Residuales líquidos generados en laboratorios docentes de Química. Alternativas para su tratamiento. Monografía Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. ISBN: 978-959-16-2254-9.

Laucerica, J.L; Hernández, V. Contaminación por residuales líquidos de laboratorios docentes de Química. Estrategias para su minimización. Evento Provincial Ecojoven. Matanzas. 2001.

Ley 81: Protección del Medio Ambiente. (1997). Gaceta Oficial de la Republica de Cuba. Edición extraordinaria, La Habana.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

López, J.E. (2004). Guía práctica para tratamiento de desechos de los análisis de DQO. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Republica de Colombia.

Mayo, E.F. (2010). Proyecto ejecutivo de planta de tratamiento de aguas residuales para la localidad de Xochiapa, Ver. Tesis que para obtener el título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Veracruzana. Estados Unidos Mexicanos.

Méndez, F.V; Feliciano, O. (2010). Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua limpia para áreas verdes. Maestría en proyectos de inversión. Universidad Nacional de Ingeniería. Republica de Perú.

Mera, A.C; Andrade, B; Fernando, M. Alternativa para la segregación de residuos químicos generados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca. Producción + Limpia. Enero-Junio 2007.Volumen 2. No. 1.

Momplet y Esteban. (1995). Seguridad en el Laboratorio químico. Tratamiento de residuales de laboratorio. Panreac. Barcelona, España.

Muñoz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. Monografía para obtener el título de Ingeniero Industrial. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Estados Unidos Mexicanos.

Norma Cubana NC 521:2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización.

Osicka, R.M; Benítez, M.E; Giménez, M.C. (2004). Gestión y manejo de residuos químicos en el laboratorio: Una manera de prevenir la contaminación del medio ambiente. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad nacional del Nordeste. República de Argentina.

Paredes, U. (2012). Propuesta de manejo de los residuos químicos líquidos generados en los laboratorios para alimentos del Instituto Nacional de pesca. Tesis para optar por el título de Magíster en Sistemas Integrados de Calidad, ambiente y Seguridad. Universidad Politécnica Salesiana. República del Ecuador.

Quintero, O; Salichs, A. (2007). Gestión ambiental para una producción más limpia en la región centro de Argentina. Herramientas para la aplicación de producción más limpia. Alternativas de mejora en actividades de servicios. Manual para consultores. Fundación Libertad. República de Argentina.

Ramalho, R. Tratamiento de aguas residuales. 2da Edición. Editorial Reverté, S.A. Barcelona. 1996.

Reglamento de manejo de residuos peligrosos. Universidad de Concepción. Santiago de Chile. República de Chile. 1998.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Serrano, J; Tortosa, B; Terry, C; Abó, M; Menéndez, C; Prévez, L; González, J; Rivera, A; Orúe, S; Bérriz, R; Quintana, M. Protección ambiental y producción más limpia. Tabloide Universidad para todos. Editorial Academia. ISBN: 978-959-270-097-0. Ciudad de la Habana, 2006.

Soto, M.H. (2007). Diseño del proceso e implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio, provenientes de la línea de producción de químicos para lavandería de una planta industrial. Trabajo de graduación. Presentado a la junta directiva de la Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. República de Guatemala.

Terry, C. Cuba: Manejo de residuales líquidos y evaluación de impacto ambiental. Revista cubana Higiene y Epidemiología. 2001, 39 (1): 16 – 20.

Torres, D; García, G; Castro, M. T. (2011). El tratamiento de residuales en el laboratorio químico. Pedagogía Universitaria, Vol. XVI No. 3.

Zumalacárregui, B; Mondeja, D; Parra, I. (2003). Problema medioambiental en laboratorios químicos: trabajo para su solución. Revista Pedagogía Universitaria. Vol. 8 No. 4.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X