

**Rediseño e implementación de un modelo de gestión de los residuos líquidos generados
en el laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P del
municipio de Tunja (Boyacá)**

Presentado por:

Deissy Johana Camargo Pacagüi-código: 46386337

Ana Marcela Lagos Giraldo-código: 1088252677

Asesores:

Director: Ing. Cesar Augusto Guarín Campo

Co-director: Ing. Esp. Msc. Jorge Armando Fonseca Carreño

Universidad Nacional Abierta y a Distancia Escuela De Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del

Medio Ambiente

Programa: Ingeniería Ambiental

Abril de 2017

Contenido

Introducción	1
1. Planteamiento del problema	3
2. Pregunta problema.....	4
3. Justificación.....	5
4. Marco de referencia.....	7
4.1 Generalidades Sobre Los Residuos	7
4.2. Antecedentes de gestión de residuos en laboratorios de análisis químico	16
4.3 Efectos de los metales pesados sobre las plantas y seres vivos.....	18
4.4 Sistema Globalmente Armonizado para etiquetado y clasificación de sustancias químicas (GHS)	22
5. Objetivos	24
6. Metodología	25
7. Resultados	29
8. Conclusiones	71
9. Recomendaciones.....	72
10. Lista de referencias.....	74
ANEXO 1.....	77

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Sistemas de tratamiento de residuos químicos peligrosos</i>	9
Tabla 2. <i>Aspectos importantes en la gestión de residuos de laboratorio</i>	11
Tabla 3. <i>Efectos de los metales pesados sobre las plantas y los seres vivos</i>	20
Tabla 4. <i>Puntos de muestreo seleccionados para caracterización de residuos (Año 2009).</i>	35
Tabla 5. <i>Jerarquización de residuos de acuerdo con el volumen generado.</i>	51
Tabla 6. <i>Resumen de los procedimientos aplicados para remoción de sustancias contaminantes.</i>	56
Tabla 7. <i>Resumen de los residuos sin tratamiento efectivo para reducción de carga contaminante.</i>	59
Tabla 8. <i>Resumen de los resultados obtenidos de la caracterización realizada al residuo final</i>	67

Lista de figuras

<i>Figura 1:</i> Periodos de adaptación al CLP.	22
<i>Figura 2:</i> Matriz de identificación de impactos sobre los diferentes componentes ambientales.	32
<i>Figura 3:</i> Matriz de identificación de impactos (Acción-impacto-efecto).	33
<i>Figura 4:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos ácidos generados en el laboratorio de aguas.	40
<i>Figura 5:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos neutros generados en el laboratorio de aguas.	41
<i>Figura 6:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de Estaño generados en el laboratorio de aguas.	41
<i>Figura 7:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de Mercurio generados en el laboratorio de aguas.	42
<i>Figura 8:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de Cianuro generados en el laboratorio de aguas.	42
<i>Figura 9:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de Cadmio generados en el laboratorio de aguas.	43
<i>Figura 10:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de Arsénico generados en el laboratorio de aguas.	43
<i>Figura 11:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de Bario generados en el laboratorio de aguas.	43
<i>Figura 12:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de Cromo generados en el laboratorio de aguas.	44
<i>Figura 13:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de Platino Cobalto generados en el laboratorio de aguas.	44
<i>Figura 14:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de análisis de fósforo estándar y método Hach generados en el laboratorio de aguas.	45

<i>Figura 15:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de análisis de Grasas y aceites generados en el laboratorio de aguas.....	45
<i>Figura 16:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de análisis de Bario, Cianuro, Cromo Total, Molibdeno (métodos de la casa comercial Hach) y DBO generados en el laboratorio de aguas.	46
<i>Figura 17:</i> Balance de masa de los componentes de los residuos de análisis de pH, Nitrógeno total método Hach, turbiedad, y análisis de coliformes totales y fecales por el método de sustrato definido generados en el laboratorio de aguas.....	48
<i>Figura 18:</i> Pirámide de gestión de residuos.....	49
<i>Figura 19:</i> Consolidado de cantidades de residuos generados en el laboratorio de aguas en el periodo 2012-2015	50
<i>Figura 20:</i> Resultados obtenidos caracterización de residuo final.	64
<i>Figura 21:</i> Lista de componentes de los residuos ácidos generados en el laboratorio de aguas.....	78
<i>Figura 22:</i> Lista de componentes de los residuos neutros generados en el laboratorio de aguas	79
<i>Figura 23:</i> Lista de componentes de los residuos de estaño generados en el laboratorio de aguas.....	80
<i>Figura 24:</i> Lista de componentes de los residuos de mercurio generados en el laboratorio de aguas...	80
<i>Figura 25:</i> Lista de componentes de los residuos de Cianuro generados en el laboratorio de aguas	81
<i>Figura 26:</i> Lista de componentes de los residuos de Cianuro generados en el laboratorio de aguas	81
<i>Figura 27:</i> Lista de componentes de los residuos de Arsénico generados en el laboratorio de aguas...	81
<i>Figura 28:</i> Lista de componentes de los residuos de Bario generados en el laboratorio de aguas	82
<i>Figura 29:</i> Lista de componentes de los residuos de Platino-Cobalto generados en el laboratorio de aguas.....	82
<i>Figura 30:</i> Lista de componentes de los residuos de Cromo generados en el laboratorio de aguas.....	83
<i>Figura 31:</i> Lista de componentes de los residuos que no se encontraban dentro del inventario de residuos del laboratorio de aguas	84

Resumen

Como producto del análisis fisicoquímico de agua potable y residual en el Laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P, se generan residuos de tipo líquido que poseen un alto grado de peligrosidad por sus características tóxicas y ecotóxicas, lo cual hace improcedente realizar su vertimiento al sistema de alcantarillado sin previo tratamiento. El presente trabajo tiene como objeto generar un procedimiento para la remoción de metales pesados y sustancias contaminantes de los residuos líquidos provenientes del laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P.

En el marco de este proyecto fue necesaria la actualización de la documentación del laboratorio de aguas al Sistema Globalmente Armonizado (GHS), buscando así, unificar criterios de clasificación y etiquetado de sustancias químicas de acuerdo con los estándares internacionales. Lo anterior, teniendo en cuenta que se requería evaluar la información contenida en las fichas de seguridad de cada producto empleado con el fin de establecer la composición química y toxicológica de los residuos generados y poder así, fijar las condiciones para la selección de los tratamientos más adecuados.

Se realizó revisión bibliográfica sobre los métodos existentes para el tratamiento de los residuos líquidos provenientes de los laboratorios de análisis químico, se analizaron aquellos métodos que se ajustan a la capacidad técnica y operacional del laboratorio de aguas de la Empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P, así como los resultados reportados y que son de interés para el cumplimiento de los estándares en la normatividad vigente.

Para lo anterior se emplearon diversos procedimientos químicos que permiten reducir a niveles aceptables (en la normatividad vigente) la presencia de metales tales como Arsénico, Bario, Cromo, Cobalto, Mercurio, Plata, entre otros. Se realizaron diferentes pruebas o ensayos en los cuales se modifican alguna de las variables que intervienen en las reacciones

químicas (pH, temperatura, agitación, uso de catalizadores, tiempo de reacción, etc.) e incorporando procesos de operación unitaria (filtración por gravedad y al vacío, calentamiento, etc.). Lo anterior permitió identificar el procedimiento que optimizó la remoción de sustancias contaminantes de los residuos analizados (muestras), mediante evaluación de la capacidad de remoción y/o reducción de los niveles de la sustancia o variable contaminante (indeseada).

Los porcentajes de remoción obtenidos fueron los siguientes: Arsénico (99,99%), Bario (99,99%), Cobalto (98,09%), Cromo (99,96%), Estaño (99,94%), Mercurio (99,99%), demostrando así la efectividad de los procedimientos implementados para la capacidad instalada del laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P.

Abstract

As a result of the physicochemical analysis process of drinking water and wastewater at the Proactiva's Aguas de Tunja S.A E.S.P laboratory, liquid type wastes are generated with a high level of toxicity and Ecotoxicity which makes it improbable to discharge these wastes to the sewage system without any treatment. The principal objective of this project is to generate a *step by step* procedure to reduce the quantity of heavy metals and contaminated substances from the liquid waste generated at the Proactiva's Aguas de Tunja Laboratory.

Within the Framework of this project it was necessary to update the Water's Laboratory documentation to the Global Harmonized System (GHS), seeking for unify criteria for the classification and labeling of chemical substances according to the International Standards. The last information taking into account that it was necessary to the evaluate the information of the Materials Safe Data (MSDS) of each product used in order to establish the chemical and toxicological composition of the liquid wastes generated and to be able to set the conditions of the suitable treatment for these.

A bibliographic review was carried out on the existing methods for treatment for the liquid waste from the chemical analysis laboratories, and analyzed those methods that fit the technical and operational capacity of the Water Laboratory of the Enterprise Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P, as well as a reported results and that are of interest for the compliance of the standards in the current regulation.

For the above, several chemical processes were used to reduce the presence of metals such: Arsenic, Barium, Chromium, Cobalt, Tin, Mercury, silver, among others, to acceptable levels (in current regulations). Different test were performed in which some the variable involved in the chemical reactions (pH, temperature, agitation, use of catalysts, reaction time, etc.) was modified and incorporating process of unit operation (gravity filtration, vacuum, heating,

etc.)? This allowed identifying the procedure that optimized the removal of pollutants from the analyzed waste (samples), by evaluating the capacity of removal and/or reduction of levels of the contaminating substance (unwanted).

The removal percentages were: Arsenic (99, 99%), Barium (99, 99%), Cobalt (98, 09%), Chrome (99, 96%), Tin (99, 94%), Mercury (99, 99%). Demonstrating the effectiveness of the procedures implemented for the installed capacity of the Water's laboratory of Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P.

Introducción

Como producto de las actividades realizadas en el laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A. E.S.P, se generan residuos líquidos que contienen sustancias con un alto grado de toxicidad, lo cual hace improcedente su vertimiento directo al sistema de alcantarillado municipal. Como método para el tratamiento de dichos residuos la empresa realizaba un ajuste del pH adicionando una solución de cal y su posterior vertimiento en diques de suelo que cumplen una función de contención, en los cuales se facilita la volatilización de algunas sustancias que son potenciadas por las condiciones climáticas del sitio.

Estos diques se saturaban rápidamente, por lo cual se realizaba frecuente reemplazo del suelo contenido en los mismos. Este suelo era almacenado y entregado a una empresa certificada y apta para la prestación de dicho servicio. Este modelo de gestión, constituye un tratamiento poco eficaz, por cuanto no se controla la evaporación de dichos residuos en los diques de contención y se incurre en costos adicionales asociados a la incineración del suelo, que es el proceso de disposición final, llevada a cabo en la empresa encargada de su recepción y tratamiento.

Este proyecto aplicado fue realizado con el fin de rediseñar e implementar un modelo de gestión para los residuos líquidos que se generan en el laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P, desarrollado en dos etapas a saber: la primera denominada fase preliminar, en la cual se realizó la recopilación de información existente sobre estrategias para el tratamiento de residuos líquidos provenientes de laboratorios de análisis químico, el inventario de residuos en el sitio del proyecto y antecedentes en la implementación de este tipo de modelos. Esta fase además requirió la actualización de la documentación del laboratorio de aguas al Sistema Globalmente Armonizado para clasificación y etiquetado de sustancias químicas (GHS), teniendo en cuenta que la información en las fichas de seguridad de cada

producto químico empleado en los diferentes análisis, constituye la base para establecer el grado de toxicidad de cada residuo y el procedimiento que podría aplicarse de acuerdo con sus características fisicoquímicas, tóxicas y ecotóxicas.

La segunda fase correspondió al trabajo de laboratorio, en la cual se aplicaron las estrategias seleccionadas para el tratamiento de residuos líquidos y se evaluó su capacidad de remoción de sustancias contaminantes. Para establecer dichos procedimientos, fue necesario modificar algunas de las variables que intervienen en las reacciones químicas e incorporar procesos unitarios, hasta lograr niveles de remoción de las sustancias contaminantes, con resultados similares a los reportados en la revisión del estado del arte.

Como resultado de lo anterior, se generó un modelo para la gestión de los residuos líquidos del laboratorio de aguas que podrá ser aplicable a las demás sedes de Proactiva Medio ambiente (Casa matriz a nivel Nacional) y demás entidades que se encuentren interesadas en incorporar este tipo de soluciones a sus procesos de análisis químico.

1. Planteamiento del problema

En el laboratorio de análisis de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A. E.S.P, se maneja gran cantidad de productos químicos y se efectúan diversas operaciones que conllevan a la generación de los siguientes tipos de residuos: líquidos, ordinarios, bacteriológicos, vidrio, plástico, residuos peligrosos (RESPEL) y residuos electrónicos (RAEE), principalmente.

Los residuos líquidos generados en el laboratorio de aguas, poseen propiedades toxicológicas y ecotóxicas de alto impacto sobre la salud de los trabajadores y el medio ambiente, lo cual hace necesario la aplicación de procedimientos para su tratamiento, de forma tal que se reduzcan los niveles de contaminación aportados por este tipo de residuos. De acuerdo con información referenciada por el laboratorio de aguas en el periodo de 2012-2015 se generaron en promedio 1300 L por año y con una composición promedio de los siguientes metales pesados: Cadmio (56,6 mg Cd/L), Cromo (125 mg Cr/L), Mercurio (1150 mg Hg/L), Plata (10 mg Ag/L) y Plomo (0,33 mg Pb/L).

Posterior al análisis fisicoquímico de las muestras de agua, se realiza la verificación del pH de los residuos líquidos generados y se ajusta con solución de cal al 9% hasta un valor cercano a la neutralidad. Estos residuos son depositados en diques de contención que en el fondo poseen una geomembrana para evitar la infiltración de las sustancias allí depositadas, pero sin control alguno sobre la volatilización de las mismas.

La problemática central radica en la disposición poco eficaz de los residuos líquidos que se generan como salidas del proceso, provenientes de los diversos análisis químicos realizados en el laboratorio de aguas, lo cual podría conducir a la contaminación del aire, producto de la evaporación de los residuos líquidos que se almacenan temporalmente en los diques de contención. Estas sustancias también podrían liberarse a la atmósfera durante la incineración del suelo en donde se disponen los residuos líquidos.

2. Pregunta problema

De acuerdo con la problemática planteada surge la siguiente pregunta: *¿Cuál es la estrategia más adecuada, dentro de las establecidas en la pirámide de gestión integral de residuos, para la disposición final de los residuos líquidos generados en el laboratorio de aguas de forma tal que se minimicen los impactos sobre los diferentes componentes ambientales?*

3. Justificación

Teniendo en cuenta que la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P cuenta con certificación bajo la Norma ISO 14001: 2004 en materia Medio ambiental, los procesos allí realizados deben estar comprometidos con el mejoramiento continuo, propendiendo por el uso racional y eficaz de los recursos y la preservación de los mismos. Por tal razón debe implementar mecanismos para mitigar, controlar, minimizar y prevenir la generación de impactos negativos sobre el ambiente.

Como aporte al mejoramiento continuo del proceso, el Laboratorio de aguas realizó un análisis de las actividades que generan impactos negativos con mayor relevancia, evidenciando así, que la disposición final de los residuos líquidos es un punto crítico que requiere ser modificado desde del modelo de gestión, por cuanto éste no es eficaz para el tratamiento y disposición de éste tipo de residuos. Se requiere incorporar procedimientos de producción más limpia que contribuyan al desarrollo sostenible del proceso productivo.

Como producto de las modificaciones y rediseño del modelo de gestión de residuos líquidos se identificaron e implementaron una serie de procedimientos que permiten reducir su carga contaminante y puedan ser vertidos al sistema de alcantarillado o a un sistema alternativo de tratamiento (planta de lodos, lagunas de maduración, humedales, entre otros), sin que se incurra en incumplimientos a la normatividad vigente. Se espera además que los procedimientos que son parte integral del modelo de gestión a ser rediseñado puedan ser aplicados a procesos industriales de gran impacto ambiental tales como minería a cielo abierto, curtiembres, laboratorios de investigación y análisis químico e industrias de cromados, entre otros.

Por otra parte, se espera generar un valor agregado en el posicionamiento de la empresa dentro de las organizaciones que contribuyen con la preservación y cuidado del ambiente, además de ampliar su reconocimiento en los programas de responsabilidad social a los cuales Proactiva Medio Ambiente (Casa Matriz a nivel nacional), se encuentra adscrita.

4. Marco de referencia

4.1 Generalidades Sobre Los Residuos

4.1.1. Clasificación de los residuos

De acuerdo con lo citado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2005) los residuos se definen como: *“Todo material que no tiene un valor de uso directo y que es descartado por su propietario”*. Por su parte (Bertini & Cicerone, 2009) define los residuos como *“cualquier tipo de material que es generado por la actividad humana y que está destinado a ser desechado”* y a su vez clasifica los residuos de acuerdo con sus características físicas y origen de la siguiente forma: Residuos gaseosos (tóxicos y no tóxicos), Líquidos (Industriales y urbanos), Sólidos urbanos (domiciliarios, inertes, voluminosos), Industriales (Inertes, asimilables a urbanos, peligrosos y peligrosos para la reproducción), inertes, mineros, forestales y hospitalarios entre otros.

Por cuanto el presente trabajo se centrará en los residuos líquidos peligrosos generados en el Laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P, es necesario ampliar su definición específica. Según (Ruiz, Fernandez, & Rodríguez, 2011), *“Un residuo peligroso es aquel residuo generado por la actividad humana y procesos productivos que en cualquier estado físico, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, venenosas o biológico-infecciosas, representa un peligro para el equilibrio ecológico”*. De acuerdo a lo referenciado por (Estrada, 2011) los residuos peligrosos se clasifican por sus propiedades y categorías de la siguiente forma:

- por sus características fisicoquímicas (explosivos, comburentes, fácilmente y extremadamente inflamables)

- por sus propiedades toxicológicas (tóxicos, muy tóxicos, nocivos, irritantes, sensibilizantes)
- por sus efectos sobre la salud humana (cancerígenos, Mutagénicos, Teratogénicos, tóxicos para la reproducción)
- por sus efectos sobre el medio ambiente (peligrosos para el medio ambiente y la reproducción).

A su vez, los residuos cuentan unas características de peligrosidad de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas. En el decreto 4741 de 2005 el Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial define las características de los residuos peligrosos en las siguientes categorías: Corrosivos, reactivos, explosivos, inflamables, radiactivos, infecciosos y radiactivos, y tóxicos principalmente (Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2005). En este decreto a su vez, se amplía la información acerca de los criterios que se deben cumplir para la clasificación de los residuos y establecen en algunos casos valores de referencia para facilitar su categorización.

4.1.2. Sistemas de tratamiento de residuos peligrosos

La gestión de los residuos líquidos incluye una serie de procesos que al ser empleados de forma individual o en conjunto, constituyen el modelo de gestión a emplear de acuerdo con las características físicas y químicas del residuo y su capacidad de recuperación o aprovechamiento. En la tabla No 1 se presenta un resumen de los procesos existentes para la gestión adecuada de los residuos teniendo en cuenta el tipo de operación o proceso (tratamiento físico, químico, térmico y biológico), las funciones a realizar (reducción de volumen, separación, detoxificación y confinamiento), el tipo de residuos (inorgánicos, orgánicos, radiológicos, biológicos, inflamables y explosivos) y su estado físico (sólido, líquido y gaseoso). Esta información se

tomó como base para la selección y aplicación de los tratamientos para los residuos líquidos generados en el laboratorio de aguas.

Tabla 1. *Sistemas de tratamiento de residuos químicos peligrosos*

<i>Operación/ proceso</i>	<i>Funciones a realizar</i>	<i>Tipos de residuos</i>	<i>Estado físico</i>
Tratamiento físico			
Aireación	Se	1,2,3,4	L
Remoción de Amonio	Vr, Se	1,2,3,4	L
Adsorción de carbono	Vr, Se	1,2,3,4	L,G
Centrifugación	Vr, Se	1,2,3,4,5	L
Diálisis	Vr, Se	1,2,3,4	L
Electrodiálisis	Vr, Se	1,2,3,4,5	L
Encapsulamiento	St	1,2,5	L,S
Evaporación	Vr, Se	1,2,3,4,5	L
Filtración	Vr, Se	1,2,3,4,6	L,G
Floculación/sedimentación	Vr, Se	1,2,5	L
Flotación	Vr, Se	1,2,3,4,5	L
Ósmosis inversa	Vr, Se	1,2,4,6	L
Sedimentación	Vr, Se	1,2,3,4,5	L
Espesamiento	Se	1,2,3,4	L
Lavado con vapor	Vr, Se	1,2,3,4	L
Calcinación	Vr	1,2,5	L
Tratamiento químico:			
Intercambio iónico	Vr, Se, De	1,2,3,4,5	L
Neutralización	De	1,2,3,4	L
Oxidación	De	1,2,3,4	L
Precipitación	Vr, De	1,2,3,4,5	L
Reducción	De	1,2	L
Extracción con solventes	Se	1,2,3,4,5	L
Adsorción con Carbón	De	1,2,3,4	L
Tratamiento térmico:			
Incineración	Vr, De	3,5,6,7,8	S,G,L
Pirólisis	Vr, De	3,4,6	S,G,L
Tratamiento Biológico:			
Lodos activados	De	3	L
Lagunas de aireación	De	3	L
Digestión anaerobia	De	3	L
Filtros anaerobios	De	3	L
Filtros rociadores	De	3	L
Lagunas de estabilización	De	3	L

Funciones: Reducir volumen (Vr), Separación (Se), Detoxificación (De), Confinar (St)

Tipo de residuos: (1) Compuestos inorgánicos sin metales pesados, (2) Compuestos químicos con metales pesados, (3) Compuestos orgánicos sin metales pesados, (4) Compuestos orgánicos con metales pesados, (5) Radiológicos, (6) Biológicos, (7) Inflamables y (8) Explosivos

Fuente: (Elizondo, 1999).

4.1.3 Procedimientos generales para eliminación de residuos en el laboratorio

De acuerdo con las directrices de la norma NTP: 276 del Instituto Nacional de Seguridad e higiene en el trabajo de España, *“las condiciones de trabajo en el laboratorio implican inevitablemente el control, tratamiento y eliminación de los residuos generados en el mismo, por lo que su gestión es un aspecto imprescindible en la organización de todo laboratorio”*. De igual forma se establece que *“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, reutilización o de reciclado”*.

El Instituto Nacional de Higiene y seguridad en el trabajo dentro de los factores a considerar para la eliminación de residuos define los siguientes: volumen de residuo generado y periodicidad de generación, facilidad de neutralización y su posibilidad de recuperación, reciclado o reutilización y el costo del tratamiento entre otros. (Instituto Nacional de Higiene y seguridad en el trabajo , 2008).

Los procedimientos para eliminación de residuos son varios, pero los más aplicados acorde con el tipo de residuos son los siguientes:

- *“Vertido: Recomendable para residuos peligrosos y no peligrosos, una vez reducidos mediante neutralización o tratamiento adecuado.*
- *Incineración: Los residuos son quemados y reducidos a cenizas. Es un método muy utilizado para eliminar desechos de tipo orgánico y biológico.*
- *Recuperación. Consiste en efectuar un tratamiento al residuo que permita recuperar algún o algunos elementos, por ejemplo los metales pesados”* (Berrio, Beltrán, Agudelo, & Cardona, 2012).
- **Reutilización – Reciclado:** Esta técnica consiste en la recuperación del metal pesado, posterior al tratamiento de recuperación. Esta solución se aplica en espera de que el

producto recuperado pueda ser empleado en otros procesos o purificado para usarlo en otras actividades que así lo requieran, por ejemplo a nivel educativo, como subproducto industrial, entre otros.

4.1.4 Gestión de residuos en laboratorio

El Instituto Nacional de higiene y seguridad en el trabajo de España define la gestión de residuos como el “conjunto de actividades encaminadas a dar a los residuos tóxicos y peligrosos el destino final más adecuado de acuerdo con sus características; comprende las operaciones de recolección, clasificación, almacenamiento, transporte, tratamiento, recuperación y eliminación de los mismos” (Instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo, 2008). Este programa debe incluir el manejo de todos los residuos, tanto los peligrosos como los no peligrosos.

En la tabla No 2 se mencionan los aspectos a tener en cuenta para establecer el programa de gestión de residuos dentro del laboratorio de análisis químico y se describen las acciones, funciones y requerimientos para la definición de dicho programa:

Tabla 2. Aspectos importantes en la gestión de residuos de laboratorio

<i>Aspecto</i>	<i>Descripción</i>
1. Responsable o responsables	Debe nombrarse un responsable o responsables que supervisen y comprueben la correcta aplicación y ejecución del programa e informen a la Dirección.
2. Nivel de recursos necesarios	Debe conocerse y evaluarse el coste del programa considerando todas las operaciones (recogida, transporte, reutilización, recuperación, tratamiento, etc.).
3. Identificación	Todos los productos considerados como residuos deben estar clasificados e identificados en función de su peligrosidad y/o destino final.
4. Minimización/reducción	Deben estudiarse y valorarse las posibilidades de reutilización, recuperación, tratamiento en el propio laboratorio o racionalización de compras al objeto de reducir en lo posible la generación de residuos.
5. Inventario	Debe confeccionarse una relación de los residuos generados y mantenerla actualizada.
6. Almacenamiento	Debe disponerse de un espacio separado del laboratorio para

	almacenar los residuos, provisto de los elementos de seguridad necesarios.
7. Recolección y transporte	Se deben facilitar los recipientes y etiquetas adecuados para la recogida y el transporte de los residuos.
8. Medidas de seguridad	Deben establecerse las medidas de seguridad necesarias indicando las prendas de protección que deben utilizarse.
9. Actuación en caso de accidentes e incidentes.	Se deben dar las instrucciones de actuación en caso de vertidos o derrames, o de cualquier incidente que pueda producirse. Así mismo deben indicarse las pautas de actuación en caso de una emergencia
10. Formación e información	Todo el personal debe conocer el programa de gestión de residuos adoptado, su ejecución y la responsabilidad de cada uno en el mismo. Todas las informaciones sobre el programa deben proporcionarse por escrito

Fuente: (Ministerio de trabajo y asuntos sociales España, 2008).

4.1.5. Marco legal vigente sobre la gestión de residuos

A continuación, se presenta un resumen de la normatividad legal aplicable a la gestión de los residuos y en materia de prevención de riesgos laborales asociados a la manipulación de sustancias químicas:

En primera instancia, el **Decreto 2811 de 1974** conocido como el código Nacional de recursos naturales renovables y no renovables y de protección al medio ambiente, define en su artículo 32 que en aras de *“prevenir deterioro ambiental o daño en la salud del hombre y de los demás seres vivientes, se establecerán requisitos y condiciones para la importación, la fabricación, el transporte, el almacenamiento, la comercialización, el manejo, el empleo o la disposición de sustancias y productos tóxicos o peligrosos”*

Previo a las modificaciones realizadas a la constitución política de 1991 , la **Ley 9 de 1979**, bien conocido como el Código Sanitario Nacional, tenía como objeto *“los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente”* y

en sus artículos 10 al 16 definía las disposiciones en materia de residuos líquidos, especificando las condiciones para realizar los vertimientos de estos residuos, los trámites, entidades de control, prohibiciones y regulaciones que se deben tener en cuenta para el manejo y disposición adecuada de los residuos líquidos generados.

La **Resolución 2309 de 1986** define los residuos especiales como aquellos “*objetos, elementos o sustancias que se abandonan, botan, desechan, descartan o rechazan que sean patógenos, tóxicos, combustibles, inflamables, explosivos, radiactivos, volatilizables y los empaques y envases que los hayan contenido, como también los lodos, cenizas y similares*”. Esta resolución, fue en primera instancia quien fijó las definiciones, características y valores de referencia para la clasificación de los residuos peligrosos.

La **Constitución Política de Colombia de 1991**, que es la máxima legislación legal vigente en su artículo 79 define lo siguiente: “*El derecho a un ambiente sano y limpio, el cual no solo es un derecho sino también un deber de la comunidad para y con el medio ambiente*”. Tomando como base ese concepto, es posible inferir la aplicabilidad del artículo sobre el proyecto, considerando el impacto que podría generar la gestión inadecuada de los residuos líquidos sobre el ambiente.

Mediante la **Ley 99 de 1993** se otorgó al Ministerio de Medio ambiente las funciones de evaluación, control y seguimiento de los vertimientos, emisiones o incorporación de sustancias o residuos líquidos, sólidos o gaseosos, para evitar el deterioro de los recursos naturales y de los componentes ambientales (agua, aire y suelo).

En el año 1996, mediante la **Ley 253 de 1996**, Colombia aprobó la implementación y uso del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, estableciendo a su vez en los anexos I, II y III, los residuos que por sus características deben ser considerados como peligrosos y presenta algunas definiciones

relacionadas con su disposición final y las obligaciones de los actores en materia de residuos peligrosos. Esta Ley a su vez es concomitante con el **Decreto 2061 de 1999**, a través del cual se promulgan algunos tratados internacionales, incluyendo el Convenio de Basilea.

En el año 1997 se formuló la **Política Nacional para la gestión Integral de Residuos**, Creada por el Ministerio del Medio Ambiente. Principalmente se basa en tres objetivos específicos los cuales determinan el lineamiento de la gestión de residuos: Minimización de la cantidad de residuos que se generan, aumentar el aprovechamiento racional de residuos generados y mejorar los sistemas de eliminación, tratamiento y disposición final de los residuos.

Por su parte la **Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos** formulada en el año 2005, tenía por objetivo *“prevenir la generación de RESPEL y promover el manejo ambientalmente adecuado de los que se generen, todo en el marco de la gestión integrada del ciclo de vida; se fomentará el aprovechamiento o valoración de estos desechos para ser reincorporados a procesos productivos cuando ello sea viable”*.

A través del **Decreto 4741 de 2005** se reglamentó la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión Integral, definiendo criterios para Clasificación, caracterización, identificación y presentación de los residuos o desechos peligrosos y las obligaciones de los actores involucrados en la gestión de los residuos peligrosos generados. Este decreto a su vez, es desarrollado parcialmente mediante la **Resolución 1402 de 2006** estableciendo que es obligación y responsabilidad de los generadores identificar las características de peligrosidad de cada uno de los residuos o desechos peligrosos que genere. El registro de los generadores residuos y residuos peligrosos generados debe realizarse mediante los lineamientos consignados en la **Resolución 1362 de 2007**.

En concordancia con lo anterior, en la **Ley 1252 de 2008** se consignaron las normas prohibitivas en material ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos, en búsqueda

de que el generador minimice la cantidad de residuos generados, opte además por procesos de producción más limpia y garantice la aplicación de tratamientos adecuados para la disposición de los residuos peligrosos generados dentro del territorio nacional. El incumplimiento de dichas prohibiciones podrá ser sancionado a partir de la aplicación de la **Ley 1333 de 2009**, la cual establece el procedimiento sancionatorio en material ambiental.

En cuanto al vertimiento de los residuos líquidos generados en el ejercicio de la actividad analítica, la caracterización final debe realizarse con base en los lineamientos establecidos en la **Resolución 631 de 2015**, mediante la cual “*Se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público*”. Teniendo en cuenta que esta resolución propone la implementación de una serie de análisis en atención a la actividad productiva, la actividad del laboratorio de aguas se encuentra incluida en la categoría Otras Actividades, a que hacen referencia los artículos 15 y 16 de dicha resolución. .

En materia de prevención de los riesgos generados por la manipulación de los productos químicos, mediante la **Ley 55 de 1993** se aprobó en Colombia el Convenio No. 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la Utilización de los Productos Químicos en el trabajo, generados en la Reunión de la Conferencia General de la OIT en Ginebra (1990), definiendo responsabilidades para empleadores, trabajadores y representantes de los trabajadores, para garantizar el manejo seguro de las sustancias químicas, aplicable a todos los actores de este proceso, vinculando al sector salud a través de la **Ley 100 de 1993** a través del sistema de riesgos profesionales en aras de proteger a los trabajadores en su ambiente laboral frente a los riesgos derivados de las sustancias químicas. A través del **Decreto 1530 de 1996**, se reglamentó parcialmente la Ley 100 de 1993 definiendo actuaciones y responsabilidades en

materia de prevención de riesgos laborales asociados a la manipulación de sustancias químicas y de las Entidades Administradoras de riesgos laborales.

4.2. Antecedentes de gestión de residuos en laboratorios de análisis químico

Teniendo en cuenta la importancia de conocer las actividades previas que se han realizado a nivel internacional y nacional sobre la gestión de residuos de laboratorio a continuación se presentan los aspectos más relevantes identificados en cada una de las investigaciones citadas:

4.2.1 Tratamiento de residuos químicos peligrosos generados en los laboratorios de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima, Perú): El trabajo de investigación realizado por (Estrada, 2011) se realizó en la facultad de química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El objetivo central fue establecer un modelo para la gestión de los residuos tóxicos generados en dicha institución, incluyendo una serie de tratamientos para lograr la reducción de la carga contaminante de los residuos generados. Los procedimientos identificados para tal fin fueron: Tratamientos fisicoquímicos y encapsulados con concreto, neutralización con soda caustica y neutralización/Inertizado y solidificación. Para su aplicación se revisó el modelo de gestión existente, el inventario de residuos y las propiedades fisicoquímicas y tóxicas de los residuos generados, obtenida a partir de su caracterización inicial, en la cual se consideraron factores tales como grado de toxicidad, grado de peligrosidad, emisiones generadas, entre otras . Por otra parte se generó un modelo para la identificación de peligros y riesgos asociados a la manipulación y disposición final de los residuos generados en dicha entidad

4.2.2 Gestión de Residuos Generados en Laboratorios de Enseñanza de Química en Entidades Universitarias con Participación Activa del Alumnado: El objetivo central del proyecto de investigación realizado por (Bertini & Cicerone, 2009) fue generar un plan de

gestión de los residuos provenientes de laboratorios de enseñanza de química en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (Argentina). Este plan de gestión contempló las siguientes etapas: Identificación de los residuos, recolección y segregación de residuos peligrosos, selección, ubicación y etiquetado de recipientes contenedores de residuos peligrosos y no peligrosos, minimización de residuos en fuente generadora, aplicación de tratamientos de minimización final y diseño de Planta piloto de tratamiento fisicoquímico de residuos acuosos. Al finalizar el proyecto se logró una reducción del 79% en la generación de residuos líquidos peligrosos

4.2.3 Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico: Mediante este artículo de revisión, los autores (Berrio, Beltrán, Agudelo, & Cardona, 2012) realizan una revisión de la gestión de los residuos químicos generados en diversas universidades de Colombia, a fin de establecer cuáles han sido los procedimientos más aplicados, sus criterios de selección y la efectividad de dichos tratamientos. Los tratamientos biológicos y fisicoquímicos son los más empleados teniendo en cuenta que las características de los residuos de análisis químico difieren significativamente con los generados a nivel doméstico e industrial. Los tratamientos biológicos pueden clasificarse como aeróbicos, anaeróbicos y anóxicos y su efectividad varía con algunas condiciones específicas (pH, temperatura y carga orgánica, entre otros). Dentro de los procesos fisicoquímicos que se emplean para el tratamiento de residuos químicos se encuentran el proceso ferrita (convencional y extendida), la encapsulación de mercurio (micro y macro-encapsulación), adsorción con carbón activado, procesos de oxidación avanzada (proceso Fenton y ozonización). Para la aplicación de dichos tratamientos, es necesario contar con una caracterización inicial que permita seleccionar el método más adecuado de acuerdo con la naturaleza de las sustancias contaminantes presentes en los residuos líquidos generados en los laboratorios de análisis químico.

4.2.4 Tratamiento de residuos de DQO generados en laboratorios de análisis ambientales

(Universidad del Valle): El análisis de DQO es una prueba frecuentemente usada en laboratorios ambientales de docencia e investigación de la Universidad del Valle. Dicho análisis genera residuos líquidos los cuales son considerados como peligrosos debido al alto contenido de metales tales como Cromo (Cr), Plata (Ag) y Mercurio (Hg). Para reducir estos contaminantes se aplicaron procesos fisicoquímicos tales como la reducción, precipitación y la neutralización para darle cumplimiento al decreto 1594 de 1984. El Cromo hexavalente (VI) fue reducido a cromo trivalente (III) mediante la aplicación de glucosa. Posteriormente el Cromo (III) se precipitó con la adición de Hidróxido de Sodio (NaOH). La concentración final de Cr (VI) fue inferior a 0,5 mg/L. Adicionando 2 g/L de Cloruro de sodio (NaCl) los iones de plata se precipitaron hasta valores inferiores a 0,2 mg/L. El Mercurio fue reducido hasta concentraciones inferiores a 0,005 mg/L usando 10 g/L de Sulfuro ferroso (Mañunga, Gutiérrez, Rodríguez, & Villareal, 2010). Este trabajo fue tomado como base para el tratamiento de los residuos generados a partir del análisis de DQO del laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P.

4.3 Efectos de los metales pesados sobre las plantas y seres vivos

Con el fin de establecer prioridades en cuanto a la aplicación de tratamientos para remoción de metales pesados presentes en los residuos líquidos generados en el Laboratorio de aguas, es necesario conocer sus efectos sobre las plantas y los seres vivos, a partir de sus propiedades toxicológicas, las concentraciones y dosis letales a partir de las cuales las sustancias generan efectos negativos. Lo anterior se encuentra referenciado en las fichas de seguridad de los diferentes reactivos empleados para los análisis químicos realizados en el laboratorio. De igual forma es necesario profundizar en conceptos como la persistencia ambiental definida por (Ruiz, Fernandez, & Rodríguez, 2011) como: *“la tendencia de una sustancia química a permanecer en*

el ambiente debido a su resistencia a la degradación química o biológica asociada a los procesos naturales". Esta condición es una característica de compuestos tales como el Mercurio, plomo, cadmio, los PCB (bifenilos policlorados), entre otros. Esta información conducirá a establecer el impacto que los metales pesados presentes en los residuos líquidos del Laboratorio de aguas poseen y su capacidad de remoción de acuerdo con su persistencia en el ambiente.

De acuerdo con lo referenciado por (Posada, 2012), *"La toxicidad está causada frecuentemente por la imposibilidad del organismo afectado para mantener los niveles necesarios de excreción"*. Los metales pesados presentan tendencia hacia fenómenos de biomagnificación y bioacumulación, teniendo en cuenta que estos se incrementan a medida que se avanza en la cadena trófica, en cuyos niveles superiores se encuentran las concentraciones más elevadas de sustancias contaminantes. En suelos contaminados con metales pesados se pueden generar efectos negativos sobre las plantas pueden generar efectos tales como *"retardo en el crecimiento y desarrollo de las plantas, efectos que logran a través de ciertos mecanismos, por ejemplo, la interferencia en la toma de nutrientes esenciales, efecto generalmente evidenciado por la clorosis en hojas"* (Camelo, 2011).

En la tabla No 3 se presenta un resumen de los efectos sobre las plantas y sobre los seres vivos que tienen los metales pesados presentes en los diferentes residuos caracterizados en el Laboratorio de aguas.

Tabla 3. Efectos de los metales pesados sobre las plantas y los seres vivos

<i>Sustancia contaminante</i>	<i>Efecto sobre las plantas</i>	<i>Efecto sobre los seres vivos</i>
Arsénico	Disminución elementos tales como: P, Ca, K, Mg, B, Cu, Fe y Mn (Camelo, 2011)	“En grandes cantidades provoca envenenamiento y la muerte. Por ingestión a largo plazo: puede causar un espesamiento de la piel o la aparición de manchas de pigmentación en la piel, así como cáncer de piel, pulmón, vejiga o riñón” (Green Facts, 2017).
Antimonio	De acuerdo con (Nordberg, 2003)“El antimonio inhibe la acción de determinadas enzimas, se une a los grupos sulfhidrilo del suelo y altera el metabolismo de las proteínas y carbohidratos y la producción de glucógeno en el hígado”.	“Los animales que respiran bajos este metal durante un largo periodo de tiempo pueden experimentar irritación ocular, pérdida de pelo, daños pulmonares y problemas de fertilidad” (Lenntech, 2015). Según lo referenciado por (Nordberg, 2003) “en estudios con animales se ha observado fibrosis pulmonar focal y efectos cardiovasculares.
Cadmio	“En las plantas el cadmio inhibe el cierre estomático, causando modificaciones en el balance hídrico, y produce daños, tanto en enzimas sensibles a dicho metal, como en el aparato fotosintético” (Camelo, 2011).	Una vez el Cadmio ingresa por absorción (vía digestiva o respiratoria), este se transporta al hígado donde se produce una proteína denominada metalotioneina, la cual se une a este metal forma un complejo metalotioneina-cadmio, el cual se filtra a través de los glomérulos a la orina primaria. Aunque este complejo protege al organismo de los efectos del Cadmio libre, pero una vez se supere la capacidad de metalotioneina es posible que se generen efectos críticos como la insuficiencia renal (Nordberg, 2003)
Cianuro	“El HCN es un tóxico potente y de rápido efecto, ya que bloquea la respiración celular al combinarse el ion cianuro con el hierro de una enzima indispensable para tal proceso. Las plantas que poseen glucósidos cianogénicos contienen también una β -glucosidasa que produce su hidrólisis” (Parada, 2016).	Según (Posada, 2012) el cianuro “Actúa a través de la inhibición de ciertas células, bloqueando el proceso de respiración celular. Ello podría conllevar a posibles problemas en el corazón o en el cerebro producto de la falta de oxigenación en el organismo”.
Cromo	“En altas concentraciones el cromo (VI) es tóxico para las plantas, provocando clorosis generalizada, semejante a la deficiencia de hierro. Además,	“Produce daños letales y sub-letales por altas acumulaciones en crustáceos y, además, efectos sobre el zooplancton, que incluyen inhibición del crecimiento,

Estaño	<p><i>disminuye la síntesis de clorofila y en consecuencia afecta la fijación del CO₂ y el metabolismo de carbohidrato” (González, Velásquez, Amador, Ramírez, & Trujillo, 2006)</i></p>	<p><i>supresión del consumo de oxígeno, alteraciones en la reproducción y muda de caparazón, así como un aumento de malformaciones” (Camelo, 2011).</i></p> <p>Este metal es altamente tóxico para los hongos, las algas y el fitoplancton. <i>“Los estaños tributílicos son los más tóxicos para peces y hongos, mientras que los trifenólicos son más tóxicos para el fitoplancton. Los estaños orgánicos alteran el crecimiento, reproducción, los sistemas enzimáticos y los esquemas de alimentación de los organismos acuáticos” (Lenntech, 2015).</i></p>
Manganeso	<p><i>“El Manganeso influye en la deficiencia de nutrientes como el Hierro, Magnesio y Calcio, produciendo además de clorosis, lesiones necróticas” (Camelo, 2011).</i></p>	<p>Tras su inhalación o tras administración parenteral u oral, es absorbido se elimina rápidamente de la sangre y se distribuye principalmente en el hígado. Se puede distribuir en otros tejidos, como riñones, intestino delgado, glándulas endocrinas y huesos (Nordberg, 2003).</p>
Mercurio	<p><i>“En las plantas el mercurio deforma los tejidos vasculares y parenquimáticos” (Camelo, 2011)</i></p>	<p><i>“Para los vertebrados acuáticos se reportan acumulaciones en el hígado y en las branquias ocasionando patologías hepáticas e hipoxia” (Camelo, 2011).</i></p>

Fuente: Los autores.

4.4 Sistema Globalmente Armonizado para etiquetado y clasificación de sustancias químicas (GHS)

En concordancia con los artículos 18 y 19 de la Ley 31 de 1995 (Ley aprobada por el Gobierno de España) en materia de prevención de riesgos laborales, el empleador debe informar y formar a los trabajadores sobre todos aquellos riesgos que les afecte en su lugar de trabajo, así como sobre las medidas preventivas que se deben tomar para evitar dichos riesgos. Tanto en el ámbito de la Unión Europea como a nivel mundial, a través de las Naciones Unidas, se han realizado importantes esfuerzos encaminados a implantar sistemas de gestión segura de productos químicos mediante un modelo común referente a facilitar la comunicación de peligros y definir una sustancia o mezcla como peligrosa. En la figura No 1 se presenta una línea de tiempo que describe las fases de la implementación del GHS en los países integrantes de la comunidad europea:

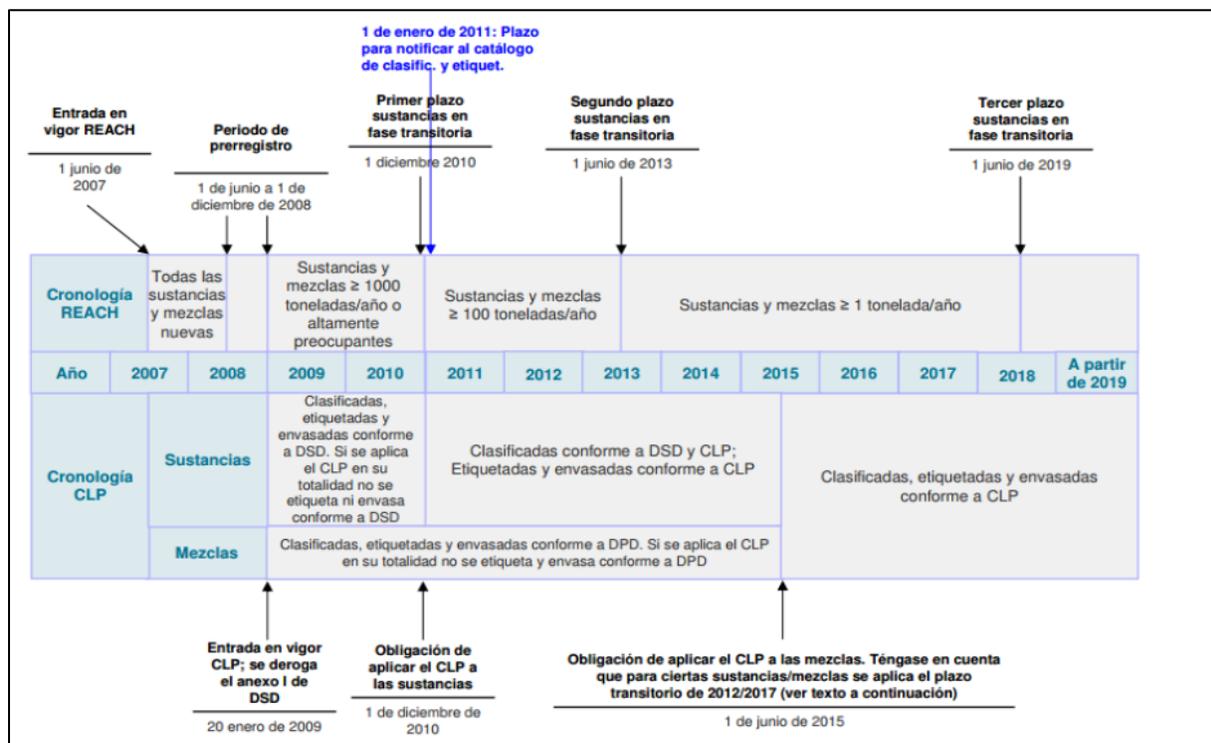


Figura 1: Periodos de adaptación al CLP.
Fuente (Olmos C. , 2015)

En su mayoría, los productores de los reactivos químicos que se emplean en el laboratorio de aguas, son estados miembros de la Comunidad Europea, razón por la cual existe la obligación de actualizar su proceso productivo al GHS en aspectos tales como: Reclasificación de productos con nuevas clases y categorías de peligro, nuevos pictogramas, nuevas frases de riesgo, nuevas frases de prudencia, cambio en el contenido de las etiquetas y de las fichas de seguridad.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Rediseñar e implementar un modelo de gestión de los residuos líquidos generados en el laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E. S. P

5.2 Objetivos específicos

- Clasificar los residuos líquidos generados en el laboratorio de aguas de acuerdo con sus características, componente químico principal y su carácter de peligrosidad de acuerdo con los balances de masas a realizar.
- Identificar, seleccionar y aplicar las estrategias existentes dentro de la pirámide de gestión de residuos líquidos.
- Evaluar la efectividad de la estrategia previamente seleccionada por su capacidad de remoción de la sustancia química contaminante.

6. Metodología

Para la realización de este proyecto se aplicó el método deductivo, el consiste en tomar datos de carácter científico que se consideran como generales para evaluar su aplicabilidad en casos individuales y probar de esta manera su validez en la solución de conflictos particulares.

Como parte inicial de este proyecto, se revisaron los antecedentes y principios aplicables a la gestión de residuos de laboratorio para la obtención de un modelo de gestión que permitiera realizar la disposición final de los mismos, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental y generando un aporte significativo a la mejora continua del proceso realizado en el laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P, de forma tal que este cumpla con los lineamientos de la norma ISO 14001: 2004.

A continuación se describe detalladamente la metodología que permite dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados en la investigación.

6.1 Objetivo específico 1: Clasificar los residuos líquidos generados dentro del laboratorio de aguas de acuerdo con sus características, componente químico principal y su carácter de peligrosidad de acuerdo con los balances de masa a realizar.

Para dar cumplimiento a este objetivo, en primera instancia se realizó una visita de campo y un diagnóstico preliminar para la identificación del laboratorio de aguas de la empresa Proactiva en el cual se realizó el respectivo reconocimiento de su infraestructura y dotación, de la misma forma se tuvo acceso a través del jefe de laboratorio al inventario de residuos del periodo 2012-2016 el cual fue la base para identificar y priorizar los volúmenes de residuos existentes y su concentración de elementos contaminantes. Posteriormente se identificaron los parámetros usados en el laboratorio con los cuales se determina si tales residuos han sido o no clasificados en el inventario previamente mencionado. De igual forma se revisó la caracterización de residuos

del laboratorio realizada en el año 2009 para determinar las posibles necesidades de actualización o complementos requeridos sobre la misma.

Por otra parte, para lograr la clasificación de los residuos líquidos fue necesario conocer sus componentes químicos, los cuales en su mayoría estaban contenidos en los protocolos de ensayo y en las fichas de seguridad de los productos químicos. Estas fichas se encontraban disponibles en varios sistemas de clasificación y etiquetado por lo cual fue necesario unificar a un solo sistema de clasificación y actualizar la matriz de peligrosidad e incompatibilidad de productos químicos. Una vez se enlistaron los componentes de los diferentes residuos se estimaron los balances de masa teóricos para establecer su composición porcentual con el fin de evaluar los posibles tratamientos a emplear.

6.2 Objetivo específico 2: Identificar, seleccionar y aplicar las estrategias existentes dentro de la pirámide de gestión de residuos líquidos.

Para dar cumplimiento a este objetivo fue necesario realizar una revisión del estado del arte en materia de estrategias para la gestión de residuos líquidos en laboratorios de análisis químico. Las estrategias fueron seleccionadas teniendo en cuenta lo siguiente: requerimientos técnicos y operacionales, recursos y personal requerido, insumos, equipos, infraestructura y la efectividad de los procedimientos citados en dicho estado del arte. Teniendo en cuenta los anteriores criterios se seleccionaron de la pirámide de gestión las siguientes tres estrategias: Minimización, Prevención y Recuperación con las cuales se busca hacer la gestión adecuada de los residuos líquidos.

En primera instancia, para lograr la minimización de la cantidad de residuos generados, fue necesario jerarquizarlos de acuerdo con las composiciones finales y con el volumen de residuos generados. De igual forma se incluyeron estrategias como planes pos-consumo para minimizar la

cantidad de residuos sólidos peligrosos y algunas modificaciones directas sobre el proceso de análisis de muestras.

En cuanto a la estrategia de prevención, se identificaron las técnicas más contaminantes y se realizó una búsqueda bibliográfica de los procedimientos de análisis químicos, que permitieran la sustitución de dichas técnicas, teniendo en cuenta que cumplieran con los estándares de calidad analítica, los recursos operacionales y técnicos y su aptitud para el fin provisto.

La última estrategia referente a la recuperación, implicó el estudio de la composición de los diferentes residuos líquidos a tratar y sus características toxicológicas de mayor relevancia. También se tuvieron en cuenta los procedimientos y resultados referenciados en el estado del arte y las posibles reacciones químicas a emplear para lograr la remoción de las sustancias contaminantes identificadas.

Para la ejecución de este proyecto, el Laboratorio de aguas almacenó durante un periodo de seis meses, los residuos líquidos generados en el proceso de análisis, los cuales fueron debidamente segregados de acuerdo con la clasificación existente en dicho lugar. Teniendo en cuenta que en la fase de revisión bibliográfica se identificaron una serie de procedimientos para lograr la recuperación de metales pesados y algunas otras sustancias contaminantes presentes en los residuos líquidos, estos fueron aplicados realizando algunas modificaciones de las variables que intervienen en las reacciones químicas (pH, temperatura, agitación, uso de catalizadores, tiempo de reacción, entre otros), hasta obtener un procedimiento eficaz para la remoción de la carga contaminante de cada uno de los grupos de residuos tratados.

6.3 Objetivo específico 3: Evaluar la efectividad de la estrategia previamente seleccionada por su capacidad de remoción de la sustancia química contaminante.

Posterior al proceso de recuperación aplicado para dar cumplimiento al objetivo citado en el numeral 6.2, se evaluó la efectividad de los tratamientos aplicados a través de determinar su

capacidad de remoción de las sustancias contaminantes. Para lo anterior, se enviaron un grupo de muestras (antes y después del tratamiento) a un laboratorio de análisis debidamente acreditado ante del IDEAM, para cuantificar dicho porcentaje de remoción de las sustancias contaminantes y verificar si los residuos tratados cumplían con la normatividad para ser vertidos a la red de alcantarillado.

7. Resultados

En este apartado se presentan de forma sistematizada los resultados obtenidos en de cada uno de los objetivos específicos propuestos, a continuación se describen las actividades realizadas y los resultados obtenidos de acuerdo a la metodología propuesta.

7.1. Objetivo 1: Clasificar los residuos líquidos generados en el laboratorio de aguas de acuerdo con sus características, componente químico principal y su carácter de peligrosidad de acuerdo con los balances de masas a realizar: Para dar cumplimiento a este objetivo se desarrollaron las siguientes actividades:

7.1.1. Visita de campo y Diagnóstico preliminar: Como actividad inicial del proyecto se realizó una visita de campo a las instalaciones del laboratorio de aguas. Posterior a esta visita, se generó un diagnóstico de lo observado, el cual incluyó aspectos como el embalaje y etiquetado de residuos en el sitio de acopio, revisión ambiental inicial de las instalaciones (RAI), revisión de los contenedores iniciales de los residuos líquidos. Con base en esta información se construyó una matriz DOFA que fue socializada y entregada al jefe del laboratorio de aguas. Este documento reposa en las instalaciones del Laboratorio por cuanto es un documento que contiene datos de carácter confidencial para el proceso.

7.1.2 Identificación de la problemática asociada a la disposición de los residuos generados en laboratorios de análisis químico e identificación de impactos asociados a esta actividad:

Dentro del laboratorio de aguas se ejecutan procedimientos administrativos (revisión de solicitudes, ofertas y contratos, la recepción de quejas y reclamos técnicas y trabajos no conformes), procedimientos operativos de cadena de valor (Recepción y análisis de muestras, auditorías y entrega de resultados) y procedimientos técnicos de apoyo (confirmación

metrológica, aseguramiento de calidad analítica y validación de métodos analíticos) que en conjunto constituyen el proceso de análisis y control de calidad de agua.

Para la identificación de los impactos ambientales, se tuvieron en cuenta únicamente los procedimientos operativos de cadena de valor, debido a que son los de mayor aporte a la generación de residuos sólidos, líquidos y RESPEL.

Para el análisis de los impactos ambientales generados por la actividad de análisis al interior del Laboratorio de aguas, se construyó una Matriz bajo la metodología Ad-hoc. Esta metodología tomó como base los métodos de Vicente Conesa y la metodología de empresas públicas de Medellín, unificando criterios de evaluación. De acuerdo con (Rodríguez, 2011), la evaluación está basada en índices cuantitativos y cualitativos que permiten identificar, evaluar y calificar y jerarquizar los impactos generados por un proyecto, facilitando la interpretación y evitando la subjetividad en el resultado.

Para realizar esta matriz se elaboró un listado de los componentes ambientales que podrían verse afectados con el desarrollo de la actividad de análisis fisicoquímico (biótico, abiótico, socioeconómico y/o cultural). Para la identificación de impactos ambientales, se utilizó una matriz causa-efecto en la cual se relacionan los factores ambientales y las actividades ejecutadas en el análisis fisicoquímico de las muestras de agua y se evaluó si existía interacción entre estos factores. El resultado de la matriz construida se encuentra en las figuras No 2 y 3 del presente documento.

A partir de esta herramienta fue posible inferir que hay un alto impacto sobre el componente físico, moderado impacto en el biótico y antrópico. De acuerdo con lo evidenciado en la matriz, las actividades que más generan impactos son las siguientes:

1. Vertimiento de residuos líquidos peligrosos en diques (Componentes aire y agua):

Esta actividad es de gran impacto ambiental, teniendo en cuenta que parte de estos

residuos se evaporan dentro de los diques de contención y se incorporan a la atmosfera, lo cual podría contaminar el aire. A través el ciclo del agua, retornan a las fuentes superficiales y por proceso de infiltración es posible que se esté generando contaminación del suelo la cual podría ser extensiva al manto freático y a las fuentes de agua subterránea.

- 2. Mantenimiento de diques de contención (Componente suelo):** Esta actividad podría generar impacto negativo sobre este componente, puesto que el paisaje se modifica al retirar la cantidad de suelo necesaria para reemplazar el que se encuentra contaminado y contenido en los diques en los que se vierten los residuos líquidos. Con lo anterior es posible que se generen efectos tales como erosión, remoción de capa vegetal y cambio de uso del suelo.
- 3. Vertimiento de residuos ácidos y alcalinos en jardines (Componente suelo):** Los residuos ácidos y neutros son vertidos sin tratamiento (únicamente son neutralizados) directamente en los jardines aledaños al laboratorio. Estos residuos son consumidos por las plantas, las cuales podrían sufrir alteraciones en su estructura, deterioro, cambios físicos que podrían afectar su proceso de fotosíntesis. De igual forma estos residuos se infiltran, lo cual podría conducir a una contaminación del manto freático y por ende del agua subterránea.

Con base en la metodología actual de disposición de residuos y con la información aportada por la matriz, se evidencia que es necesario modificar la metodología actual con el fin de corregir, eliminar y/o mitigar los impactos asociados a esta actividad.

ACCIONES SUSCEPTIBLES DE GENERAR IMPACTO AMBIENTAL	SISTEMA	FISICO						BIOTICO			ANTRÓPICO														
	Componente medio	Morfología del paisaje	Procesos geofísicos			Atmósfera	Agua	Suelos	Vegetación	Fauna	Procesos ecológicos	Socioeconómico													
		Dimensión-sujeto	Modificación del paisaje	Morfología	Erosión	Sedimentación	Inestabilidad	Composición de la atmósfera	Nivel de ruido	Agua superficial	Agua subterránea		Características Edáficas	Usos del suelo	Comunidades terrestres	Comunidades acuáticas	Comunidades terrestres	Comunidades acuáticas	Cadenas y redes tróficas	Alteración de nichos	Demográfico	Servicios públicos y sociales	Aspectos productivos	Tendencias de desarrollo	
Compra de insumos químicos																									
Análisis fisicoquímico de agua potable y residual																									
Análisis bacteriológico de agua potable y residual																									
Disposición de residuos líquidos peligrosos en diques de contención																									
Vertimiento de residuos ácidos y alcalinos en jardines																									
Mantenimiento de diques de contención (sustitución y retiro de suelo)																									
Entrega y disposición de suelo proveniente de mantenimiento de																									
Almacenamiento temporal de residuos sólidos y peligrosos																									
Entrega y disposición de residuos sólidos y RESPEL																									

Figura 2: Matriz de identificación de impactos sobre los diferentes componentes ambientales.

Fuente: La investigación.

Acciones susceptibles de generar impacto ambiental	Impactos ambientales												
	Alteración de las características de la calidad del agua superficial	Consumo de recursos naturales	Alteración de la calidad del agua subterránea	Contaminación del manto freático	Alteración de la calidad del aire por emisiones	Alteración de la calidad del aire por ruido	Alteración de la calidad del paisaje	Alteración de flora terrestre	Alteración de flora acuática	Afectación de fauna terrestre	Afectación de fauna acuática	Afectación del suelo por infiltración de RESPEL líquidos	Afectación del suelo por infiltración de RESPEL sólidos
Compra de insumos químicos													
Análisis fisicoquímico de agua potable y residual													
Análisis bacteriológico de agua potable y residual													
Disposición de residuos líquidos peligrosos en diques de contención													
Vertimiento de residuos ácidos y alcalinos en jardines													
Mantenimiento de diques de contención (sustitución y retiro de suelo)													
Entrega y disposición de suelo proveniente de mantenimiento de diques													
Almacenamiento temporal de residuos sólidos y peligrosos													
Entrega y disposición de residuos sólidos y RESPEL													
	Modificación de características edáficas	Remoción de suelo	Cambio del uso del suelo	Generación de residuos sólidos domésticos e industriales	Generación de vertimientos domésticos (Lavado de material)	Generación de residuos líquidos peligrosos	Generación de residuos sólidos peligrosos	Perdida y alteración de suelos	perdida de cobertura vegetal	Alteración de nichos y cadenas tróficas	Generación de actividades productivas	Generación de empleo temporal	Tendencias de desarrollo (Planes de Saneamiento Ambiental).
													Servicios públicos y sociales
													Afectación de las condiciones de vida de las comunidades aledañas al laboratorio

Figura 3: Matriz de identificación de impactos (Acción-impacto-efecto).
Fuente: La investigación.

7.1.3. Revisión del inventario de residuos y verificación de las actividades rutinarias del laboratorio de aguas: Se analizó el inventario de residuos del periodo 2012-2016 y la lista de los parámetros analizados para verificar los componentes de cada uno de los residuos líquidos generados (Ver tabla 4). Se construyó además, un esquema general del proceso de separación de los residuos del laboratorio de aguas conforme con lo observado en la visita de campo (ver figura 5). Con la lista de parámetros analizados en el laboratorio de aguas y los protocolos análisis de cada método, se construyó un cuadro que contiene los componentes principales de cada residuo. Esta información fue complementada con las hojas de seguridad de cada producto (ver anexo 1).

7.1.4 Inclusión de nuevos parámetros: Se realizó una revisión de los parámetros que se analizan en el laboratorio de aguas encontrando que existen residuos que no han sido clasificados para su disposición final. Se revisó el protocolo de análisis de cada método y se identificaron los componentes principales de cada residuo para determinar si podrían disponerse en alguno de los grupos existentes, o si era necesaria la inclusión de grupos de residuos adicionales. En el anexo No 1 se describen los parámetros que se encontraban por fuera del inventario de residuos, así como los reactivos que se emplean para realizar cada uno del análisis allí descrito

7.1.5 Revisión de caracterización de residuos del laboratorio realizada en el año 2009: La empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E. S. P solicitó al Laboratorio de la empresa Conoser Ltda. , la caracterización de los residuos líquidos generados en el laboratorio de aguas, con el fin de verificar el cumplimiento de lo establecido en el decreto 4741 de 2005 sobre residuos peligrosos. En la tabla No 4 se especifican los puntos de muestreo que se seleccionaron para la caracterización, los cuales corresponden a los diferentes tipos de

residuos caracterizados y se presenta la descripción de los análisis que conforman cada uno de estos residuos.

Tabla 4. Puntos de muestreo seleccionados para caracterización de residuos (Año 2009).

Tipo de residuo	Descripción
Residuos neutros o alcalinos	Contiene residuos de la prueba de acidez, cloro residual, dureza total y cálcica.
Residuo de estaño	Contiene residuos de la prueba de fosfatos.
Residuos de Cromo	Contiene residuos de la prueba de Cromo
Residuos de Bario	Contiene residuos de la prueba de Sulfatos
Residuos de Mercurio	Contiene residuos de la prueba de Manganeso
Residuos de Cadmio	Contiene residuos de la prueba de Nitratos
Residuos de Cianuro	Contiene residuos de la prueba de manganeso y Zinc.

Fuente: La investigación.

Los resultados obtenidos de la caracterización fueron entregados al laboratorio de aguas, junto con un concepto técnico para identificar los residuos peligrosos (RESPEL) o no peligrosos, de acuerdo con sus características fisicoquímicas.

En la figura No 4 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para cada uno de los residuos caracterizados en el año 2009, realizando una comparación frente a límites permisibles establecidos en el decreto 4741 de 2005. Los valores que están resaltados en color rojo, corresponden a aquellos que incumplían los límites establecidos por el decreto 4741 de 2005 y por lo tanto le otorgan a dichos residuos sus características como RESPEL.

Parámetro (mg/L)	Tipo de residuo								Valor límite decreto 4741/2005
	Neutros y/o Alcalinos	Estaño	Cromo	Bario	Acidos	Mercurio	Cadmio	Cianuro	
Arsénico	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,007	<0,006	<0,006	5,0
Bario	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	0,3	0,2	100,0
Cadmio	<0,003	0,022	<0,003	0,04	0,04	0,02	56,6	0,15	1,0
Cromo Total	<0,06	<0,06	125	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	5,0
Mercurio	0,1	0,004	<0,002	<0,002	<0,002	1150	0,018	<0,002	0,2
pH (unidades)	8,69	1,02	7,35	4,00	3,98	1,00	4,00	9,67	2,0-12,5
Plata	<0,06	<0,06	10	<0,06	<0,06	0,7	0,1	<0,06	5,0
Plomo	<0,02	0,24	<0,02	0,33	0,4	0,2	<0,02	<0,02	5,0
Selenio	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	1,0
Solidos sedimentables (mL/L)	<0,5	-	-	-	<0,5	-	-	-	-
Temperatura	15,0	14,9	14,9	14,9	15,000	15,5	15,5	16,9	-

Figura 4: Resumen caracterización realizada de los residuos líquidos generados en el laboratorio de aguas.
Fuente: La investigación.

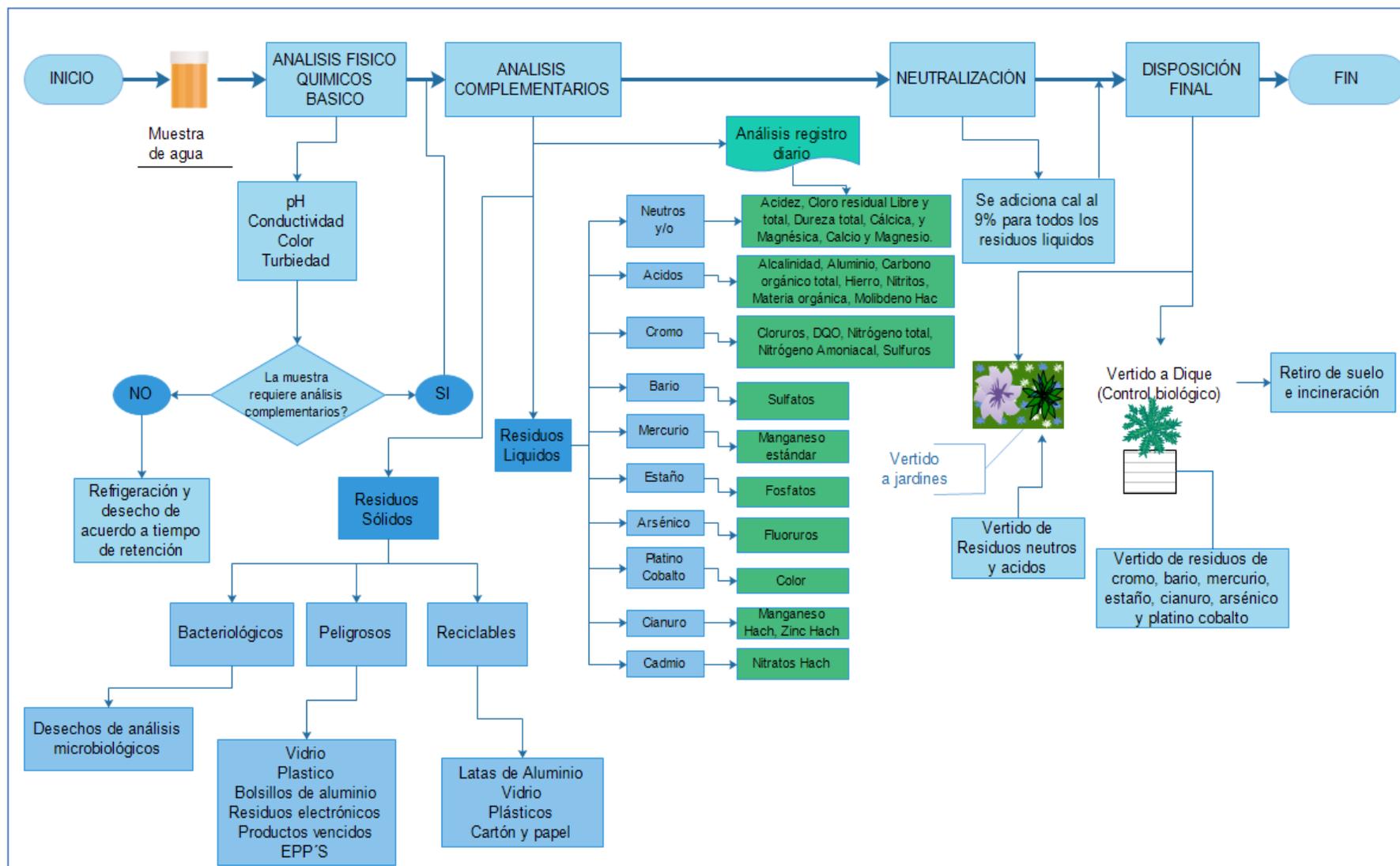


Figura 5: Esquema general con metodología para la separación de los residuos del laboratorio de Aguas
Fuente: La investigación.

7.1.6 Actualización de matriz de peligros y riesgos: En el Laboratorio de aguas existía una matriz de peligros y riesgos, que contenía información de los diferentes productos químicos, teniendo en cuenta sistemas de clasificación como NFPA y/o Código ONU. Adicional a esto, se encontraba información relacionada con las frases de Riesgo y Seguridad (R y S) y los elementos de protección personal de acuerdo con los peligros físicos y a la salud, para cada sustancia química.

Teniendo en cuenta que la mayoría de productos que se usan en el laboratorio, son de importación de países que pertenecen a la Comunidad Europea y que por normativa, ya se han actualizado al sistema GHS, se determinó que esta matriz debía ser actualizada, junto con las fichas de seguridad de todos los productos químicos existentes en el laboratorio para facilitar la identificación de peligros y riesgos. También se debían incluir productos que fueron adquiridos recientemente para la ejecución de nuevas técnicas analíticas.

Para realizar esta actividad se solicitó al laboratorio de aguas una lista de los reactivos empleados en el proceso y se construyó una matriz que contempló los numerales más relevantes de las Hojas de seguridad de cada producto dentro de los cuales se encuentran: Composición química de la sustancia y la mezcla, pictogramas, indicaciones de peligro y prudencia, información relativa al transporte de sustancias, almacenamiento y residuos generados después del uso del producto.

Esta matriz fue entregada y socializada al personal del laboratorio y hace parte integral de la información del Sistema de gestión, razón por la cual no será presentada como anexo de este documento.

7.1.7 Actualización de matriz de incompatibilidad química: Durante la construcción de la matriz del numeral 7.1.7, se pudo evidenciar que en el laboratorio existían productos químicos que aún no habían sido almacenados, teniendo en cuenta las consideraciones de las

fichas de seguridad (FDS). Se realizó la actualización de la matriz de incompatibilidad química de acuerdo con el GHS y se revisó la infraestructura del área de almacenamiento de los productos químicos. Como resultado de esta actividad, se realizó una reorganización del área de almacenamiento conforme con la matriz de incompatibilidad realizada, la cual hace parte de la documentación del Sistema de Gestión integral, razón por la cual no será anexada a este documento.

7.1.8 Matriz de toxicidad: Para esta actividad se construyó una matriz de toxicidad teniendo en cuenta la información de las fichas de seguridad de los diferentes productos químicos que se encuentran en el laboratorio de Aguas. Los criterios que se tuvieron en cuenta para la realización de ésta actividad fueron los numerales 11 (Información toxicológica) y numeral 12 (ecotoxicidad). Esta información se empleó para determinar los riesgos físicos a la salud, medio ambiente, prestando especial importancia a los productos cancerígenos y los mecanismos para el uso y manipulación segura de estas sustancias.

7.1.9 Obtención de los balances de masa teóricos: Con la información recolectada de las fichas de seguridad de los productos químicos existentes en el Laboratorio de aguas se construyeron los balances de masa de cada tipo de residuo para verificar sus composiciones porcentuales. En las figuras 6-15 se presentan los balances de masa, en los cuales se describe el tipo de residuo, el parámetro analizado, los reactivos que se emplean para cada prueba, sus cantidades, el porcentaje de aporte final al residuo y las unidades con las cuales se realizó el balance.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por muestra	Unidades
ACIDOS	Alcalinidad (100 ml de muestra)	*Ácido sulfúrico 0,02 N (Titulante)	1,92E-03	0,00	g/100 mL.
		Agua destilada	2,00E+00	1,95	
		*Indicador Fenolftaleína	-	-	
		Alcohol etílico	9,62E-02	0,09	
		Agua destilada	1,54E-01	0,15	
		Fenolftaleína	1,25E-03	0,00	
		*Indicador mixto	-	-	
		Rojo de metilo	5,00E-05	0,00	
		Verde de bromocresol	2,50E-04	0,00	
		Alcohol etílico	1,92E-01	0,19	
	Agua destilada	5,73E-02	0,06		
	*Tiosulfato de sodio	1,25E-03	0,00		
	Agua destilada	4,88E-02	0,05		
	Agua potable o de captación	1,00E+02	97,51		
	Aluminio estándar (50 ml de muestra)	*Acetato de sodio	1,36E+00	2,03	g/50 mL.
		Agua destilada	8,64E+00	12,88	
		Acido ascórbico	1,00E-03	0,00	
		Agua destilada	9,99E-01	1,49	
		*Ácido sulfúrico 0,02 N (Titulante)	9,60E-04	0,00	
		Agua destilada	9,99E-01	1,49	
		*Eriocromocianina R	1,50E-03	0,00	
		Acido acético 1 N	1,20E-02	0,02	
	Agua destilada	4,99E+00	7,43		
	*Verde de bromocresol	1,00E-04	0,00		
	Agua destilada	9,99E-02	0,15		
	Agua potable o de captación	5,00E+01	74,52		
Aluminio Hach (por cada 50 mL de muestra)	*Aluver:	-	-	g/50 mL.	
	Succinato disódico (25% p/p)	1,50E-01	0,29		
	Acido succínico (70% p/p)	4,20E-01	0,83		
	Ácido Aurintricarboxílico, Sal de Calcio (5% p/p)	3,00E-02	0,06		
	Acido ascórbico	1,00E-01	0,20		
	*Bleaching:	-	-		
	Pirofosfato de sodio tetraháptico (50% p/p)	1,00E-01	0,20		
	Disulfato de potasio (45% p/p)	9,00E-02	0,18		
Sulfato de Magnesio (5% p/p)	1,00E-02	0,02			
Agua potable o de captación	5,00E+01	98,23			

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por muestra	Unidades
ACIDOS	Carbono orgánico total (por cada 5 ml de muestra)	Persulfato de amonio	2,00E-01	1,47	g/3 mL.
		*Solución buffer 2,0 :	-	-	
		Sulfato de sodio (15 % m/v)	1,20E-01	0,88	
		Agua desmineralizada (75% v/v)	2,00E-01	1,47	
		Bisulfato de sodio (10% m/v)	8,00E-02	0,59	
		*Viales para digestión ácida (2 mL)	-	-	
		Acido sulfúrico (10% v/v)	3,61E-01	2,65	
		Agua desmineralizada (90 v/v%)	1,64E+00	12,05	
		*Ampollas indicadoras (1 mL)	-	-	
		Tiosulfato de sodio (1 m/v%)	1,00E-02	0,07	
		Borato de sodio (0,01 m/v%)	1,00E-04	0,00	
		Azul de timol, sal sódica (0,05 m/v%)	5,00E-04	0,00	
	Agua desmineralizada (98,94, m/v%)	9,89E-01	7,28		
	Agua potable o de captación	1,00E+01	73,53		
	Hierro estándar (por cada 50 mL de muestra)	*Acido clorhídrico (37%)	4,40E-01	0,69	g/50 mL.
		Agua destilada	5,60E-01	1,07	
		Acido Nítrico	-	-	
		Acido sulfurico	-	-	
		*Solución Buffer de acetato de amonio	-	-	
		Acetato de amonio	2,50E+00	3,91	
		Acido acético	7,35E+00	11,48	
		Agua destilada	1,50E-01	0,23	
		*Clorhidrato de hidroxilamina	1,00E-01	0,16	
		Agua destilada	9,00E-01	1,41	
	1,10 Fenantrolina	2,00E-03	0,00		
	Agua destilada	2,00E+00	3,12		
	Agua potable, residual o de captación	5,00E+01	78,13		
	Hierro Hach (por cada 10 ml de muestra)	*Ferrover:	-	-	g/ 10 mL.
		1.Tiosulfato de sodio (45% p/p)	1,35E-01	1,31	
		Acido 1,10-Fenantrolina-p-toluenosulfónico, Sal (5% p/p)	1,50E-02	0,15	
		Hidrosulfito de Sodio (15% p/p)	4,50E-02	0,44	
		Citrato de Sodio (10% p/p)	3,00E-02	0,29	
Metabisulfito de Sodio (25% p/p)		7,50E-02	0,73		
Agua potable, residual o de captación		1,00E+01	97,09		
Nitritos estandar (50 mL de muestra)	Hidróxido de amonio	-	-	g/ 50 mL.	
	Acido clorhidrico	-	-		
	*Reactivo coloreador:	-	-		
	Ácido fosfórico	3,20E-01	0,61		
	N-1, naftilendiamina diclorhidrato	2,00E-03	0,00		
	Sulfanilamida	2,00E-02	0,04		
Agua destilada	1,66E+00	3,19			
Agua potable, residual o de captación	5,00E+01	96,15			
Nitritos Hach (por cada 10 ml de muestra)	*Nitríver 3:	-	-	g/ 10 mL.	
	Ácido Cromotrópico, Sal Disódica: (2% p/p)	5,00E-03	0,05		
	Sulfanilato de Sodio : (8% p/p)	2,00E-02	0,20		
	Disulfato de Potasio :(7% p/p)	1,75E-02	0,17		
	Fosfato de Potasio, Monobásico: (80% p/p)	2,00E-01	1,95		
	Ácido 1,2-Ciclohexanodiaminatetraacético, Sal Trisódica: (3% p/p)	7,50E-03	0,07		
Agua potable, residual o de captación	1,00E+01	97,56			
Materia orgánica (por cada 50 ml de residuo)	*Acido sulfurico 2M	1,98E+00	2,33	g/50 mL.	
	Agua destilada	8,02E+00	9,43		
	*Oxalato de sodio	6,70E-02	0,08		
	Agua destilada	1,99E+01	23,45		
	*Permanganato de potasio (0,05 N)	7,90E-04	0,00		
	Agua destilada	5,00E+00	5,88		
Agua potable, residual o de captación	5,00E+01	58,82			

Figura 4: Balance de masa de los componentes de los residuos ácidos generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	%por muestra	Unidades
NEUTROS	Acidez (Por cada 100 mL de muestra)	*Indicador Fenolftaleina	-	-	g/100 mL.
		Alcohol etílico	9,62E-02	0,09	
		Agua destilada	1,54E-01	0,15	
		Fenolftaleina	1,25E-03	0,00	
		*Indicador mixto	-	-	
		Rojo de metilo	5,00E-05	0,00	
		Verde de bromocresol	2,50E-04	0,00	
		Alcohol etílico	1,92E-01	0,19	
		Agua destilada	5,73E-02	0,06	
		*Tiosulfato de sodio	-	-	
	Agua destilada	1,25E-03	0,00		
	*Hidróxido de sodio 0,02 N (Titulante)	-	-		
	Agua destilada	4,88E-02	0,05		
	Agua destilada	1,60E-03	0,00		
	Agua destilada	2,00E+00	1,95		
	Agua potable o de captación	1,00E+02	97,51		
	Cloro residual libre (por cada 25 ml de residuo)	*DPD para 10 mL: Contiene lo siguiente:	-	-	g/25 mL.
		1. N,N-Dietil-p-Fenilendiamina, Sal (5% p/p)	1,50E-02	0,06	
		2. Sal de Carboxilato (60% p/p)	1,80E-01	0,71	
		3. Fosfato de Sodio, Dibásico (30% p/p)	9,00E-02	0,36	
		4. Ácido Etilendiaminatetraacético, Sal Disódica (5% p/p)	1,50E-02	0,06	
	Agua potable o de captación	2,50E+01	98,81		
	Dureza total (por cada 50 ml de residuo)	*EDTA 0,01 M	-	-	g/50 mL.
		Agua destilada	8,00E-04	0,00	
		Acido clorhídrico	2,00E+00	3,70	
		Calmagita	-	-	
		Agua destilada	1,00E-04	0,00	
Agua destilada		9,99E-02	0,18		
*Solución reguladora Dureza Total		-	-		
Cloruro de amonio		6,76E-02	0,12		
Cloruro de magnesio hexahidratado		2,58E-03	0,00		
Cloruro de sodio		1,99E-01	0,37		
Hidróxido de amonio		1,66E-01	0,31		
Sal sódica EDTA		4,72E-03	0,01		
Agua destilada		5,60E-01	1,03		
*Inhibidor para Dureza total	-	-			
Sulfuro de sodio nonahidratado	5,00E-02	0,09			
Agua destilada	9,50E-01	1,76			
Agua potable, residual o de captación	5,00E+01	92,42			
Dureza calcica (por cada 50 ml de residuo)	*EDTA 0,01 M	-	-	g/50 mL.	
	Agua destilada	8,00E-04	0,00		
	Acido clorhídrico	2,00E+00	0,00		
	*Indicador Murexida de sodio	-	-		
	Cloruro de sodio	-	-		
	Murexida de sodio	1,99E-01	0,38		
	*Hidróxido de sodio 1 N	3,98E-04	0,00		
	Agua destilada	8,00E-02	0,15		
Agua destilada	1,92E+00	3,68			
Agua potable, residual o de captación	5,00E+01	95,79			

Figura 5: Balance de masa de los componentes de los residuos neutros generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por muestra	Unidades
ESTAÑO	Fosfatos (por cada 100 mL de muestra)	Agua potable, residual o de captación	1,00E+02	94,50	g/100 mL.
		Acido clorhídrico	-	-	
		*Indicador Cloruro estanoso	-	-	
		Cloruro estanoso	1,50E-02	0,01	
		Glicerol	7,56E-01	0,71	
		*Indicador Fenolftaleina	-	-	
		Alcohol etílico	1,92E-02	0,02	
		Agua destilada	3,05E-02	0,03	
		Fenolftaleina	2,50E-04	0,00	
		*Solución de Molibdato de Amonio	-	-	
		*Acido sulfurico	2,52E+00	2,39	
Molibdato de amonio	1,25E-01	0,12			
Agua destilada	2,35E+00	2,22			

Figura 6: Balance de masa de los componentes de los residuos de Estaño generados en el laboratorio de aguas
(Fuente: La investigación).

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por prueba	Unidades
MERCURIO	Manganeso estándar (por cada 90 ml de muestra)	*Reactivo especial para Manganeso	-	-	g/100 mL.
		Ácido fosfórico	1,60E+00	1,66	
		Acido nítrico	1,50E+00	1,56	
		Sulfato de mercurio	3,75E-01	0,39	
		Agua destilada	1,53E+00	1,59	
		Nitrato de plata	1,75E-04	0,00	
		*peróxido de hidrógeno (30%)	1,65E-02	0,02	
		Agua destilada	3,35E-02	0,03	
	Persulfato de amonio	1,00E+00	1,04		
	Agua potable o de captación	9,00E+01	93,70		
	Nitrogeno Amoniacal (por cada 25 ml de muestra)	*Reactivo Nessler	-	-	g/25 mL.
		Hidróxido de Sodio (10% m/v)	1,00E-01	0,38	
		Yoduro de mercurio (10% m/v)	1,00E-01	0,38	
		Yoduro de sodio (10% m/v)	1,00E-01	0,38	
		Agua desmineralizada (70% v/v)	7,00E-01	2,66	
		Alcohol Polivinílico (5% m/v)	7,50E-03	0,03	
		Agua desmineralizada (95% en Peso)	1,43E-01	0,54	
		*Estabilizador mineral	-	-	
		Citrato de sodio (25% m/v)	3,75E-02	0,14	
		Tartrato de potasio y sodio (25% m/v)	3,75E-02	0,14	
Agua Desmineralizada (50 % v/v)		7,50E-02	0,28		
*Tiosulfato de sodio		1,25E-03	0,00		
Agua destilada	4,88E-02	0,19			
Agua potable, residual o de captación	2,50E+01	94,88			

Figura 7: Balance de masa de los componentes de los residuos de Mercurio generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	%por muestra	Unidades
CIANURO	Manganeso PAN (Por cada 10 mL de residuo)	Acido ascórbico	2,00E-01	1,75	g/10 mL.
		*Solución indicadora PAN 0,1%	-	-	
		Triton X114 (5% m/v)	3,00E-02	0,26	
		N,N-Dimetilformamida (20% m/v)	1,20E-01	1,05	
		Acetato de Amonio (20% m/v)	1,20E-01	1,05	
		Agua desmineralizada: (55% v/v)	3,30E-01	2,89	
		*Reactivo Alcaline Cyanide	-	-	
		1. Hidróxido de Sodio (5% m/v)	3,00E-02	0,26	
	2. Cianuro de Sodio, Malla 8 (7 %m/v)	4,20E-02	0,37		
	3. Agua desmineralizada (88% v/v)	5,28E-01	4,63		
	Agua potable o de captación	1,00E+01	87,72		
	Zinc Hach (por cada 20 ml de residuo)	*Zincover	-	-	g/20 mL.
		Borato de Potasio (55% p/p)	3,30E-01	1,57	
		Oxido de Boro (20% p/p)	1,20E-01	0,57	
Ascorbato de Sodio (20% p/p)		1,20E-01	0,57		
Cianuro de potasio (5% p/p)		3,00E-02	0,14		
Ciclohexanona		4,74E-01	2,25		
Agua potable o de captación	2,00E+01	94,90			

Figura 8: Balance de masa de los componentes de los residuos de Cianuro generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba	% por prueba	Unidades
CADMIO	Nitratos Hach (por cada 10 ml de muestra)	*Nitrover 5	-	-	mg/10 mL.
		Fosfato de potasio, monobásico (35% p/p)	1,41E-01	1,38	
		Sulfato de magnesio (10% p/p)	2,00E-02	0,19	
		Cadmio (8% p/p)	1,60E-02	0,16	
		Acido 2,5 hidroxibenzoico (20% p/p)	4,00E-02	0,39	
		Acido Sulfanílico (27% p/p)	5,40E-02	0,53	
Agua potable, residual o de captación	1,00E+01	97,36			
Agua de Bromo	-	-			
Solución fenólica	-	-			

Figura 9: Balance de masa de los componentes de los residuos de Cadmio generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	%por muestra	Unidades
ARSENICO	Fluoruros Hach (por cada 10 ml de residuo)	Agua potable o de captación	1,00E+01	83,33	g/10 mL.
		*Reactivo SPANDS para fluoruros	-	-	
		Ácido Clorhídrico (25 % v/v)	1,32E-01	1,10	
		Agua desmineralizada (74,4% v/v)	1,87E+00	15,57	
		SPADNS (0,5 m/V)	2,00E-05	0,00	
		Arsenito de Sodio (0,10% m/v)	4,00E-04	0,00	

Figura 10: Balance de masa de los componentes de los residuos de Arsénico generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	%por muestra	Unidades
BARIO	Sulfatos (por cada 100 ml de muestra)	*Solución reguladora B	-	-	g/100 mL.
		Cloruro de Magnesio hexahidratado	1,50E-01	0,14	
		Acetato de sodio	2,50E-02	0,02	
		Acido acético	1,05E-01	0,10	
		Nitrato de potasio	5,00E-03	0,00	
		Sulfato de sodio	1,11E-03	0,00	
		Agua destilada	4,72E+00	4,46	
		Cloruro de bario anhidro	8,00E-01	0,76	
		Agua potable, residual o de captación	1,00E+02	94,51	

Figura 11: Balance de masa de los componentes de los residuos de Bario generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por prueba	Unidades
CROMO	DQO Rango Bajo 150 ppm (por cada 2 ml de muestra)	*Viales para digestión:	-	-	g/2 mL.
		Sulfato de mercurio (1% m/m)	1,00E-02	0,20	
		Acido dicrómico (0,01% m/m)	1,00E-03	0,02	
		Sulfato de plata (1 % m/m)	1,00E-02	0,20	
		Acido sulfúrico (85% m/v)	1,66E+00	33,12	
		Agua desmineralizada (13%)	1,32E+00	26,46	
		Agua potable, residual o captación	2,00E+00	40,00	
	DQO Rango Alto 1500 ppm (por cada 2 ml de muestra)	*Viales para digestión:	-	-	g/2 mL.
		Sulfato de mercurio (2% m/m)	2,00E-02	0,40	
		Acido dicrómico (1% m/m)	1,00E-02	0,20	
		Sulfato de plata (2 % m/m)	2,00E-02	0,40	
		Acido sulfúrico (90% m/v)	1,66E+00	33,12	
		Agua desmineralizada (5%)	1,29E+00	25,88	
		Agua potable, residual o captación	2,00E+00	40,00	

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por prueba	Unidades
CROMO	Cloruros (por cada 100 ml de residuo)	Acido sulfurico	-	-	g/100 mL.
		*Indicador Fenolftaleina	-	-	
		Alcohol etilico	3,85E-02	0,04	
		Agua destilada	6,15E-02	0,06	
		Fenolftaleina	5,00E-04	0,00	
		*Cromato de potasio	5,00E-02	0,05	
		Agua destilada	9,50E-01	0,88	
		Suspensión de Hidróxido de Aluminio	-	-	
		Hidroxido de Aluminio	3,75E-01	0,35	
		hidroxido de amonio	4,80E-02	0,04	
		Agua destilada	2,58E+00	2,39	
		*Hidróxido de sodio 0,02 N	4,00E-04	0,00	
		Agua destilada	5,00E-01	0,46	
		*Nitrato de plata 0,0141 N	7,19E-03	0,01	
	Agua destilada	2,99E+00	2,78		
	*peróxido de hidrógeno (30%)	-	-		
	Agua destilada	-	-		
	Agua Potable o de captación	1,00E+02	92,94		
	Sulfuros	*Reactivo sulfide 1	-	-	g/25 mL.
		Acido Sulfúrico (55% v/v)	9,92E-01	3,67	
Agua desmineralizada (45% v/v)		8,24E-03	0,03		
*Reactivo sulfide 2: Contiene		-	-		
Dicromato de Potasio (1% m/v)		1,00E-02	0,04		
Agua desmineralizada (99% v/v)		9,90E-01	3,67		
Agua Potable o de captación	2,50E+01	92,59			

Figura 12: Balance de masa de los componentes de los residuos de Cromo generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por prueba	Unidades
PLATINO COBALTO	Color (por cada 20 ml de muestra)	*Solucion estandar de platino cobalto (contiene):	-	-	g/20 mL.
		Cloruro de Cobalto (0,5 % m/v)	1,00E-02	0,03	
		Acido Clorhidrico (10 % m/v)	1,36E+00	3,40	
		Agua desmineralizada (89,5% v/v)	1,86E+01	46,57	
		Agua potable y de captación	2,00E+01	50,00	

Figura 13: Balance de masa de los componentes de los residuos de Platino Cobalto generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

7.1.10 Balance de masas de los residuos que aún no han sido clasificados: Para los parámetros que aún no han sido clasificados dentro de los grupos mencionados en el numeral 7.1.9, se realizó el balance de masas para establecer su composición, los cuales se presentan en las figuras 16-20. Estos balances de masa fueron tomados como base para clasificar los residuos de acuerdo con su composición y para conocer los referentes teóricos de las sustancias contaminantes a remover.

Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por prueba	Unidades
Fósforo estándar	*Reactivo coloreador	-	-	g/50 mL.
	*Acido ascórbico	4,22E-02	0,07	
	*Molibdato de Amonio	4,80E-02	0,08	
	*Tartrato de Antimonio y potasio	1,10E-03	0,00	
	*Acido Sulfúrico 5 N	1,92E+00	3,07	
	Agua destilada	5,99E+00	9,57	
	*Acido Sulfúrico 2 N	9,60E-02	0,15	
	Agua destilada	9,04E-01	1,45	
	*Acido Sulfúrico 11 N	5,28E-01	0,84	
	Agua destilada	4,72E-01	0,75	
	Agua de captación o Residual	5,00E+01	79,94	
Fosforo Hach	*Indicador Fenoltaleina	-	-	g/5 mL.
	Alcohol etílico	5,77E-02	0,09	
	Agua destilada	9,23E-02	0,15	
	Fenoltaleina	7,50E-04	0,00	
	*Hidróxido de sodio 10 N	8,00E-01	1,28	
	Agua destilada	1,20E+00	1,92	
	Persulfato de Amonio	4,00E-01	0,64	
	Agua residual o de Captación	5,00E+00	53,19	
*Hidróxido de sodio 1,54 N	1,23E+00	13,11	g/5 mL.	
Agua destilada	7,68E-01	8,17		
*Viales para Digestión	-	-		
Acido sulfúrico (9%)	3,25E-01	3,45		
Agua desmineralizada (91%)	1,68E+00	17,82		
*Phosver	-	-		
Disulfato de potasio (80%)	2,40E-01	2,55		
Molibdato de sodio (5%)	1,50E-02	0,16		
Acido ascórbico (15%)	4,50E-02	0,48		
Persulfato de Potasio	1,00E-01	1,06		

Figura 14: Balance de masa de los componentes de los residuos de análisis de fósforo estándar y método Hach generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por prueba	Unidades
Grasas y aceites	Hexano	1,25E+02	-	g/1000 mL.
	*Solución Tierra diatomácea	-	-	
	Tierra diatomácea	1,00E+00	-	
	Agua desmineralizada	9,99E+01	9,08	
	*Acido Clorhídrico	2,20E+00	0,20	
	Agua desmineralizada	2,80E+00	0,25	
Agua residual o de Captación	1,00E+03	90,92		

Figura 15: Balance de masa de los componentes de los residuos de análisis de Grasas y aceites generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por prueba	Unidades
Cianuro	*Cyanide 3. Bolsas de Polvo Reactivo para Cianuro:	-	-	g/10 mL.
	Fosfato de Potasio, Monobásico (55%)	1,10E-01	1,04	
	Fosfato de sodio, dibásico (44%)	8,80E-02	0,83	
	1,3-Dicloro-5,5-dimetildiantoina (1%)	2,00E-03	0,02	
	*Cyaniver 4:	-	-	
	Ácido nítrico-3-piridina (25%)	2,50E-02	0,24	
	Sulfato de Sodio (55%)	5,50E-02	0,52	
	Ácido L-Ascórbico (20%)	2,00E-02	0,19	
	*Cyaniver 5:	-	-	
	Fosfato de Potasio, Monobásico (35%)	8,75E-02	0,83	
Fosfato de sodio, dibásico (40%)	1,00E-01	0,94		
3-Metil-1-fenil-2-pirazolina-5-ona (10%)	2,50E-02	0,24		
Sulfato de Sodio (15%)	3,75E-02	0,35		
*Reactivo Quelador:	-	-		
Ácido Ciclohexanodiaminatetraacético, Sal Disódica (100%)	5,00E-02	0,47		
Agua potable, residual o de captación	1,00E+01	94,34		
Cromo Total	*Cromo 1:	-	-	g/25mL
	Hidróxido de Litio Anhidro (45,0%)	5,00E-02	0,19	
	Hipobromito de Litio (20,0%)	2,00E-02	0,08	
	Sulfato de Sodio (35%)	3,00E-02	0,12	
	*Cromo 2:	-	-	
	Ácido 5-Sulfosalicílico (65,0%)	3,25E-02	0,13	
	Ácido 1,2-Ciclohexanodiaminatetraacético, Sal Trisódica (15,0%)	7,50E-03	0,03	
	Sulfato de Sodio (20,0%)	1,00E-02	0,04	
	*Reactivo Ácido:	-	-	
	Disulfato de Potasio	5,00E-01	1,93	
*Cromaver 3:	-	-		
Pirosulfato de Potasio (75,0%)	1,50E-01	0,58		
1,5-Difenilcarbohidrazida (1%)	2,00E-03	0,01		
Sulfato de Magnesio (24,0%)	4,80E-02	0,19		
Agua Potable, Residual o de Captación	2,50E+01	96,71		
DBO	Agua residual o de Captación	1,50E+02	22,98	g/300 mL.
	*Hidróxido de sodio 1,0 N	1,00E-01	0,02	
	Agua destilada	1,50E-01	0,02	
	*Nutriente buffer para DBO	-	-	
	Cloruro de Calcio (5%)	1,25E-01	0,02	
	Fosfato de potasio monobásico (5%)	1,25E-01	0,02	
	Cloruro férrico (1%)	2,50E-02	0,00	
	Sulfato de magnesio heptahidratado (5%)	1,25E-01	0,02	
	Agua desmineralizada (84%)	2,10E+00	0,32	
	*Polyseed	-	-	
Agua destilada	5,00E+02	76,60		
Polyseed DBO inóculo	4,00E-04	0,00		
Molibdeno Hach (Por cada 20 ml de residuo)	*Reactivo 1 para Molibdeno: Contiene:	-	-	g/20 mL.
	Acido ascórbico (30 % p/p)	9,00E-02	0,43	
	Ftalato Ácido de Potasio (70% p/p)	2,10E-01	1,01	
	*Reactivo 2 para Molibdeno: Contiene:	-	-	
	Triton X114 (% 5)	2,50E-02	0,12	
	Bromuro de Cetiltrimetilamonio (1, 0%)	5,00E-03	0,02	
	Agua desmineralizada (94%)	4,70E-01	2,26	
Agua potable o de captación	2,00E+01	96,15		

Figura 16: Balance de masa de los componentes de los residuos de análisis de Bario, Cianuro, Cromo Total, Molibdeno (métodos de la casa comercial Hach) y DBO generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por prueba	Unidades	
pH	*Buffer pH 7,00: Hidrogeno fosfato de di-sodio (60% p/p) Di-hidrogeno fosfato de potasio (40% p/p) Agua destilada	- 2,40E-01 1,60E+00 5,00E+01	- 0,46 3,09 96,45	g/50 mL.	
	*Solución Buffer pH 4,01: Ftalato ácido de Potasio (5% m/v) SPADNS (1% p/p) Agua desmineralizada (98% v/v)	- 2,50E+00 5,00E-01 4,70E+01	- 5,00 1,00 94,00	g/50 mL.	
	*Solución Buffer pH 7,00 : Fosfato de potasio monobasico (1% m/v) 2. Agua desmineralizada (99% v/v)	- 5,00E-01 4,95E+01	- 1,00 99,00	g/50 mL.	
	*Solución Buffer pH 10,0: Carbonato de sodio (0,5% p/v) Agua destilada (99,5%% p/p)	- 2,50E-01 5,00E+01	- 0,50 99,50	g/50 mL.	
	*Reactivo Phenol red: 1,2-Propanodiol (40%) Agua desmineralizada (60%)	- 4,00E-01 6,00E-01	- 40,00 60,00	g/1 mL.	
	*Solución Wide Range: Isopropanol (55%) Agua desmineralizada (44,9%) Otros componentes (0,1%) Agua potable, residual o de captación	- 1,02E-01 1,48E-01 2,50E-04 5,00E+00	- 1,95 2,81 0,00 95,24	g/5 mL.	
	*Solución de almacenamiento para pH: Cloruro de potasio (2,50%) Fosfato Potasio monobásico (4,64%) Sodio fosfato dibásico (17%) Agua desionizada (75,86%)	- 1,25E-01 2,32E-01 8,50E-01 3,79E+00	- 2,50 4,64 17,00 75,86	g/5 mL.	
	*Solución de llenado para pH: Cloruro de Potasio (20%) Nitrato de plata (10%) Tritón X-100 (10%) Agua (60 %)	- 1,00E+00 5,00E-01 5,00E-01 3,00E+00	- 20,00 10,00 10,00 60,00	g/5 mL.	
	Solución limpieza de electrodo: Agua desmineralizada (96%) Acido Clorhídrico (4%)	- 4,91E+00 8,81E-02	- 98,24 1,76	g/5 mL.	
	Nitrogeno Total	Hidróxido de Sodio (Vial): Agua desmineralizada(98,0%) Carbonato de Sodio (1,0%) Hidróxido de sodio (1,0%) Persulfato de Potasio	- 4,90E+00 5,00E-02 5,00E-02 2,50E-01	- 490,00 5,00 5,00 25,00	g/10 mL.
		*Reactivo A: Metabisulfito de sodio	- 2,00E-01	- 20,00	
*Reactivo B: Urea (25%) Acido cromotrópico , Sal Disódica (10%) Arena de cuarzo blanca (60%) Metabisulfito de sodio (10%)		- 3,75E-02 1,50E-02 9,00E-02 1,50E-02	- 3,75 1,50 9,00 1,50		
NitraVer X Test Nube Reactivo (Vial): Agua desmineralizada (20%) Acido Sulfúrico (80,0%)		- 6,56E+00 1,44E+00	- 655,74 144,26		
Turbiedad		*Solución patrón para turbiedad (Formazina): Hexametilenotetramina (5%) Agua desmineralizada (94,4%) Formaldehido (0,1%) Formazina polímero (0,5%)	- 5,00E-02 9,44E-01 1,00E-03 5,00E-03	- 5,00 94,40 0,10 0,50	
		Colillert (100%)	2,70E+00	2,70	
		Agua residual o de Captación	1,00E+02	97,37	
	Siembra por sustrato				

Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba	Cantidad de reactivo por prueba (g)	% por prueba	Unidades
pH	*Buffer pH 4,01	-	-	g/50 mL.
	SPADNS (1% p/p)	5,00E-03	0,01	
	Ftalato Acido de Potasio (99,0% p/p)	4,95E-01	0,98	
	Agua destilada	5,00E+01	99,01	g/50 mL.
	*Buffer pH 6,00	-	-	
	Succinato Disódico (90%)	3,60E-01	0,71	
Acido succínico (10%)	4,00E-02	0,08		
Agua destilada	5,00E+01	99,21		

Figura 17: Balance de masa de los componentes de los residuos de análisis de pH, Nitrógeno total método Hach, turbiedad, y análisis de coliformes totales y fecales por el método de sustrato definido generados en el laboratorio de aguas

Fuente: La investigación.

7.2 Objetivo 2: Identificar, seleccionar y aplicar las estrategias existentes dentro de la pirámide de gestión de residuos líquidos:

Para dar cumplimiento a este objetivo se desarrollaron las siguientes actividades:

7.2.1 Clasificación y Composición química de los residuos líquidos: Para esta actividad se tomó como base la caracterización de residuos realizada en el año 2009, en la cual se establecieron diferentes grupos para la segregación de residuos de acuerdo con su composición fisicoquímica. Posteriormente se comparó dicha información con los balances de masa obtenidos en el marco de este proyecto, evidenciando que se requería reclasificar algunos residuos por su composición química, así como generar grupos adicionales que abarcaran aquellos residuos que aún no estaban clasificados. La reclasificación generada se encuentra consignada en el Manual de higiene y seguridad del Laboratorio de aguas y ésta será tomada como base para la segregación y almacenamiento de los diferentes residuos líquidos allí generados

7.2.2 Selección y aplicación de estrategias existentes dentro de la pirámide de gestión de residuos líquidos: Las estrategias para la gestión de residuos han sido agrupadas en una pirámide (figura 20) que inicia con la opción más favorecedora (prevención de la generación del residuo) hasta la menos favorecedora (Disposición y gestión final empleando el tratamiento más respetuoso para el medio ambiente. Al evaluar las ventajas de cada una de las estrategias presentadas en la pirámide de gestión y teniendo en cuenta los recursos operacionales, técnicos y

su aptitud para el fin provisto, se seleccionaron las siguientes: Prevención, Minimización y Recuperación. A continuación se describen las actividades a través de las cuales se ejecutarán las estrategias seleccionadas para la gestión de los residuos del laboratorio de aguas.

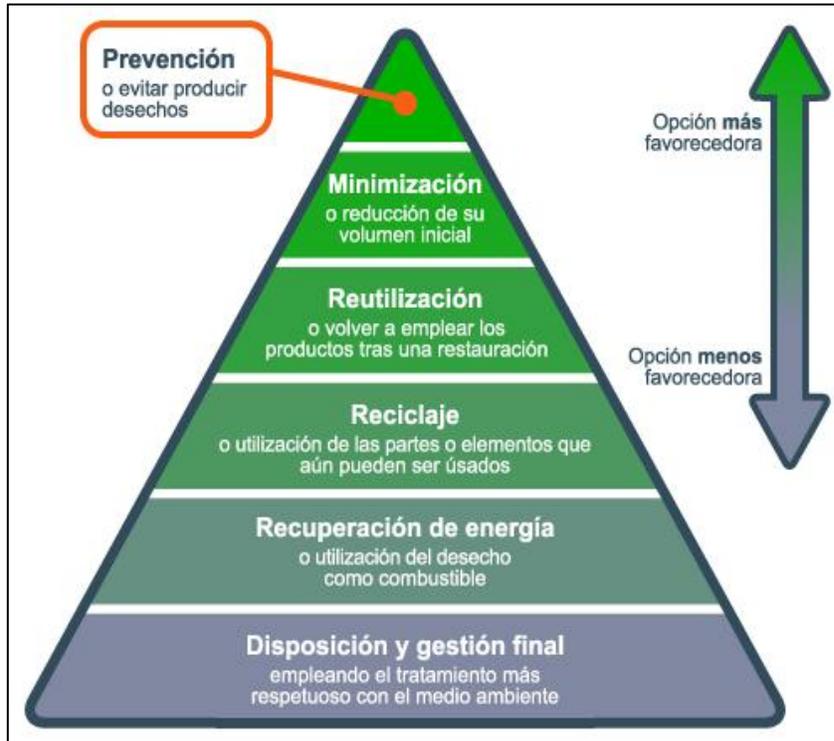


Figura 18: Pirámide de gestión de residuos
Fuente: (Cumplimiento Ambiental, 2013).

7.2.3 Jerarquización de los residuos líquidos generados: Para minimizar la cantidad de residuos líquidos, se revisó su promedio histórico de generación con el fin de establecer la jerarquía de tratamiento de acuerdo con su volumen, frecuencia y su toxicidad potencial. En primera instancia, se construyeron gráficos de barras para jerarquizar los residuos por el volumen generado. En la Figura No 21 se presenta un consolidado de las cantidades de residuos generadas durante el periodo 2012-2015.

De acuerdo con su producción anual, en el periodo 2012-2013 se observa tendencia descendente del volumen de residuos generados, lo cual se debe a la reducción de la cantidad de los análisis que se realizan en el laboratorio por modificaciones del acuerdo anual establecido con la Planta de tratamiento de agua potable. En el año 2014 se presentó un aumento del

volumen de generación de residuos lo cual se debe a la ejecución de procesos de validación y revalidación de métodos analíticos para ampliar la capacidad técnica y con ello la oferta de sus servicios.

En el año 2015 se presenta un descenso teniendo en cuenta que se llevaron a cabo menos procesos de validación de métodos.

Tipo de residuo	Cantidad de residuos generados (Litros /año)			
	2012	2013	2014	2015
Ácidos	512	414	414	337
Arsénico	17	6	9	5
Bario	117	173	144	197
Cadmio	13	11	25	8
Cianuro	17	26	9	18
Cromo	153	183	177	153
Platino Cobalto	8	13	7	18
Estaño	101	94	83	80
Mercurio	160	91	121	107
Neutros o alcalinos	396	257	347	292
Total	1496	1269	1336	1215

Figura 19: Consolidado de cantidades de residuos generados en el laboratorio de aguas en el periodo 2012-2015 Fuente: La investigación).

A partir de esta información, se estableció el orden para aplicación de las estrategias de gestión de los residuos líquidos (ver tabla 5), teniendo en cuenta principalmente el volumen generado en el periodo de estudio (2012-2015). El orden en la numeración es descendente siendo 1 el que requiere mayor prioridad de tratamiento y 10 el de menor prioridad por su baja frecuencia de generación y volumen.

Tabla 5. Jerarquización de residuos de acuerdo con el volumen generado.

<i>Tipo de residuo</i>	<i>Orden de tratamiento</i>
Residuos Ácidos	1
Residuos Neutros	2
Residuos de Cromo	3
Residuos de Bario	4
Residuos de Mercurio	5
Residuos de Estaño	6
Residuos de Cianuro	7
Residuos de Platino Cobalto	8
Residuos de Cadmio	9
Residuos de Arsénico	10

Fuente: La investigación.

7.2.4 Prevención de la generación de residuos altamente contaminantes: Para dar cumplimiento a esta estrategia se realizó un análisis de las entradas y salidas del proceso (ver figura No 4). Se tuvo en cuenta además, los métodos de análisis que generan los residuos más peligrosos, por lo cual requieren especial atención en su tratamiento y disposición final. Estos corresponden a aquellos que contienen Mercurio y Cadmio. A continuación, se especifican las acciones propuestas para prevenir la generación de este tipo de residuos.

7.2.4.1 Prevención de la generación de residuos que contengan Mercurio: Teniendo en cuenta que la Ley 1658 de 2013 establece que *“a efectos de proteger y salvaguardar la salud humana y preservar los recursos naturales renovables y el medio ambiente, se debe reglamentar en todo el territorio nacional el uso, importación, producción, comercialización, manejo, transporte, almacenamiento, disposición final y liberación al ambiente en actividades industriales, cualesquiera que ellas sean”* (Ministerio de Salud y protección social, 2013) y que a su vez se definió que los usuarios de Mercurio y sus derivados, cuentan con un plazo de diez

años para la reducción y erradicación de su uso en todos los procesos industriales y productivos, el Laboratorio de aguas debe evaluar sus procesos para dar cumplimiento a las directrices de esta normativa nacional. Se propone lo siguiente:

- **Selección de técnicas analíticas que no empleen mercurio y sus derivados como reactivo químico:** para la implementación de nuevas técnicas el Laboratorio de aguas realiza una etapa de pre-diseño de los métodos en la cual se evalúan los requerimientos técnicos y los recursos requeridos. Como criterio de selección de los métodos, es posible establecer que se dé prioridad a aquellas técnicas que no empleen productos químicos que contengan Mercurio o alguno de sus derivados
- **Sustitución de la técnica de análisis de Manganeso:** El laboratorio de aguas realiza el análisis de Manganeso por el método SM-3500 Mn, en el cual se usa Sulfato de mercurio como catalizador en el proceso de digestión de la muestra. De acuerdo con la revisión de técnicas analíticas disponibles para el análisis del Manganeso, la casa Comercial HACH ofrece el método de oxidación con peryodato (Método 8034) avalado por la USEPA. Se requiere revisar si esta técnica cumple con los criterios técnicos y analíticos para sustituir la técnica actual.
- **Sustitución de la técnica para análisis de Nitrógeno amoniacal:** El análisis de nitrógeno amoniacal en el laboratorio de aguas se realiza mediante el método Nessler (método 8038 de la casa comercial Hach), el cual emplea el yoduro de mercurio, para la formación del complejo coloreador. Este método de análisis podría ser sustituido por la técnica SM 4500-NH₃ D- Método Ion selectivo para amonio. Se requiere revisar si esta técnica cumple con los criterios técnicos y analíticos para sustituir la técnica actual.
- **Sustitución de los viales para análisis de la DQO:** para el análisis de DQO el laboratorio adquiere los viales de la casa comercial Hach, los cuales dentro de su formulación

contienen sulfato de mercurio que es adicionado para el tratamiento de las interferencias por cloruros. Se requiere evaluar el reemplazo de estos viales por aquellos que ofrece la misma casa comercial, pero excluyen el mercurio de su formulación. Lo anterior se debe evaluar bajo un proceso de validación que garantice que no serán alteradas las condiciones y atributos iniciales del método. La referencia del este reactivo es 2565115 de la casa comercial HACH.

7.2.4.2 Prevención en la generación de residuos que contengan Cadmio: Durante la aplicación de los procesos de recuperación de metales pesados en los residuos líquidos contaminados con Cadmio (provenientes del análisis de nitratos), se evidenció dificultad para ejecutar este tratamiento. Por tal razón, se requiere evaluar métodos alternos para la determinar Nitratos en matriz agua. Se tiene a disposición la alternativa de sustituir la técnica de la casa comercial Hach, por la técnica 4500-NO₃- D- Método Ion selectivo para nitratos. Se requiere revisar si esta técnica cumple con los criterios técnicos y analíticos para sustituir la técnica actual.

7.2.4.3 Minimización de la cantidad de residuos generados: A continuación se describen las actividades que se plantearon para dar cumplimiento a esta estrategia.

- **Reducción en la cantidad de los envases plásticos y de vidrio a disponer como residuos peligrosos:** Posterior al uso de los reactivos químicos, se generan residuos de vidrio y plástico que son catalogados como peligrosos debido a que contienen trazas del reactivo que allí era almacenado. Algunos de estos envases provenían de reactivos que son No peligrosos por cuanto no constituyen un riesgo físico, para la salud o para el medio ambiente. Dentro de la matriz de peligros y riesgos se generó una columna que permite identificar los residuos posteriores al uso del producto y establecer si podrían o no ser catalogados como peligrosos. Muchos de estos envases que contienen productos

no peligrosos, podrían disponerse dentro del plástico y vidrio reciclable, lo cual contribuiría con la reducción significativa de la cantidad de residuos peligrosos a disponer.

- **Planes pos-consumo con proveedores de reactivos químicos:** Algunas casas productoras de reactivos químicos tienen dentro de sus servicios adicionales la recolección pos-consumo de los envases vacíos de los productos consumidos. Es posible que el laboratorio establezca convenios pos-consumo para reducir la cantidad de residuos peligrosos a disponer y se contribuya con el ciclo de vida del producto, al tener en cuenta que el proveedor realizará una disposición final adecuada. Es posible también, establecer convenios para la recepción de productos que por sus condiciones de estabilidad se vencen dentro del tiempo de uso en el laboratorio de aguas, para que reciban la disposición final adecuada.
- **Planificación de la actividad analítica:** Para analizar las muestras de agua se deben realizar controles analíticos, los cuales incluyen: blanco de prueba, patrones, análisis de muestras adicionadas, duplicado de muestras adicionadas, entre otras, las cuales aumentan los volúmenes de residuos líquidos a disponer. El Laboratorio de aguas podría programar horarios y fechas de acuerdo con la demanda de análisis para agrupar lotes de muestras del mismo parámetro durante la semana o jornada de trabajo, para reducir el número de controles requeridos y a su vez la cantidad de reactivos a emplear.
- **Planificación de la preparación de soluciones de trabajo:** Algunas soluciones de trabajo tienen periodos de vida cortos, lo cual conduce a su preparación frecuente y en algunos casos el desecho de la solución remanente que perdió su vigencia o utilidad. Lo anterior, incide en el aumento de los residuos líquidos que deben ser tratados en el laboratorio de aguas y en un consumo superior de reactivos químicos. A través de la

planificación de la actividad analítica y de los registros que se tienen de preparación de soluciones es posible establecer las cantidades que se requieren de los diferentes reactivos, de acuerdo con la oferta de análisis y las vigencias de los mismos, para preparar únicamente las cantidades que se requieren en la rutina y para el ejercicio de la actividad analítica.

- **Disposición de soluciones no peligrosas:** Al revisar la clasificación de los reactivos que se encuentran en el laboratorio de aguas, se determinó que aproximadamente el 30% de las sustancias tienen un carácter No peligroso, lo cual permitiría realizar el vertimiento al alcantarillado de los residuos de estas sustancias para evitar que se contaminen al mezclarlos con los residuos que si son catalogados como peligrosos. Tal es el caso de la mayoría de patrones de las diversas técnicas analíticas, los cuales, teniendo en cuenta lo establecido en las fichas de seguridad han sido catalogados como productos No peligrosos.
- **Recuperación de solventes orgánicos:** El laboratorio de aguas se encuentra validando del método gravimétrico de extracción con equipo Soxhlet para análisis de grasas y aceites, en el cual se emplea hexano como solvente principal, el cual tiene características fisicoquímicas y toxicológicas que impiden su vertimiento al sistema de alcantarillado, por lo cual se propone realizar un convenio con un laboratorio de análisis químico para la recuperación de este solvente a partir de la rotaevaporación.

7.3 Objetivo 3: Evaluar la efectividad de la estrategia previamente seleccionada por su capacidad de remoción de la sustancia química contaminante.

Posterior a la revisión del estado del arte, se aplicaron los diferentes tratamientos identificados acorde con el tipo de residuo. Los residuos líquidos fueron segregados y almacenados durante un

periodo de seis meses (6) tomando como base los grupos establecidos en la caracterización realizada en el año 2009 (Ver figura 5).

El proceso de seguimiento de los tratamientos aplicados se documentó en una bitácora que reposa en las instalaciones del Laboratorio de aguas, en la cual se indican: reactivos, materiales, soluciones, y descripción del paso a paso de cada una de las etapas. A partir de la información consignada en la bitácora y los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas, se logró consolidar un conjunto de procedimientos que contienen la metodología para el tratamiento de los residuos.

Con la aplicación de los procedimientos antes mencionados, los residuos líquidos generados en el Laboratorio de aguas no se dispondrán en los diques de contención, por lo cual no se generarán impactos directos sobre los recursos suelo y aire e impactos indirectos sobre el recurso agua. De igual forma se reducirán los costos por la incineración del suelo que contenía los residuos líquidos, de acuerdo con el modelo de gestión anterior a este proyecto.

Estos procedimientos podrían ser aplicados en industrias que generen residuos líquidos con características similares a los del Laboratorio de aguas, para la remoción de sustancias contaminantes, principalmente de metales pesados. En la tabla No 6 se presentan las generalidades sobre los tratamientos aplicados a los diversos grupos de residuos, para los cuales fue posible establecer procedimientos efectivos de remoción de sustancias contaminantes.

Tabla 6. *Resumen de los procedimientos aplicados para remoción de sustancias contaminantes.*

<i>Tipo de residuo</i>	<i>Tratamiento aplicado</i>
Residuos del análisis de Alcalinidad	Para el tratamiento de estos residuos se emplearon reactivos tales como Sulfato de Aluminio y Cloruro férrico como agentes floculantes. De igual forma se empleó sulfato ferroso heptahidratado como agente reductor y Peróxido de hidrógeno como Agente oxidante. A lo largo del proceso fue necesario realizar ajustes de pH con Hidróxido de sodio y aplicar procesos unitarios básicos como la filtración por gravedad y al vacío. El monitoreo de la reducción de carga contaminante se realizó a través del Análisis de (DQO).

Residuos contaminados con Antimonio	Estos Residuos provienen del análisis de Fósforo realizados por el método estándar y Hach. Para el tratamiento de este residuo se empleó sulfato ferroso heptahidratado como agente reductor y Peróxido de hidrógeno como agente oxidante. También se empleó cloruro férrico como agente floculante e Hidróxido de sodio para ajuste de pH y filtración por gravedad y al vacío, como proceso unitario para retención de sólidos. El monitoreo de la reducción de carga contaminante se realizó a través del Análisis de DQO.
Residuos contaminados con Arsénico	Para este procedimiento se empleó Sulfuro de sodio y peróxido de hidrógeno como agentes oxidantes y Sulfato ferroso heptahidratado como Agente reductor. También se empleó hidróxido de sodio para ajuste de pH y procesos de filtración por gravedad y al vacío para retención de sólidos. El monitoreo de este proceso se realizó a través de la medición del Arsénico al inicio y al final del mismo, usando un Kit Colorimétrico disponible en el laboratorio.
Residuos contaminados con Bario	El procedimiento para remoción de Bario se inicia con un proceso de filtración por gravedad y al vacío. Posteriormente se adiciona ácido sulfúrico para lograr la precipitación del Bario, como sulfato de bario y se ajusta el pH con hidróxido de Sodio, seguido de un proceso de filtración. El monitoreo de este proceso se realizó a través de la medición del Bario al inicio y al final del mismo, usando el método del Bariver, disponible en el laboratorio de Aguas.
Residuos contaminados con Cianuro	Este procedimiento inicia con la filtración de la muestra y ajuste de pH con hidróxido de sodio y la adición de Hipoclorito de Calcio (HTH). Posteriormente se emplea Cloruro férrico y Sulfato de Aluminio como agentes floculantes y Sulfato ferroso heptahidratado como agente reductor en la reacción. Finalmente se realiza filtración empleando Carbón activado para retención de compuestos coloreados, presentes en este residuo. El monitoreo de este proceso se realizó a través de la medición del Cianuro al inicio y al final del mismo, usando un Kit disponible en el laboratorio de Aguas.
Residuos Contaminados con Cromo, plata y Mercurio.	Estos residuos que provienen únicamente del análisis de DQO, no fueron almacenados junto con los de Cromo, por cuanto contienen además Mercurio y Plata que deben ser tratados de manera diferente. El procedimiento empieza con la filtración de la muestra para retención de los sólidos precipitados en el residuo. Se adiciona azúcar de cocina para reducir el Cr^{+6} a Cr^{+3} . De igual forma se adiciona Sal de cocina para lograr la precipitación de la plata. Posteriormente se adiciona Nitrato de potasio para solubilizar los compuestos de Mercurio y Sulfuro de sodio como agente oxidante. Se empleó además Sulfato de Aluminio y Cloruro férrico como agentes floculantes. A lo largo de la reacción fue necesario ajustar el pH empleando para ello Hidróxido de sodio y aplicar procesos de filtración por gravedad y al vacío. El monitoreo de estos residuos únicamente se realizó a través del Cromo, puesto que en el laboratorio no existen técnicas disponibles para análisis de Mercurio y Plata.

Residuos Contaminados con Cromo	Estos residuos provienen del análisis de Cloruros y Sulfuros. El procedimiento empieza con la filtración de la muestra para retención de los sólidos precipitados en el residuo. Se adiciona azúcar de cocina para reducir el Cr^{+6} a Cr^{+3} . De igual forma se adiciona Sal de cocina para lograr la precipitación de la plata. Posteriormente se adiciona Nitrato de potasio para solubilizar los compuestos de Mercurio y Sulfuro de sodio como agente oxidante. De igual forma se empleó Sulfato de Aluminio como agente floculante. A lo largo de la reacción fue necesario ajustar el pH, empleando para ello Hidróxido de sodio y aplicar procesos de filtración por gravedad y al vacío. El monitoreo de este residuo se realizó a través del Cromo en el residuo al inicio y al final de su tratamiento.
Residuos contaminados con Estaño	Para el tratamiento de estos residuos se emplearon reactivos tales como Sulfato de Aluminio como agente floculante. A lo largo del proceso fue necesario realizar ajustes de pH, con Hidróxido de sodio y aplicar procesos unitarios básicos como la filtración por gravedad y al vacío. El monitoreo de la reducción de carga contaminante se realizó a través del Análisis de Demanda química de Oxígeno. DQO.
Residuos contaminados con Mercurio	Estos residuos provienen del análisis de Nitrógeno Amoniacal y Manganeso por el método estándar. Para la realización de este procedimiento es necesario adicionar Nitrato de potasio para convertir el mercurio a su forma soluble y el sulfuro de Sodio para lograr la precipitación del Mercurio. A lo largo de la reacción fue necesario ajustar el pH empleando para ello Hidróxido de sodio y aplicar procesos de filtración por gravedad y al vacío. El monitoreo de este residuo se realizó a través del análisis cualitativo del Mercurio, empleando para ello nitrato de potasio y sulfuro de sodio. El análisis cuantitativo fue subcontratado con un laboratorio debidamente acreditado, teniendo en cuenta que en el laboratorio de aguas no se realizan este tipo de ensayos.
Residuos neutros y/o Básicos.	Para el tratamiento de este residuo se empleó sulfato ferroso heptahidratado como agente reductor y Peróxido de hidrógeno como agente oxidante. También se emplearon cloruro férrico y Sulfato de Aluminio como agentes floculantes e Hidróxido de sodio para ajuste de pH y filtración por gravedad y al vacío, como proceso unitario para retención de sólidos. El monitoreo de la reducción de carga contaminante se realizó a través del Análisis de DQO.
Residuos del análisis de Nitritos	Para el tratamiento de este residuo se empleó sulfato ferroso heptahidratado como agente reductor. También se empleó Sulfato de Aluminio como agente floculante e Hidróxido de sodio para ajuste de pH y filtración por gravedad y al vacío, como proceso unitario para retención de sólidos. El monitoreo de la reducción de carga contaminante se realizó a través del Análisis de DQO.
Residuos de Platino-cobalto	Estos residuos se generan por el análisis de patrones de Color, como parte del Aseguramiento del control de calidad de ese método. En la realización de este

método se empleó carbonato de calcio para lograr la precipitación del Platino y del cobalto e Hidróxido de sodio para ajuste de pH. El monitoreo de la reducción de carga contaminante se realizó a través del Análisis de Color, haciendo la conversión estequiométrica de las Unidades de Platino Cobalto a concentración de Platino y de Cobalto.

Fuente: La investigación.

Con base en la información consignada en la tabla No 6, se construyó un procedimiento final que hace parte del Manual de Higiene y seguridad del laboratorio de aguas. Durante el proceso de segregación y tratamiento, existieron residuos que por su alta carga contaminante no fue posible establecer un procedimiento con el nivel de eficiencia requerido. En la tabla No 7, se describe cuales fueron dichos residuos y cuál será la estrategia a emplear para su disposición final.

Tabla 7. Resumen de los residuos sin tratamiento efectivo para reducción de carga contaminante.

<i>Tipo de residuo</i>	<i>Descripción.</i>
Residuos del análisis de Aluminio Hach	Para el tratamiento de este tipo de residuos se realizó un análisis preliminar de la DQO, obteniendo un valor de 24.950 mg/L O ₂ . Se aplicaron diferentes tipos de tratamientos dentro de los que se incluyen: uso de agentes floculantes, oxidación con peróxido de hidrógeno y/o sulfato ferroso heptahidratado, sin la evidente remoción de carga contaminante. Al finalizar la etapa de prueba, la DQO fue de 18.820 mg/L O ₂ . Este valor hace inviable la mezcla de este residuo con los obtenidos en los tratamientos que si fueron efectivos en la remoción de carga contaminante.
Residuos del análisis de Aluminio estándar	Para el tratamiento de este tipo de residuos se realizó un análisis preliminar de la DQO, obteniendo un valor de 86.300 mg/L O ₂ . De acuerdo con la revisión de la bibliografía, para residuos que poseen un carácter netamente químico y poco biodegradable, es aconsejable emplear técnicas como la ósmosis inversa o degradación fotocatalítica, que permitan reducir la carga contaminante a los valores requeridos por la normatividad aplicable.
Residuos del análisis de Bario y Cromo Total	Este residuo se generará a partir del análisis del parámetro Bario, el cual se incluirá dentro de los proyectos a implementar por parte del laboratorio. Aunque este residuo se contempló en el balance de masas, no se contaba con el volumen suficiente para realizar pruebas para su tratamiento Estos residuos serán entregados directamente con una empresa debidamente certificada para su disposición final.
Residuos con Cadmio	Se realizó una serie de pruebas para remoción del Cadmio presente en los residuos provenientes del análisis de Nitratos. El tratamiento no fue efectivo por

cuanto no se observó un precipitado definido. Este residuo se dispondrá con una empresa debidamente certificada para el tratamiento de este tipo de residuos. Dentro de las estrategias de prevención se planteó la sustitución de la técnica de la casa comercial Hach por la técnica de medición con electrodo de referencia para análisis de Nitratos.

Residuos contaminados con Mercurio y Boro. Estos residuos provenientes del análisis de Nitrógeno Amoniacal, contienen Mercurio y Boro, razón por la cual no es posible mezclarlos con aquellos que únicamente contienen Mercurio. Estos residuos serán entregados directamente con una empresa debidamente certificada para su disposición final.

Residuos provenientes del análisis de grasas y aceites Como solvente para la extracción de grasas y aceites se emplea Hexano. Los residuos líquidos de esta prueba se almacenan y requieren ser purificados para poder reutilizar el solvente en posteriores análisis. Se sugiere la aplicación de técnicas como la rotaevaporación para recuperar dicho solvente.

Residuos Provenientes del análisis de Molibdeno Estos residuos poseen un carácter ácido. Aunque este residuo se contempló en el balance de masas, no se contaba con una cantidad suficiente para realizar pruebas para su tratamiento. Estos residuos serán entregados directamente con una empresa debidamente certificada para su disposición final.

Fuente: La investigación

Terminado este proceso se enviaron muestras a un laboratorio debidamente acreditado ante el IDEAM, para evaluar el cumplimiento frente a la resolución 631 de 2015 y evaluar la factibilidad de realizar el vertimiento del residuo después de aplicar los diversos tratamientos.

Para analizar el residuo proveniente de la aplicación de la estrategia de recuperación, se realizó una mezcla de los mismos de acuerdo con su volumen, generando así un único residuo que fue el enviado para su análisis final. Los resultados que soportan la caracterización realizada se encuentran en las instalaciones del Laboratorio de aguas. En la figura No 22 se presenta un consolidado de los resultados obtenidos teniendo en cuenta los siguientes criterios: Parámetro de medición, métodos y referencias empleadas, unidades de medición, concentraciones iniciales y finales de las sustancias contaminantes, en los casos aplicables y los límites establecidos por el Decreto 631 de 2015 y el decreto 4741 de 2005, así como las eficiencias obtenidas, en los casos en que se realizó el análisis previo de la cantidad de la sustancia contaminante.

Parámetro	Método	Referencia	Unidades	Valor Inicial	Valor Final	Valor permisible (Res. 631/2015)	Valor permisible (Res. 4741/2005)	% Eficiencia
Acidez Total	Titulometría	SM 2310 B	mg CaCO ₃ /L	-	260	Análisis y reporte	-	-
Alcalinidad Total	Titulometría	SM 2320 B	mg CaCO ₃ /L	-	245	Análisis y reporte	-	-
Aluminio	Colorimetría	SM 3500 Al-B	mg Al/L	-	<0,05	Análisis y reporte	-	-
Antimonio (Sb)	ICP-MS	EPA 200.8	mg Sb/L	-	0,06	0,30	-	-
Arsénico	Generador de hidruros	SM 3114 C	mg As/L	92,4	<0,005	0,10	5,0	99,995%
Bario (Ba)	ICP-MS	EPA 200.8	mg Ba/L	3370	<0,141	1,0	100	99,996%
Boro	ICP-MS	EPA 200.8	mg B/L	-	0,178	Análisis y reporte	-	-
BTEX								
Benceno	Cromatografía de gases	EPA 5021 A, EPA 8015 C	mg/L	-	<0,4060	Análisis y reporte	-	-
Tolueno				-	<0,4100	Análisis y reporte	-	-
Etilbenceno				-	<0,400	Análisis y reporte	-	-
P-xileno+ m-xileno				-	<0,520	Análisis y reporte	-	-
o-xileno				-	<0,390	Análisis y reporte	-	-
Cadmio	ICP-MS	EPA 200.8	mg Cd/L	0,494	<0,0048	0,01	1,0	-
Cianuro total	Destilación-Colorimetría	SM 4500 CN-B, C, E	mg CN-/L	<0,02	<0,02	0,1	-	-
Cloruros	Argentométrico	SM 4500 Cl-B	mg Cl/L	-	3821,2	250	-	-
Cobalto	A. A de llama	SM 3111 B	mg Co/L	13,09	0,25	0,10	-	98,090 %
Cobre	A. A de llama	SM 3111 B	mg Cu/L	-	<0,05	1,0	-	-
Color real 436 nm	Espectrofotométrico	ISO 7887-2011 B	m-1	-	0,078	Análisis y reporte	-	-
Color real 525 nm	Espectrofotométrico	ISO 7887-2011 B	m-1	-	0,046	Análisis y reporte	-	-
Color real 620 nm	Espectrofotométrico	ISO 7887-2011 B	m-1	-	0,037	Análisis y reporte	-	-
Compuesto fenólicos semivolátiles								
Fenol	Extracción Líquido Líquido-Cromatografía de gases con detector de ionización de llama GC/FID	EPA 8041 A	mg/L	<0,00021	-	Análisis y reporte	-	-
2-Clorofenol					-	Análisis y reporte	-	-
2-Metilfenol (o-cresol)					-	Análisis y reporte	-	-
2-Metilfenol (p-cresol)					-	Análisis y reporte	-	-

2-Metilfenol (m-cresol)					-	Análisis y reporte	-	-
2-Nitrofenol					-	Análisis y reporte	-	-
2,4-Dimetilfenol					-	Análisis y reporte	-	-
2,4-Diclorofenol					-	Análisis y reporte	-	-
Ácido benzóico					-	Análisis y reporte	-	-
2,6-Diclorofenol					-	Análisis y reporte	-	-
4-cloro-3-Metilfenol					-	Análisis y reporte	-	-
2,4,6-Triclorofenol					-	Análisis y reporte	-	-
2,4,5-Triclorofenol					-	Análisis y reporte	-	-
2,4-Dinitrofenol					-	Análisis y reporte	-	-
4-Nitrofenol					-	Análisis y reporte	-	-
2,3,4,6-Tetraclorofenol					-	Análisis y reporte	-	-
4,6 Dinitro-2-metilfenol					-	Análisis y reporte	-	-
Pentaclorofenol					-	Análisis y reporte	-	-
Compuestos orgánicos Halogenados Adsorbibles	Microcolumbimetría	PO902	mg/L	-	0,39	Análisis y reporte	-	-
Cromo	A.A de llama	SM 3111 B	mg Cr/L	122,43	<0,05	0,10	5,00	99,959%
DBO	Incubación 5 días- Electrodo de Membrana	SM 5210 B, 4500-O G	mg O ₂ /L	-	295	75	-	-
DQO	Reflujo abierto y titulación	SM 5220 B	mg O ₂ /L	-	2131	225	-	-
Dureza Cálcica	Titulometría	SM 3500-Ca	mg CaCO ₃ /L	-	50	Análisis y reporte	-	-
Dureza Total	Titulometría	SM 2340 C	mg CaCO ₃ /L	-	170	Análisis y reporte	-	-
Estaño	ICP-MS	EPA 200.8	mg Sn/L	15,8	<0,0099	2,0	-	99,937%
Fenoles	Destilación-fotométrico directo	SM 5530 B, D	mg POH/L	-	<0,07	0,20	-	-
Fluoruros	Electrodo ión selectivo	SM 4500 F-C	mg F-/L	-	0,06	5,0	-	-
Fosforo reactivo total (Ortofosfatos)	Colorimetría	SM 4500 P-D	mg P/L	-	33,43	Análisis y reporte	-	-
Fosforo total	Digestión-Acido ascórbico	SM 4500-P B, E	mg P/L	-	43,44	Análisis y reporte	-	-
Grasas y aceites	Extracción Soxhlet	SM 5520 D	mg /L	-	<6	15	-	-

Parámetro	Método	Referencia	Unidades	Valor Inicial	Valor Final	Valor permisible (Res. 631/2015)	Valor permisible (Res. 4741/2005)	% Eficiencia
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's)								
Naftaleno	Cromatografía de gases	EPA 3510 C- EPA 8100	mg/L	<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Acenaftileno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Acenafteno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Fluoreno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Fenantreno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Antraceno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Fluoranteno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Pireno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Benzo (a) antraceno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Criseno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Benzo (k) fluoranteno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Benzo (b) fluoranteno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Benzo (a) pireno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Dibenzo(a,h) antraceno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Indeno(1,2,3-cd) pireno				<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-
Benzo(g,h,i) perileno	<0,0026	-	Análisis y reporte	-	-			
Hidrocarburos totales	Extracción Soxhlet-Hidrocarburos	SM 5520 D, F	mg/L	-	<10	10,0	-	-
Hierro	A.A de llama	SM 3111 B	mg Fe/L	-	0,29	1,0	-	-
Mercurio	A.A-Vapor frío	SM 3112 B	mg Hg/L	5000	0,525	0,002	0,2	99,99 0%
Niquel	A.A de llama	SM 3111 B	mg Ni/L	-	0,53	0,10	-	-
Nitratos	Espectrofotometría UV	SM 4500 NO ₃ -B	mg N/L	-	359,7	Análisis y reporte	-	-
Nitritos	Colorimetría	SM 4500 NO ₂ -B	mg N/L	-	0,978	Análisis y reporte	-	-
Nitrógeno Amoniacal	Destilación y volumétrico	SM 4500 NH ₃ -B, C	mg N/L	-	324,8	Análisis y reporte	-	-
Nitrógeno total	Semi-micro Kjeldal destilación y volumétrico	SM 4500 N.Org. C, 4500 NH ₃ -B,C	mg N/L	-	700	Análisis y reporte	-	-
pH	Electrométrico	SM 4500 H-B	Unidades	-	5,59	6,0 - 9,0	-	-
Plata	A. A de llama	SM 3111 B	mg Ag/L	-	<0,05	0,10	5,0	-

Parámetro	Método	Referencia	Unidades	Valor Inicial	Valor Final	Valor permisible (Res. 631/2015)	Valor permisible (Res. 4741/2005)	% Eficiencia
Plomo	A.A de llama	SM 3111 B	mg Pb/L	-	0,15	0,20	5,0	-
Selenio	Generador de hidruros	SM 3114 C	mg Se/L	-	<0,005	0,20	5,0	-
Sólidos sedimentables	Volumétrico-Cono imhoff	SM 2540 F	mL/L	-	8	1,5	-	-
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico	SM 2540 D	mg/L	-	132	75	-	-
Sulfatos	Turbidimétrico	SM 4500-SO42- E	mg SO ₄ ²⁻ /L	-	7698,9	250	-	-
Sulfuros	Iodométrico	SM 4500 S-F	mg S/L	-	2,4	1,0	-	-
Tensoactivos SAAM	Extracción líquido-Líquido Colorimetría	SM 5540 C	mg SAAM/L	-	0,62	Análisis y reporte	-	-
Vanadio	ICP-MS	EPA 200.8	mg V/L	-	<0,00496	1,0	-	-
Zinc	A.A de llama	SM 3111 B	mg Zn/L	-	0,10	3,00	-	-

Figura 20: Resultados obtenidos caracterización de residuo final.
Fuente: La investigación.

Para analizar los resultados de la efectividad de los tratamientos aplicados se tuvieron en cuenta dos criterios: 1) efectividad en remoción de metales pesados principalmente y 2) cumplimiento con respecto a la resolución 631 de 2015. En los casos en los que el parámetro reportaba valores por debajo del límite de cuantificación, se asumió que este fue el valor de referencia para el cálculo de la eficiencia de remoción de las sustancias contaminantes.

De acuerdo con los valores de la tabla No 7, los porcentajes de remoción obtenidos fueron los siguientes: Arsénico (99,99%), Bario (99,99%), Cobalto (98,09%), Cromo (99,96%), Estaño (99,94%), Mercurio (99,99%), demostrando así la efectividad de los procedimientos implementados para aquellos residuos que por sus características y resultados generados durante la fase de laboratorio, permitieron la reducción de su carga contaminante.

Para el caso del Antimonio no se realizó el análisis de la muestra antes de su tratamiento, puesto que fue un grupo de residuos que se generó como resultado del balance de masas realizado y de la inclusión de nuevos parámetros en el inventario de residuos líquidos del laboratorio de Aguas. Al evaluar su concentración el residuo final caracterizado (0,06 mg/L) es posible evidenciar que este cumple con la normatividad aplicable (<0,30 mg/L). Por lo anterior no es posible con los datos actuales calcular el porcentaje de remoción de esta sustancia, pero se puede evidenciar que no tiene incidencia significativa sobre el resultado final en el residuo analizado después de la aplicación de los diversos tratamientos.

En cuanto al metal plata, no se realizó su análisis previo teniendo en cuenta que no fue aislado y/o separado de acuerdo con el residuo de origen, si no que su tratamiento se hizo de manera simultánea junto con la remoción de Cromo y Mercurio en los residuos provenientes de la DQO. El tratamiento de este residuo se centró en el análisis de Cromo, por cuanto era el de mayor concentración (de acuerdo con el balance de masas) y el que se pudo monitorear por los métodos

existentes en el Laboratorio de aguas. Al igual que con el antimonio se evaluó su concentración en el residuo final ($<0,05$ mg/L) evidenciando que se cumple también con la normatividad ($<0,10$ mg/L). Aunque no es posible calcular el porcentaje de remoción de esta sustancia con los datos actuales, se puede evidenciar que no tiene incidencia significativa sobre el resultado final en el residuo analizado después de la aplicación de los diversos tratamientos.

El metal plomo no fue monitoreado puesto que de acuerdo con el balance de masas realizado, ninguno de los reactivos empleados en los análisis contiene plomo. Aunque la caracterización del año 2009 referencia la presencia de Plomo en los residuos del Bario (provenientes del análisis de Sulfatos), este valor no es concordante con lo determinado a través del balance de masas generado en el marco del presente proyecto aplicado.

Es de aclarar que aunque algunos parámetros de análisis no cumplen con lo establecido con la resolución 631 de 2015 (Cloruros, Cobalto, DQO, DBO₅, Mercurio, Níquel, Sólidos suspendidos y sedimentables, Sulfatos) , se logró el cumplimiento del objetivo planteado puesto que se generó un procedimiento para la reducción de carga contaminante de los residuos líquidos generados en el Laboratorio de aguas, con buenos resultados de eficiencia, pero es necesario dar continuidad al proyecto para realizar ajustes finales y/o aplicar otro tipo de procedimientos con el fin de cumplir con lo establecido en dicha resolución y evaluar la posibilidad de realizar su vertimiento al sistema de alcantarillado. En la tabla No 8 se resumen los resultados obtenidos de la caracterización realizada al residuo final.

Tabla 8. Resumen de los resultados obtenidos de la caracterización realizada al residuo final

Parámetro analizado	Descripción
Acidez y Alcalinidad total	La normatividad no define un límite permisible. Es un parámetro de análisis y reporte únicamente. Los valores obtenidos fueron de 260 y 245 mg CaCO ₃ /L.
Aluminio	El resultado se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (<0,05 mg Al/L). La normatividad no define un límite permisible.
Antimonio	El resultado del análisis de este parámetro fue de 0,06 mg Sb/L. El valor límite establecido por la normatividad es de 0,30 mg/L. Este parámetro cumple con el criterio establecido.
Arsénico	Para este parámetro se realizó un análisis del residuo antes y después del tratamiento. La concentración inicial fue de 92,4 mg As/L y su concentración final se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método <0,005 mg As/L. La efectividad en la remoción esta sustancia fue del 99,96%. El valor límite establecido por norma es de 0,1 mg As/L. Este parámetro cumple con el criterio establecido.
Bario	Para este parámetro se realizó un análisis del residuo antes y después del tratamiento. La concentración inicial fue de 3370 mg Ba/L y su concentración final se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método < 0,141 mg Ba/L. La efectividad en la remoción esta sustancia fue del 99,996%. El valor límite establecido por norma es de 1,0 mg Ba/L. Este parámetro cumple con el criterio establecido.
Boro	La normatividad no define un límite permisible. Es un parámetro de análisis y reporte únicamente. El valor obtenido 0,178 mg B/L.
BTEX	Los BTEX son un conjunto de parámetros dentro de los que se incluyen Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno. Los valores obtenidos se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método, lo cual reduce la toxicidad de este residuo. Es un parámetro de análisis y reporte únicamente, por tanto no se realiza comparación con el valor permisible en la normatividad.
Cadmio	El resultado se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (<0,0048 mg Cd/L). El valor límite establecido por la normatividad es de 0,01 mg Cd/L. Este valor cumple con el criterio establecido.
Cianuro	El resultado se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (<0,02 mg CN ⁻ /L). El valor límite establecido por la normatividad es de 0,10 mg/L. Este parámetro cumple con el criterio establecido.
Cloruros	El resultado del análisis de este parámetro fue de 3821,2 mg Cl ⁻ /L, lo cual podría estar asociado al uso de cloruro férrico (agente floculante) y Cloruro de sodio (sal de cocina) para los diferentes tratamientos aplicados. Para reducir la cantidad de cloruros se plantea un tratamiento con resinas de intercambio catiónico y Anionico para reducir el nivel de este tipo de iones. El valor límite establecido por Norma es de 250 mg Cl ⁻ /L.
Cobalto	Para este parámetro se realizó un análisis del residuo antes y después del tratamiento. La concentración inicial fue de 13,09 mg Co/L y su concentración final fue de 0,25 mg Co/L. La efectividad en la remoción esta sustancia fue del 98,09%. El valor límite establecido por norma es de 0,10 mg Co/L. Para lograr el cumplimiento de la norma se plantea ampliar el tiempo de espera en la precipitación de los compuestos de platino y Cobalto y realizar el análisis nuevamente para verificar el cumplimiento de la misma con las modificaciones sugeridas.

Cobre	El resultado se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (<0,05 mg Cu/L). El valor límite establecido por la normatividad es de 1,0 mg Cu/L. Este parámetro cumple con el criterio establecido.
Color real a 436, 525 y 620 nm.	Los valores obtenidos para el análisis de este parámetro fueron 0.078, 0.046 y 0.037 m ⁻¹ respectivamente. Es un parámetro de análisis y reporte únicamente.
Compuestos fenólicos semivolátiles	Dentro de estos compuestos se encuentran los fenoles, metil-fenoles, Nitro-fenoles, fenoles halogenados entre otros. Los valores obtenidos se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método (<0.00021 mg/L), lo cual se reduce la toxicidad de este residuo. Es un parámetro de análisis y reporte únicamente, por lo cual no se realiza comparación con el valor permisible en la normatividad.
Compuestos orgánicos adsorbibles	La normatividad no define un límite permisible. Es un parámetro de análisis y reporte únicamente. Los resultados obtenidos presentan un contenido muy bajo de estas sustancias en el residuo final (0,39 mg/L)
Cromo	Para este parámetro se realizó un análisis del residuo antes y después del tratamiento. La concentración inicial fue de 122,43 mg Cr/L y su concentración final se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método < 0,05 mg Cr/L. La efectividad en la remoción esta sustancia fue del 99,96%. El valor límite establecido por la normatividad es de 0,10 mg/L. Este parámetro cumple con el criterio establecido.
DBO ₅ y DQO	Los valores obtenidos para estos parámetros fueron: 295 y 2131 mg O ₂ /L respectivamente, valor que supera el permisible por la norma ambiental. Para lograr la reducción de este valor, se realizarán sugerencias al Laboratorio de aguas para implementar procesos alternos, que reduzcan la carga contaminante en materia de biodegradabilidad.
Dureza cálcica y Dureza total	Los valores obtenidos para estos parámetros fueron: 50 y 170 mg CaCO ₃ /L respectivamente. La normatividad no define un límite permisible. Es un parámetro de análisis y reporte únicamente.
Estaño	Para este parámetro se realizó un análisis del residuo antes y después del tratamiento. La concentración inicial fue de 15,8 mg Sn/L y su concentración final se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método < 0,0099 mg Sn/L. La efectividad en la remoción esta sustancia fue del 99,94%. El valor límite establecido por la normatividad es de 2,0 mg Sn/L. Este parámetro cumple con el criterio establecido.
Fenoles	El resultado se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (<0,07 mg POH/L). El valor límite establecido por la normatividad es de 0,20 mg/L. Este parámetro cumple con el criterio establecido.
Fluoruros	El resultado obtenido fue de 0,06 mg F/L. Los resultados obtenidos presentan un contenido muy bajo de estos compuestos en el residuo final. El valor límite establecido por la normatividad es de 5 mg F/L. Este parámetro cumple con el criterio establecido.
Ortofosfatos y fósforo total	La normatividad no define un límite permisible. Es un parámetro de análisis y reporte únicamente. Los valores obtenidos fueron de 33,43 PO ₄ ³⁻ y 43,44 mg/L P respectivamente.
Grasas y aceites	El resultado se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (<6 mg/L). El valor límite establecido por la normatividad es de 15 mg/L. Este parámetro cumple con los criterios establecidos.

Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Este tipo de compuestos se caracteriza porque en su estructura contienen un anillo de benceno, sustituido por diferentes tipos de radicales. Estos son conocidos como HAP's. Su incidencia sobre el resultado final del residuo se centra en el carácter tóxico que podría imprimir al mismo. Los valores obtenidos se encuentran por debajo del límite de cuantificación del parámetro (<0,0026 mg/L). Es un parámetro de análisis y reporte únicamente, por lo cual no se evalúa su cumplimiento frente a la norma.
Hidrocarburos totales	El resultado se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (<10 mg/L). El valor límite establecido por la normatividad es de 10 mg/L. Este parámetro cumple con los criterios establecidos.
Hierro	Los resultados obtenidos presentan un contenido muy bajo de estas sustancias en el residuo final (0.29 mg Fe/L), aun cuando se emplearon compuestos de hierro como agentes floculantes (cloruro férrico) y agentes reductores como el Sulfato ferroso en algunos de los tratamientos aplicados. El valor límite establecido por la normatividad es de 1,0 mg Fe/L. Este parámetro cumple con los criterios establecidos.
Mercurio	Para este parámetro se realizó un análisis del residuo antes y después del tratamiento. . La concentración inicial fue de 5000 mg Hg/L y su concentración final fue de 0,52 mg Hg/L. La efectividad en la remoción esta sustancia fue del 99,99%. Aun cuando el porcentaje de remoción supera a los reportados en la bibliografía que hace parte del estado del arte de este documento, no fue posible cumplir con el valor establecido por normatividad (0,002 mg Hg/L). Por tal razón, se planteó como sugerencia al laboratorio incluir como tratamiento final de los residuos que contienen Mercurio una fase de biorremediación, usando para ello Levadura activa seca (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>). De acuerdo con lo reportado por (Infante, De Arco, & Angulo, 2013), es posible emplear biomasa de levadura para retener plomo, mercurio y níquel en forma de iones disueltos en agua. Los resultados de remoción fueron de 86.4% de remoción de plomo, 69.7% de Mercurio y 47.8% de Níquel.
Níquel	El resultado obtenido en el análisis fue de 0,53 mg Ni/L. El valor límite establecido por la normatividad es de 0,10 mg Ni/L. Se considera viable aplicar la misma estrategia de Biorremediación sugerida para el Mercurio, para lograr la reducción de este parámetro a lo requerido por Norma.
Nitratos	El valor obtenido para este parámetro fue de 359.7 mg N-NO ₃ ⁻ /L, lo cual está asociado con el uso de Nitrato de potasio como agente solubilizante del Mercurio en su proceso de remoción. Este parámetro es de análisis y reporte únicamente, por lo cual no se realiza su comparación con la normatividad aplicable.
Nitritos	El valor obtenido para este parámetro fue de 0,978 mg N-NO ₂ ⁻ /L. Este parámetro es de análisis y reporte únicamente, por lo cual no se realiza su comparación con la normatividad aplicable.
Nitrógeno Amoniacal	El valor obtenido para este parámetro fue de 324,8 mg/L N-NH ₃ , lo cual podría estar asociado al uso de patrones de Nitrógeno Amoniacal para el control metrológico de este método. Este parámetro es de análisis y reporte únicamente, por lo cual no se realiza su comparación con la normatividad aplicable.
pH	El valor referenciado para este parámetro se encuentra por debajo del rango permisible (6-9 unidades), lo cual podría ser corregido con un ajuste final del pH del residuo a un valor cercano a la neutralidad del mismo, empleando para ello bases fuertes tales como Hidróxido de sodio.

Plata	El resultado se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (<0,05 mg Ag/L). El valor límite establecido por la normatividad es de 0,10 mg Ag/L. Este parámetro cumple con los criterios establecidos.
Plomo	El valor obtenido para este parámetro fue de 0.15 mg Pb/L. El límite permisible por norma es de 0,20 mg/L. Este parámetro cumple con lo establecido.
Selenio	El resultado se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (<0,005 mg/L). El valor límite establecido por la normatividad es de 0,20 mg Se/L. Este parámetro cumple con los criterios establecidos.
Sólidos sedimentables y suspendidos totales	Los resultados obtenidos para estos parámetros fueron 8 mL/L y 132 mg/L respectivamente. Estos parámetros se encuentran por encima del límite permisible (1,5 mL/L y 75 mg/L respectivamente). Como alternativa para cumplir con este parámetro se sugiere filtrar la muestra a través de una membrana de 0.45 µm o un tamaño menor en su defecto, para lograr la retención de los sólidos presentes en el residuo final
Sulfatos	El valor obtenido fue de 7698,9 mg/L, lo cual podría estar asociado al uso de sulfato de Aluminio como agente floculante y sulfato ferroso heptahidratado como agente reductor en algunos de los tratamientos. Para reducir la cantidad de cloruros se plantea un tratamiento con resinas de intercambio catiónico y Anionico para reducir el nivel de este tipo de iones. El valor límite establecido por Norma es de 250 mg SO ₄ ^{2-/L} .
Sulfuros	El valor obtenido para este parámetro fue de 2.4 mg S ^{2-/L} . El valor límite establecido por la normatividad es de 1 mg S ^{2-/L} . Para reducir este valor a lo establecido por norma se plantea realizar una oxidación con peróxido de hidrógeno, aplicado directamente sobre el residuo final generado.
Tensoactivos	El valor obtenido para este parámetro fue de 0,69 mg SAAM /L. Este parámetro es de análisis y reporte únicamente, por lo cual no se realiza su comparación con la normatividad aplicable.
Vanadio	El resultado se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (<0,00496 mg/L). El valor límite establecido por la normatividad es de 1,0 mg V/L. Este parámetro cumple con los criterios establecidos.
Zinc	El valor obtenido para este parámetro fue de 0.10 mg/L. El límite permisible por norma es de 3.00 mg/L, por lo tanto este parámetro cumple con lo establecido.

Fuente: La investigación

8. Conclusiones

- Se clasificaron los residuos de acuerdo con sus características, componente químico principal y su carácter de peligrosidad en la relación con lo obtenido en los balances de masas realizado para los diferentes grupos de residuos generados en el Laboratorio de aguas.
- Se actualizó la documentación del laboratorio de aguas al Sistema Globalmente Armonizado (GHS), incluyendo Fichas de seguridad, Matriz de Peligros y Riesgos, Elementos de protección Individual, Incompatibilidades químicas, entre otros, junto con la sensibilización del personal analista enfocado a la migración y unificación de los sistemas existentes para etiquetar y clasificar sustancias.
- Se logró determinar que dentro de las estrategias existentes en la pirámide de gestión las más adecuadas para el tratamiento de los residuos del Laboratorio de aguas fueron: la Minimización, la Prevención y Recuperación de metales pesados, obteniendo así resultados favorables en la reducción de sustancias contaminantes tales como Arsénico, Cromo, Bario, Estaño, Mercurio y Platino-cobalto, entre otros.
- Se generó un manual de procedimientos aplicables a residuos contaminados con Antimonio, Arsénico, Bario, Cianuro, Cobalto, Cromo, Estaño, Mercurio y Plata considerados como metales pesados con alto impacto sobre la salud y el medio ambiente. Dentro de estos compuestos se lograron obtener las siguientes remociones: Arsénico (99,99%), Bario (99,99%), Cobalto (98,09%), Cromo (99,96%), Estaño (99,94%), Mercurio (99,99%), demostrando así la efectividad de los procedimientos implementados para la capacidad instalada del laboratorio de aguas de la empresa Proactiva Aguas de Tunja S.A E.S.P.

9. Recomendaciones

- Se recomienda continuar con la segregación sugerida para el tratamiento de los residuos con el fin de garantizar la efectividad de los procedimientos generados. De igual forma es importante actualizar los balances de masas de acuerdo con las modificaciones que se pudieran presentar en los procedimientos de análisis, así como de las técnicas de análisis que se implementen en el Laboratorio de aguas buscando ampliar el alcance de la oferta del mismo.
- Se sugiere actualizar la información de toda la organización al GHS teniendo en cuenta que para el año 2017 entrará en vigencia la normatividad que exige a los proveedores nacionales la clasificación y etiquetado de sustancias químicas bajo los criterios de este sistema de clasificación y continuar con la actualización constante de las matrices generadas en el marco del proyecto, incluyendo los productos que sufran modificaciones en sus fichas de seguridad o aquellos que se adquieran para ampliar la capacidad técnica del Laboratorio de aguas.
- Se recomienda evaluar la aplicación de las técnicas y modificaciones sugeridas para prevenir la generación de los residuos más contaminantes (mercurio y cadmio). Se debe evaluar la posibilidad de entregar los compuestos que fueron recuperados (Sulfato de Bario, Carbonato de Platino y Cobalto y Sulfuro de Mercurio) a entidades Educativas para generar proyectos de recuperación y purificación de estas sustancias.
- Con el fin de cumplir con los valores permisibles para los parámetros de Cloruros y sulfatos teniendo en cuenta lo establecido en la resolución 631 de 2015, se recomienda realizar ajustes en las dosificaciones de las sustancias floculantes para reducir la cantidad de dichos iones, a través del uso de pruebas de jarras o demás técnicas disponibles para

tal fin. De igual forma se plantea emplear resinas de intercambio catiónico y Aniónico para reducir la cantidad de estos iones en el residuo final.

- Excluir de la mezcla realizada los residuos que aportan el Mercurio. Posteriormente, realizar un nuevo análisis para determinar la viabilidad de vertimiento de este residuo, teniendo en cuenta que uno de los parámetros que se encuentra por fuera de norma es el Mercurio. Aplicar la estrategia de Biorremediación empleando Levadura activa seca, siguiendo las recomendaciones de (Infante, De Arco, & Angulo, 2013) para lograr la remoción de Mercurio, Plomo y Níquel. De igual forma se debe realizar el análisis posterior para evaluar la efectividad del tratamiento aplicado e incorporarlo como fase final de los procedimientos generados.
- Presentar ante CORPOBOYACA los resultados del proyecto junto con el balance de masas, para excluir las sustancias que no están presentes en el residuo y cuyos resultados se encuentran por debajo del límite de cuantificación de los diferentes métodos, como por ejemplo: BTEX, AOX, Compuestos orgánicos semivolátiles, Compuestos orgánicos adsorbibles. Lo anterior teniendo en cuenta además, que son parámetros que deben ser subcontratados y enviados a otros países para su análisis, puesto que a nivel nacional no se cuenta con los equipos requeridos para tal fin.
- Se recomienda realizar el análisis de la concentración inicial de los residuos que contienen Antimonio y Plata con el fin de establecer el porcentaje de remoción de estas sustancias, en materia de reducción de la carga contaminante aportada por estos dos metales pesados en el residuo final generado después de su tratamiento a través de los procedimientos establecidos en el marco del proyecto.

10. Lista de referencias

- Berrio, L., Beltrán, O., Agudelo, E., & Cardona, S. (2012). *Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico*. Obtenido de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36285/43153>
- Bertini, L., & Cicerone, D. (2009). *Gestión de los residuos en los laboratorios de Enseñanza de la Química en las Entidades Universitarias*. Obtenido de <http://www2.itba.edu.ar/archivos/secciones/Tesis%20LMB%20Gestion%20residuos.pdf>
- Camelo, E. (2011). *Toxicología Ambiental*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD.
- Cumplimiento Ambiental. (2013). *Ingeniería y gestión del cumplimiento normativo*. Obtenido de <http://www.cumplimientoambiental.com/2013/05/la-minimizacion-de-residuos-en-la-fuente.html>
- Elizondo, L. (1999). *Manejo, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos generados en los laboratorios de la facultad de ciencias químicas de la U.A.N.L.* Obtenido de http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080095025/1080095025_MA.PDF
- Estrada, J. (2011). *Tratamiento de residuos químicos peligrosos generados en los laboratorios de la facultad de Química e Ingeniería de la Universidad Nacional de San Marcos*. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/986/1/Estrada_aj.pdf
- González, B., Velásquez, M., Amador, J., Ramírez, E., & Trujillo, M. (2006). *Efecto de la aplicación del Cromo en el crecimiento y producción de maíz (Zea mays)*. Obtenido de http://web.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CA/EO/CAO-24.pdf
- Green Facts. (2017). *Arsénico*. Obtenido de <http://www.greenfacts.org/es/arsenico/>

Infante, C., De Arco, D., & Angulo, E. (2013). *Removal of lead, mercury and nickel using the yeast Saccharomyces cerevisiae*.

Instituto Nacional de Higiene y seguridad en el trabajo . (2008). *NTP 276: Eliminación de residuos en el laboratorio: Procedimiento general*. Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_276.pdf

Instituto nacional de higiene y seguridad en el trabajo. (2008). *NTP 359: Seguridad en el laboratorio: gestión de residuos tóxicos y peligrosos en pequeñas cantidades*. Obtenido de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_359.pdf

Lenntech. (2015). *Propiedades químicas del estaño - Efectos del estaño sobre la salud y el medio ambiente*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/periodica/tabla-periodica.htm>

Mañunga, T., Gutiérrez, H., Rodríguez, J., & Villareal, A. (2010). *Tratamiento de residuos de DQO generados en laboratorios de análisis ambientales*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n2/v30n2a09.pdf>

Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2005). *Decreto 4741 de 2005*. Obtenido de http://www.ficem.org/normas/Colombia/decreto_4741.pdf

Ministerio de Salud y proteccion social. (2013). *Ley 1658 de 2013*. Obtenido de <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/2013/LEY%201658%20DEL%2015%20DE%20JULIO%20DE%202013.pdf>

Ministerio de trabajo y asuntos sociales España. (2008). *Eliminación de residuos de laboratorio: Procedimientos generales*. Obtenido de

http://www2.uca.es/serv/prevencion/higiene/normas_generales_seguridad_y_salud/NTP_276.PDF

Nordberg, G. (2003). *Metales: propiedades químicas y toxicidad*. Obtenido de

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>

Olmos, C. (2015). *Nuevo etiquetado de residuos peligrosos*. Obtenido de

http://www.ceoaragon.es/medio_ambiente/pdf/Nuevo_Etiquetado_RPs.pdf

ONU. (2005). *Guía para la definición y clasificación de Residuos Peligrosos*. Obtenido de

<http://www.bvsde.paho.org/cdrom-repi86/fulltexts/eswww/fulltext/gtz/defclarp/guiares.html>

Parada, R. (2016). *Plantas tóxicas para el ganado*. Obtenido de

http://www.ropana.cl/plantas_toxicas/cian.htm

Posada, R. (2012). *Procesos de biorremediación*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia-(UNAD).

Rodriguez, S. (2011). *Modulo del curso: Implementación de planes de manejo ambiental*.

Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD.

Ruiz, G., Fernandez, J., & Rodríguez, R. (2011). *Residuos Peligrosos: grave riesgo ambiental*.

Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd30/grave.pdf>

ANEXO 1

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
ACIDOS	Alcalinidad (100 ml de muestra)	*Ácido sulfurico 0,02 N (Titulante) Agua destilada
		*Indicador Fenolftaleina Alcohol etílico Agua destilada Fenolftaleina
		*Indicador mixto Rojo de metilo Verde de bromocresol Alcohol etílico Agua destilada
		*Tiosulfato de sodio Agua destilada
		Agua potable o de captación
	Aluminio estándar (50 ml de muestra)	*Acetato de sodio Agua destilada
		Acido ascórbico Agua destilada
		*Ácido sulfurico 0,02 N (Titulante) Agua destilada
		*Ericromocianina R Acido acético 1 N Agua destilada
		*Verde de bromocresol Agua destilada Agua potable o de captación
	Alumio Hach (por cada 50 mL de muestra)	*Aluver: Succinato disódico (25% p/p) Acido succínico (70% p/p) Ácido Aurintricarboxílico, Sal de Calcio (5% p/p)
		Acido ascórbico
		*Bleaching : Pirofosfato de sodio tetrabásico (50% p/p) Disulfato de potasio (45% p/p) Sulfato de Magnesio (5% p/p)
		Agua potable o de captación
	Carbono orgánico total (por cada 5 ml de muestra)	Persulfato de amonio
*Solución buffer 2,0 : Sulfato de sodio (15 % m/v) Agua desmineralizada (75% v/v) Bisulfato de sodio (10% m/v)		
*Viales para digestión ácida (2 mL) Acido sulfúrico (10% v/v) Agua desmineralizada (90 v/v%)		

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
ACIDOS	Carbono orgánico total (por cada 5 ml de muestra)	<p>*Ampollas indicadoras (1 mL) Tiosulfato de sodio (1 m/v%) Borato de sodio (0,01 m/v%) Azul de timol, sal sódica (0,05 m/v%) Agua desmineralizada (98,94, m/v%) Agua potable o de captación</p>
	Hierro estándar (por cada 50 mL de muestra)	<p>*Acido clorhidrico (37%) Agua destilada Acido Nítrico Acido sulfurico</p>
		<p>*Solución Buffer de acetato de amonio Acetato de amonio Acido acético Agua destilada</p>
		<p>*Clorhidrato de hidroxilamina Agua destilada 1,10 Fenantrolina Agua destilada</p>
		<p>Agua potable, residual o de captación</p>
	Hierro Hach (por cada 10 ml de muestra)	<p>*Ferrover: 1. Tiosulfato de sodio (45% p/p) Acido 1,10-Fenantrolina-p-toluenosulfónico, Sal (5% p/p) Hidrosulfito de Sodio (15% p/p) Citrate de Sodio (10% p/p) Metabisulfito de Sodio (25% p/p) Agua potable, residual o de captación</p>
	Nitritos estandar (50 mL de muestra)	<p>Hidróxido de amonio Acido clorhidrico</p>
		<p>*Reactivo coloreador: Ácido fosfórico N-1, naftilendiamina diclorhidrato Sulfanilamida Agua destilada Agua potable, residual o de captación</p>
	Nitritos Hach (por cada 10 ml de muestra)	<p>*Nitriver 3: Ácido Cromotrópico, Sal Disódica: (2% p/p) Sulfanilato de Sodio : (8% p/p) Disulfato de Potasio : (7% p/p) Fosfato de Potasio, Monobásico: (80% p/p) Ácido 1,2-Ciclohexanodiaminatetraacético, Sal Trisódica: (3% p/p) Agua potable, residual o de captación</p>
Materia orgánica (por cada 50 ml de residuo)	<p>*Acido sulfurico 2M Agua destilada</p>	
	<p>*Oxalato de sodio Agua destilada</p>	
	<p>*Permanganato de potasio (0,05 N) Agua destilada</p>	
	<p>Agua potable, residual o de captación</p>	

Figura 21: Lista de componentes de los residuos ácidos generados en el laboratorio de aguas (Fuente: La investigación)

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
NEUTROS	Acidez (Por cada 100 mL de muestra)	*Indicador Fenolftaleina Alcohol etílico Agua destilada Fenolftaleina
		*Indicador mixto Rojo de metilo Verde de bromocresol Alcohol etílico Agua destilada
		*Tiosulfato de sodio Agua destilada
		*Hidróxido de sodio 0,02 N (Titulante) Agua destilada
		Agua potable o de captación
	Cloro residual libre (por cada 25 ml de residuo)	*DPD para 10 mL: Contiene lo siguiente: 1. N,N-Dietil-p-Fenilenodiamina, Sal (5% p/p) 2. Sal de Carboxilato (60% p/p) 3. Fosfato de Sodio, Dibásico (30% p/p) 4. Ácido Etilenodiaminatetraacético, Sal Disódica (5% p/p)
		Agua potable o de captación
	Dureza total (por cada 50 ml de residuo)	*EDTA 0,01 M Agua destilada Acido clorhídrico
		Calmagita Agua destilada
		*Solución reguladora Dureza Total Cloruro de amonio Cloruro de magnesio hexahidratado Cloruro de sodio Hidróxido de amonio Sal sódica EDTA Agua destilada
		*Inhibidor para Dureza total Sulfuro de sodio nonahidratado Agua destilada
		Agua potable, residual o de captación
Dureza calcica (por cada 50 ml de residuo)	*EDTA 0,01 M Agua destilada Acido clorhídrico	
	*Indicador Murexida de sodio Cloruro de sodio Murexida de sodio	
	*Hidróxido de sodio 1 N Agua destilada	
	Agua potable, residual o de captación	

Figura 22: Lista de componentes de los residuos neutros generados en el laboratorio de aguas (Fuente: La investigación).

Recipiente	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
ESTAÑO	Fosfatos (por cada 100 mL de muestra)	Agua potable, residual o de captación
		Acido clorhidrico
		*Indicador Cloruro estanoso Cloruro estanoso Glicerol
		*Indicador Fenoltaleina Alcohol etilico Agua destilada Fenoltaleina
		*Solución de Molibdato de Amonio *Acido sulfurico Molibdato de amonio Agua destilada

Figura 23: Lista de componentes de los residuos de estaño generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
MERCURIO	Manganeso estándar (por cada 90 ml de muestra)	*Reactivo especial para Manganeso Ácido fosfórico Acido nítrico Sulfato de mercurio Agua destilada Nitrato de plata
		*peróxido de hidrógeno (30%) Agua destilada
		Persulfato de amonio
		Agua potable o de captación
	Nitrogeno Amoniacaal (por cada 25 ml de muestra)	*Reactivo Nessler Hidróxido de Sodio (10% m/v) Yoduro de mercurio (10% m/v) Yoduro de sodio (10% m/v) Agua desmineralizada (70% v/v)
		Alcohol Polivinilico (5% m/v) Agua desmineralizada (95% en Peso)
		*Estabilizador mineral Citrato de sodio (25% m/v) Tartrato de potasio y sodio (25% m/v) Agua Desmineralizada (50 % v/v)
		*Tiosulfato de sodio Agua destilada
		Agua potable, residual o de captación

Figura 24: Lista de componentes de los residuos de mercurio generados en el laboratorio de aguas
(Fuente: La investigación).

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
CIANURO	Manganeso PAN (Por cada 10 mL de residuo)	Acido ascórbico
		*Solución indicadora PAN 0,1% Triton X114 (5% m/v) N,N-Dimetilformamida (20% m/v) Acetato de Amonio (20% m/v) Agua desmineralizada: (55% v/v)
		*Reactivo Alcaline Cyanide 1. Hidróxido de Sodio (5% m/v) 2. Cianuro de Sodio, Malla 8 (7 %m/v) 3. Agua desmineralizada (88% v/v)
		Agua potable o de captación
	Zinc Hach (por cada 20 ml de residuo)	*Zincover Borato de Potasio (55% p/p) Oxido de Boro (20% p/p) Ascorbato de Sodio (20% p/p) Cianuro de potasio (5% p/p) Ciclohexanona Agua potable o de captación

Figura 25: Lista de componentes de los residuos de Cianuro generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
CADMIO	Nitratos Hach (por cada 10 ml de muestra)	*Nitraver 5 Fosfato de potasio, monobásico (35% p/p) Sulfato de magnesio (10% p/p)
		Cadmio (8% p/p) Acido 2,5 hidroxibenzóico (20% p/p) Acido Sulfanílico (27% p/p)
		Agua potable, residual o de captación
		Agua de Bromo
		Solución fenólica

Figura 26: Lista de componentes de los residuos de Cianuro generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
ARSENICO	Fluoruros Hach (por cada 10 ml de residuo)	Agua potable o de captación
		*Reactivo SPANDS para fluoruros Ácido Clorhídrico (25 % v/v) Agua desmineralizada (74,4% v/v) SPADNS (0,5 m/v) Arsenito de Sodio (0,10% m/v)

Figura 27: Lista de componentes de los residuos de Arsénico generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La Investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
BARIO	Sulfatos (por cada 100 ml de muestra)	*Solución reguladora B Cloruro de Magnesio hexahidratado Acetato de sodio Acido acético Nitrato de potasio Sulfato de sodio Agua destilada
		Cloruro de bario anhidro
		Agua potable, residual o de captación

Figura 28: Lista de componentes de los residuos de Bario generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación).

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
PLATINO-COBALTO	Color (por cada 20 ml de muestra)	*Solucion estandar de platino cobalto: Cloruro de Cobalto (0,5 % m/v) Acido Clorhidrico (10 % m/v) Agua desmineralizada (89,5% v/v)
		Agua potable y de captación

Figura 29: Lista de componentes de los residuos de Platino-Cobalto generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
CROMO	Cloruros (por cada 100 ml de residuo)	Acido sulfurico
		*Indicador Fenolftaleina Alcohol etilico Agua destilada Fenolftaleina
		*Cromato de potasio Agua destilada
		Suspensión de Hidróxido de Aluminio Hidroxido de Aluminio hidroxido de amonio Agua destilada
		*Hidróxido de sodio 0,02 N Agua destilada
		*Nitrato de plata 0,0141 N Agua destilada
		*peróxido de hidrógeno (30%) Agua destilada
		Agua Potable o de captación

Tipo de residuo	Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
CROMO	DQO Rango Bajo 150 ppm (por cada 2 ml de muestra)	*Viales para digestión: Sulfato de mercurio (1% m/m) Acido dicrómico (0,01% m/m) Sulfato de plata (1 % m/m) Acido sulfúrico (85% m/v) Agua desmineralizada (13%) Agua potable, residual o captación
	DQO Rango Alto 1500 ppm (por cada 2 ml de muestra)	*Viales para digestión: Sulfato de mercurio (2% m/m) Acido dicrómico (1% m/m) Sulfato de plata (2 % m/m) Acido sulfúrico (90% m/v) Agua desmineralizada (5%) Agua potable, residual o captación
	Sulfuros	*Reactivo sulfide 1 Acido Sulfúrico (55% v/v) Agua desmineralizada (45% v/v)
		*Reactivo sulfide 2: Contiene
		Dicromato de Potasio (1% m/v) Agua desmineralizada (99% v/v)
		Agua Potable o de captación

Figura 30: Lista de componentes de los residuos de Cromo generados en el laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.

Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
Bario	*Reactivo Bariver Agua potable, Residual o de captación
Cianuro	*Cyanide 3. Bolsas de Polvo Reactivo para Cianuro:
	*Cyaniver 4
	*Cyaniver 5
	*Reactivo Quelador Agua potable, residual o de captación
Cromo Total	*Cromo 1
	*Cromo 2
	*Reactivo Ácido
	*Cromo 3
	Agua Potable, Residual o de Captación
DBO	Agua residual o de Captación
	*Hidróxido de sodio 1,0 N
	*Nutriente buffer para DBO
	*Polyseed
Molibdeno Hach (Por cada 20 ml de residuo)	*Reactivo 1 para Molibdeno:
	*Reactivo 2 para Molibdeno:
	Agua potable o de captación

Parámetro analizado	Reactivos que se emplean para la ejecución de la prueba
Nitrogeno Total	Hidróxido de Sodio (Vial)
	Persulfato de Potasio
	*Reactivo A
	*Reactivo B
	NitraVer X Test Nube Reactivo (Vial)
	*Solución patrón para turbiedad (Formazina)
pH	Agua potable, residual o de captación
	*Buffer pH 4,01
	*Buffer pH 6,00
	*Buffer pH 7,00
	*Solución Buffer pH 4,01
	*Solución Buffer pH 7,00
	*Solución Buffer pH 10,0
	*Reactivo Phenol red
	*Solución Wide Range
	Agua potable, residual o de captación
*Solución de almacenamiento para pH	
*Solución de llenado para pH	
Solución limpieza de electrodo	
Siembra por sustrato definido	Colilert (100%) Agua residual o de Captación

Figura 31: Lista de componentes de los residuos que no se encontraban dentro del inventario de residuos del laboratorio de aguas
Fuente: La investigación.