

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS PELIGROSOS EN EL  
LABORATORIO DE AGUAS DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y  
ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ INCORPORANDO LA RECUPERACIÓN DE  
PLATA METÁLICA PRESENTE EN RESIDUOS DE LA TÉCNICA DE CLORUROS.**

DANNA VALERIA CASTELLANOS CRUZ

LAURA DANIELA IDARRAGA BASTIDAS

Proyecto integral de grado para obtener el título de  
INGENIERÍA QUÍMICA

Director

LUIS ALBERTO FIGUEROA

Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN:

---

---

---

---

---

Angie Tatiana Ortega Ramírez

Jurado 1

---

Adriana Suesca

Jurado 2

Bogotá D.C., febrero de 2022

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana de la Facultad

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de Programa Ing.

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo de docentes no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden exclusivamente a los autores.

## DEDICATORIA

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por permitirme llegar hasta donde estoy ahora y darme la fortaleza necesaria para continuar en el desempeño de mi carrera profesional. A mis padres Wilson y Yaneth por su amor, dedicación, comprensión y ser mi soporte en todo momento. A mis hermanas Stepha y Kathe por su cariño, compañía y apoyo.

Finalmente agradezco a Laura Idárraga, mi amiga y compañera de tesis, por su esmero en la consecución de nuestros logros.

Danna Valeria Castellanos Cruz.

Dedico con todo mi corazón esta tesis primero a Dios quien me dio la fortaleza en cada paso de mi carrera, segundo a mis padres Alberto Idárraga y Clara Inés Bastidas y hermano Calos Alberto Idárraga quienes estuvieron día a día conmigo luchando durante este camino de la vida, siempre fueron un gran apoyo y siempre me motivaron a hacer las cosas de la mejor manera, tercero a mi novio Miguel Ángel González quien siempre creyó en mí, me apoyo y motivo. En este camino recorrido conocí muchas personas que de alguna manera contribuyeron a este logro que hoy me llena de orgullo a todos ellos también les agradezco, por último, quiero agradecer a mi amiga y compañera de tesis Valeria Castellanos por haber luchado conmigo en este proceso por su dedicación y entrega.

Laura Daniela Idárraga

## **DEDICATORIA**

Este trabajo queremos dedicárselo a nuestro director de tesis Luis Figueroa quien nos orientó de la mejor manera siempre, nos ayudó y corrigió en cada paso para lograr el mejor resultado, también queremos agradecerle al laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, en especial a Vicente Javier Pérez por su colaboración, comprensión y buena disposición con nosotras y el proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	13
1. MARCO LEGAL	14
1.1 Gestión de residuos	14
<i>1.1.1 Acuerdos Internacionales</i>	17
<i>1.1.2 Políticas nacionales</i>	18
1.2 Residuo	21
<i>1.2.1 Según peligrosidad</i>	21
<i>1.2.2 Según origen</i>	22
<i>1.2.3 Según composición</i>	23
2. DIAGNÓSTICO DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS PELIGROSOS GENERADOS EN EL LABORATORIO DE AGUAS DE LA EAAB	24
2.1 Descripción de la empresa	24
<i>2.1.1 Descripción de los residuos líquidos generados</i>	25
<i>2.1.2 Descripción de los residuos líquidos generados</i>	28
3. PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS	45
3.1 Impactos potenciales por mal manejo de residuos	45
3.2 Requisitos mínimos de desempeño de laboratorio	46
3.3 Clasificación de los residuos peligrosos	47
3.4 Plan de manejo de residuos peligrosos	48
4. PLANTEAMIENTO DEL PROCESO PARA LA REMOCIÓN Y RECUPERACIÓN DE PLATA METÁLICA	52
4.1 Fuentes de la plata	52
4.2 Importancia de tratar el residuo	52
4.3 Usos de la plata	53
4.4 Métodos de recuperación de plata metálica	54
<i>4.4.1 Electrólisis</i>	55
<i>4.4.2 Cartuchos de recuperación química</i>	55

4.4.3 <i>Desplatizadores electrolíticos</i>	56
4.4.4 <i>Desplatizado por intercambio iónico</i>	57
4.4.5 <i>Evaporación / destilación</i>	58
4.5 Matriz de selección	58
5. METODOLOGÍA	62
5.1 Técnica de determinación de cloruros	62
5.2 Fundamento teórico	64
5.3 Fundamento teórico método de recuperación por electrolisis	65
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
6.1 Clasificación de residuos líquidos peligrosos	66
6.2 Diagnóstico ambiental	66
6.2.1 <i>Acondicionamiento</i>	67
6.2.2 <i>Segregación</i>	67
6.2.3 <i>Almacenamiento intermedio</i>	67
6.2.4 <i>Almacenamiento y disposición final</i>	68
6.3 Propuesta plan de manejo de residuos en el laboratorio de aguas de la EAAB	68
6.3.1 <i>Plan de manejo de residuos</i>	68
6.3.2 <i>Estructura</i>	69
6.4 Selección del método de recuperación de plata	88
7. CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS	98

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1.</b> <i>Diagrama de bloques técnica de determinación de cloruros</i>	30
<b>Figura 2.</b> <i>Técnica de determinación de cloruros</i>	30
<b>Figura 3.</b> <i>Diagramas de bloques medición de Ph</i>	35
<b>Figura 4.</b> <i>Equipo titrino</i>	35
<b>Figura 5.</b> <i>Diagrama de bloques DQO</i>	37
<b>Figura 6.</b> <i>Metodología agua de dilución</i>	38
<b>Figura 7.</b> <i>Equipo DBO</i>	38
<b>Figura 8.</b> <i>Diagrama de bloques SST</i>	40
<b>Figura 9.</b> <i>Diagrama de bloques medición sólidos sedimentables</i>	41
<b>Figura 10.</b> <i>Vertimiento de la muestra</i>	41
<b>Figura 11.</b> <i>Solución en calentamiento</i>	42
<b>Figura 12.</b> <i>Espectrofotómetro de emisión ICPlasma</i>	43
<b>Figura 13.</b> <i>Diagrama de bloques metales</i>	44
<b>Figura 14.</b> <i>Conexión errada</i>	45
<b>Figura 15.</b> <i>Indicadores Medioambientales</i>	51
<b>Figura 16.</b> <i>Electrocoagulación</i>	55
<b>Figura 17.</b> <i>Cartucho de recuperación química</i>	56
<b>Figura 18.</b> <i>Desplatizador electrolítico</i>	57
<b>Figura 19.</b> <i>Desplatizador intercambio iónico</i>	58
<b>Figura 20.</b> <i>Formato de Etiquetado de Residuos Químicos</i>	76
<b>Figura 21.</b> <i>Pictogramas del SGA</i>	76
<b>Figura 22.</b> <i>Vehículo para transporte interno</i>	78
<b>Figura 23.</b> <i>Mapa de ubicación del laboratorio de aguas de la EAAB</i>	79
<b>Figura 24.</b> <i>Plot plan laboratorio de la EAAB</i>	80
<b>Figura 25.</b> <i>Plot plan laboratorio de agua residual</i>	81
<b>Figura 26.</b> <i>Centro de acopio</i>	82
<b>Figura 27.</b> <i>Ruta sanitaria interna residuos líquidos peligrosos</i>	83
<b>Figura 28.</b> <i>Ruta sanitaria Externa residuos líquidos peligrosos</i>	83
<b>Figura 29.</b> <i>Método PHVA</i>	88
<b>Figura 30.</b> <i>Gráfica desviación estándar de la concentración de plata</i>	90

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> <i>Vertimiento al alcantarillado público y exigencias mínimas</i>	20
<b>Tabla 2.</b> <i>Lista de residuos o desechos según el decreto 1076 de 2015</i>	26
<b>Tabla 3.</b> <i>Volumen de las muestras para cada tipo de agua</i>	38
<b>Tabla 4.</b> <i>Ubicación de las botellas Winkler</i>	39
<b>Tabla 5.</b> <i>Resumen análisis laboratorio</i>	44
<b>Tabla 6.</b> <i>Clasificación residuos</i>	47
<b>Tabla 7.</b> <i>Propiedades químicas de la plata</i>	53
<b>Tabla 8.</b> <i>Propiedades mecánicas de la plata</i>	54
<b>Tabla 9.</b> <i>Matriz de selección</i>	59
<b>Tabla 10.</b> <i>Propiedades físicas y químicas del nitrato de plata</i>	63
<b>Tabla 11.</b> <i>Peligrosidad del Nitrato de plata</i>	64
<b>Tabla 12.</b> <i>Primeros auxilios</i>	64
<b>Tabla 13.</b> <i>Lista de Técnicas y Químicos adicionados</i>	69
<b>Tabla 14.</b> <i>Lista de Técnicas y Químicos adicionados</i>	70
<b>Tabla 15.</b> <i>Lista de Técnicas y Químicos adicionados</i>	71
<b>Tabla 16.</b> <i>Clasificación residuos</i>	72
<b>Tabla 17.</b> <i>Plan de contingencia</i>	84
<b>Tabla 18.</b> <i>Comparación caracterización del residuo Vs límites máximos permisibles</i>	89

## RESUMEN

En este proyecto se realizó una propuesta de un plan de manejo de residuos líquidos peligrosos para el laboratorio de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, y se hizo un estudio para recuperar la plata contenida en uno de los residuos líquidos peligrosos generados por el laboratorio, esto con el fin de responder a las no conformidades presentadas por los entes evaluadores y disminuir el impacto medioambiental negativo que genera el mal manejo de los residuos líquidos peligrosos.

Inicialmente se realizó la identificación de los residuos líquidos peligrosos y la caracterización del residuo líquido generado en la técnica de análisis de cloruros en agua tratada que contiene nitrato de plata. Con la información recolectada se planteó un plan de manejo de residuos líquidos peligrosos que cumpliera con las necesidades del laboratorio y normas vigentes, también se identificó el mejor proceso para recuperar plata.

Se hizo una matriz de selección con 3 procesos de recuperación de plata y se les dio un puntaje teniendo en cuenta las necesidades del laboratorio, se caracterizó el residuo que contiene nitrato de plata y se reconoce que la concentración de plata que contiene para ser recuperada no es significativa.

A través del estudio de normas ambientales vigentes, identificación de los residuos líquidos peligrosos generados en cada técnica y la caracterización de uno de ellos, se procedió al diseño de un plan de manejo de residuos para el laboratorio y un estudio para recuperar plata contenida en un residuo líquido.

## INTRODUCCIÓN

El laboratorio de aguas de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá es un lugar equipado con los medios necesarios para realizar el análisis rutinario de muestras de agua residual, tratada o cruda tomada de diferentes fuentes de las cinco zonas de Bogotá y sus alrededores.

Según las carpetas de recepción que tiene el laboratorio del acueducto mensualmente se realizan el estudio de 1800 muestras de agua tratada y 130 muestras de agua residual, en donde se ejecutan análisis fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos.

Uno de los análisis fisicoquímicos que se practica es el de determinación de cloruros por técnica potenciométrica, el instructivo con el que cuenta el laboratorio explica de qué manera se realiza el análisis, esta técnica se hace con una solución de nitrato de plata y un sistema de electrodos de vidrio y plata - cloruro de plata, dicha técnica genera al mes alrededor de 180 L de agua residual los cuales son vertidos inapropiadamente por el alcantarillado, incumpliendo así el decreto 4741 de 2005 y desaprovechando el valor que se le puede dar al residuo ya que se puede recuperar la plata y generar un producto con valor agregado.

El presente trabajo tiene como finalidad diseñar y proponer un plan de manejo de residuos líquidos peligrosos para el laboratorio incorporando la recuperación de plata metálica presente en residuos de la técnica de cloruros.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar un plan de manejo de residuos líquidos producidos en el laboratorio de aguas de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, que incluya la remoción y recuperación de plata metálica presente en residuos de nitrato de plata.

### **Objetivos específicos**

- Identificar los residuos líquidos peligrosos generados en el laboratorio de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- Realizar una caracterización del residuo líquido peligroso generado en la técnica de cloruros en el laboratorio de la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.
- Establecer el plan de manejo de los residuos líquidos peligrosos y la ubicación del centro de acopio con base en los resultados del estudio.
- Plantear un proceso para la remoción y recuperación de plata metálica presente en residuos de nitrato de plata proveniente de la técnica de determinación de cloruros.

## 1. MARCO LEGAL

La definición de residuos peligrosos y las definiciones legales que abarcan este tema pueden variar dependiendo del país o simplemente es una definición a nivel internacional, todo depende de los criterios y necesidades del país, del desarrollo de la política y de la importancia medioambiental que se tiene, muchas de las políticas internacionales son tomadas como base para plantear las políticas nacionales, a lo largo de este capítulo se explicarán algunas definiciones para entender mejor las políticas internacionales y nacionales relacionadas con el medioambiente y el manejo de residuos peligrosos.

### 1.1 Gestión de residuos

Se denomina gestión de residuos al conjunto de actividades relacionadas con el ciclo de vida de estos, desde su generación hasta su correcta eliminación o aprovechamiento.

Hoy en día el manejo inadecuado de residuos es un problema universal que le concierne a todos los habitantes del planeta, puesto que la mala disposición de estos genera diferentes tipos de contaminación ambiental como la atmosférica, hídrica y del suelo, las cuales traen consecuencias como lo son el calentamiento global, lluvia ácida, alteración en los ecosistemas y aumento en la tasa de mortalidad por consumo de agua contaminada.

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (ríos, lagos, embalses, acuíferos, humedales o mares) se produce como resultado de la actividad del hombre, con la que se introducen sustancias que modifican su composición y deterioran su calidad, dificultando su uso e imposibilitando además que cumpla su función ecológica. [1].

La contaminación de aguas puede deberse a la presencia de diversas entidades o sustancias, como las que se mencionan a continuación. Cada una de ellas obtenidas de la referencia [1].

- Agentes patógenos: Son entidades biológicas (bacterias, virus, parásitos u otros

organismos) capaces de producir enfermedades en el ser humano, en los animales o en los vegetales. Estos microbios suelen proceder de los desechos de carácter orgánico que se han vertido en ríos, lagos o embalses sin haber sido tratados previamente, y de forma adecuada, para reducir su carga contaminante.

- **Compuestos químicos orgánicos:** Son aquellas sustancias químicas que contienen carbono y han sido fabricadas por el hombre como el petróleo, la gasolina, los plásticos, los plaguicidas o los detergentes.
- **Desechos orgánicos:** Son el conjunto de residuos orgánicos (aceites, grasas, proteínas, entre otros) producidos por los seres humanos o animales. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas. Cuando este tipo de desechos se encuentran en el agua en altas cantidades, generan que la proliferación de bacterias necesarias para su degradación sea mayor y, por lo tanto, consumen más oxígeno del debido, causando la muerte de las especies.
- **Sustancias químicas inorgánicas:** Se trata de ácidos, sales o metales tóxicos, como el mercurio o el plomo, cuya presencia en el agua en grandes cantidades pueden causar graves daños en los ecosistemas acuáticos, reduciendo la biodiversidad. De igual manera también se puede ver afectado el rendimiento de algunas actividades productivas como la agricultura o la ganadería, ya que el agua es un elemento esencial.
- **Exceso de nutrientes vegetales inorgánicos:** Los nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua y que las plantas necesitan para su desarrollo. Sin embargo, si se encuentran en una cantidad excesiva, pueden producir un crecimiento desmesurado de las algas y otros organismos, modificando las condiciones del medio al necesitar consumir una mayor cantidad de oxígeno para su desarrollo, y provocando el fenómeno que se conoce como eutrofización de las aguas.
- **Sedimentos o materias suspendidas:** Partículas insolubles de suelo que enturbian el agua y dificultan procesos como la fotosíntesis. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos y los sedimentos que se van acumulando destruyen lugares de alimentación.
- **Sustancias radiactivas:** Isótopos radiactivos solubles que pueden estar presentes en el agua, derivados de la energía nuclear y la actividad de centrales termonucleares,

y que son perjudiciales para la salud del hombre y de los seres vivos.

- Contaminación térmica: Se produce cuando aumenta la temperatura del agua en los ríos o embalses a causa de la liberación de agua caliente procedente de centrales de energía o de actividades industriales, provocando la disminución de la capacidad del agua para contener oxígeno, afectando así a la vida de las especies acuáticas.

Es fundamental conocer cuál es el papel de deterioro que causan los elementos anteriormente mencionados en la calidad del agua, con el fin de anticiparse al origen de posibles desastres medioambientales y poder prevenir los devastadores efectos que se podrían producir tanto en el medioambiente como en la salud humana. Es importante reconocer un ejemplo donde se ilustra las consecuencias sociales y medioambientales del mal manejo de residuos peligrosos para así generar conciencia.

Hooker Chemical Company era una importante empresa química estadounidense fundada en 1903 que se dedicaba a la producción de sosa cáustica, blanqueadores y otros productos químicos. Su planta de fabricación de productos se encontraba ubicada en las Cataratas del Niágara.

Entre 1947 y 1952 la compañía química usó un viejo canal abandonado llamado "Love Canal" para depositar 21 mil toneladas de desechos químicos tóxicos. En esa época, la ciudad de Niagara Falls expropió esos terrenos para construir una urbanización y una escuela. A pesar de que la compañía advirtió todos los peligros que conllevaba el construir lugares debajo de un cementerio de residuos, la obra se llevó a cabo colocando un recubrimiento junto con unas capas de arcilla y tierra.

Dicha amenaza antrópica provocó que en 1978 se hicieran análisis de las aguas de esta zona, puesto que ya se habían empezado a evidenciar problemas respiratorios, de fertilidad, numerosos casos de cáncer, y la contaminación de las aguas del río Niágara. Los resultados mostraron la presencia de 82 productos químicos contaminantes. Finalmente, ante esta situación la escuela fue cerrada y las familias evacuadas. La empresa tuvo que desembolsar más de 200 millones de dólares para descontaminar la zona.

### **1.1.1 Acuerdos Internacionales**

Los acuerdos internacionales también conocidos como convenio, tratado o cualquier otro acto vinculante por medio del cual dos o más naciones se comprometen a cumplir y a luchar por un objetivo en común.

Con el fin de mitigar los efectos que provoca la mala gestión de los residuos, instituciones gubernamentales establecieron los siguientes convenios, programas y leyes.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA: La PNUMA es la principal autoridad ambiental a nivel mundial. Actúa como catalizador, promotor, educador y facilitador para promover el uso racional y el desarrollo sostenible del medio ambiente [4]. Entre sus labores está elaborar instrumentos ambientales internacionales y nacionales; y fortalecer las instituciones para la gestión racional del medio ambiente.

Actualmente Colombia, es representada por su Embajada en Nairobi y Kenia, además, participa en las reuniones del Comité de Representantes Permanentes del PNUMA, organismo subsidiario, que brinda asesoramiento sobre cuestiones normativas, prepara proyectos de decisión, presenta informes periódicos sobre la implementación del programa de trabajo y los proyectos del PNUMA, y contribuye a la preparación de su Asamblea [5].

- Convenio de Basilea: Es un Acuerdo Multilateral sobre medio ambiente conformado por 170 países, el cual plantea como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos resultantes de la generación, el manejo, los movimientos transfronterizos y la eliminación de desechos peligrosos.

El Convenio obliga a todos los países miembros que se aseguren que los desechos peligrosos y otros desechos se manejen y eliminen de manera ambientalmente racional y se espera que minimicen las cantidades que atraviesan las fronteras y que traten y eliminen los desechos lo más cerca posible del lugar donde se generen y que impidan o minimicen la generación de desechos en origen. [6]

Dicho acuerdo fue aprobado en Colombia mediante la Ley 253 de 1996 y es el primer y único tratado internacional que representa la temática de desechos peligrosos en el país. [7]

Existen leyes nacionales colombianas que tienen influencia de leyes internacionales, entre algunas de las leyes nacionales que parcialmente son reglamentadas por convenios internacionales se encuentra el Decreto 4741 de 2005, el Decreto 1443 de 2004.

Colombia cuenta con varios tratados internacionales firmados, algunas de las leyes y decretos nacionales que se implementan buscan que se logre cumplir con los objetivos ambientales planteados en los diferentes convenios internacionales.

### **1.1.2 Políticas nacionales**

Con el fin de preservar el medio ambiente y la salud de las personas el estado desarrolló políticas y normas para el adecuado manejo de residuos.

- Ley 9 de 1979: Ley expedida por el ministerio de salud, por la cual se explica 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. [8]
- Decreto 1594 de 1984: Decreto expedido por el ministerio de agricultura por el cual se reglamenta parcialmente la exigencia del permiso de la destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas, estuarinas y servidas otorgado por la autoridad ambiental competente. [9]
- Ley 99 de 1993: Ley donde se decreta la creación del Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. [10]
- Resolución 619 de 1997: Resolución donde se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas y especifica las industrias obras, actividades o servicios que requieren permiso de emisión atmosférica. [11]

- Ley 430 de 1998: Ley donde se tiene como objeto regular todo lo relacionado con la prohibición de introducir desechos peligrosos al territorio nacional, en cualquier modalidad según lo establecido en el Convenio de Basilea y sus anexos, y con la responsabilidad por el manejo integral de los generados en el país y en el proceso de producción, gestión y manejo de los mismos. [12]
- Resolución 1208 de 2003: Resolución donde se establecen normas técnicas y estándares ambientales para prevenir y controlar la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire en el perímetro urbano de la ciudad de Bogotá D.C además de esto en el capítulo primero se dan definiciones para dar una correcta interpretación de las normas contenidas en la resolución [13]
- Decreto 4741 de 2005: Decreto donde se previene la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regula el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente, este decreto se aplica en el territorio nacional a las personas que generen, gestionen o manejen residuos o desechos peligrosos. [14].

Este decreto reglamenta parcialmente la ley 253 de 1996 el cual aprueba el convenio de Basilea, este convenio hace parte de la leyes internacionales ambientales que influyen en las leyes nacionales Colombianas.

- Decreto 312 de 2006: Decreto por el cual se adopta el Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos -PMIRS-, para planificar y reglamentar el Sistema de Saneamiento Básico del Distrito Capital, el cual se aplica a todas las personas que generan, reciclan y aprovechan residuos sólidos ordinarios y especiales y a las entidades públicas y personas o empresas privadas y organizaciones comunitarias y cooperativas vinculadas a la prestación del Servicio Público de Aseo, y cuyos periodos para su aplicación son los mismos del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. [15]
- Resolución 062 de 2007: Resolución que establece los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los residuos o desechos peligrosos en el país, estableciendo el diseño del muestreo, los tipos de muestras, el aseguramiento de calidad, entre otros. [15]

- Resolución 3957 de 2009: Resolución por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital, al tiempo que fija las concentraciones o estándares para su vertido, esto aplica para los vertimientos de aguas residuales diferentes a las de origen doméstico dentro del perímetro urbano. [15]
- Decreto 1076 de 2015: Resolución por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital, al tiempo que fija las concentraciones o estándares para su vertido, esto aplica para los vertimientos de aguas residuales diferentes a las de origen doméstico dentro del perímetro urbano. [15]

**Tabla 1.**

*Vertimiento al alcantarillado público y exigencias mínimas.*

<b>Referencia</b>	<b>Valor</b>
<b>pH</b>	5 a 9 unidades
<b>Temperatura</b>	≤ 40 °C
<b>Ácidos, bases o soluciones ácidas o básicas que puedan causar contaminación; sustancias explosivas o inflamables</b>	Ausentes
<b>Sólidos sedimentables</b>	≤ 10 ml/l
<b>Sustancias solubles en hexano</b>	≤ 100 ml/l
<b>Sólidos suspendidos para desechos domésticos e industriales</b>	Remoción ≥ 80% en carga

<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	
<b>Para desechos domésticos</b>	Remoción $\geq$ 80% en carga
<b>Para desechos industriales</b>	Remoción $\geq$ 80% en carga
<b>Caudal máximo</b>	1,5 veces el caudal promedio horario

**Nota.** Esta tabla muestra los parámetros mínimos que se deben cumplir para verter aguas por el alcantarillado público. Tomado de: Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, [En línea]. Disponible: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153> [Acceso: Sept 20, 2020]

## 1.2 Residuo

Con la expedición del Decreto 4741 de 2005, el Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Transporte, optó por mantener la igualdad entre los términos “residuo” y “desecho” para efectos de optimizar el control de la gestión y su manejo. [16]

Los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos [17]. Algunos de estos desechos pueden aprovecharse para generar un ciclo económico productivo o en otros casos cuando este proceso no es posible llevarlo a cabo se requerirá un previo tratamiento para lograr una disposición final controlada y responsable.

La clasificación de los residuos se puede establecer en los siguientes 3 criterios: Según la peligrosidad, según el origen y según su composición.

### 1.2.1 Según peligrosidad

Al momento que clasificar un residuo según su peligrosidad es necesario analizar sus

características para estudiar la probabilidad de que ocurra una actividad peligrosa

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

1.2.1.b Residuos peligrosos: Son aquellos que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas, pueden causar algún riesgo o daño para la salud humana y el ambiente, cuando es inadecuadamente manejado. [18]

1.2.1.c Residuos no peligrosos: Se pueden definir como aquellos que no son ni inertes ni peligrosos. Así, por ejemplo son residuos no peligrosos el plástico, el papel/cartón, o el metal, siempre que no estén contaminados por alguna sustancia peligrosa. [18]

## **1.2.2 Según origen**

Como se mencionó anteriormente los residuos se generan como resultado de la eliminación de los materiales, por tanto es necesario analizar cuál es su proveniencia.

1.2.2.a Doméstico. La Ley 22/2011 de Residuos y Suelos Contaminados, los define como aquellos residuos peligrosos y no peligrosos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas; se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias. [18]

1.2.2.b. Industriales. Son residuos resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera reguladas en la Ley 34/2007. [18]

1.2.2.c. Construcción y demolición. Se consideran residuos de la construcción, de

acuerdo con la normativa, aquellos residuos que se generan en una obra de construcción o demolición. Debe señalarse que no se incluyen en esta definición aquellas tierras de excavación que se destinan a la reutilización en la propia obra o en otra obra autorizada. [18]

1.2.2.d. Agrícolas. Proceden de la agricultura, la ganadería, la pesca, las explotaciones forestales o la industria alimenticia. [18]

1.2.2.e. Hospitalarios. Son aquellas sustancias, materiales, subproductos sólidos, líquidos, gaseosos, que son el resultado de una actividad ejercida por el generador; que se define como la persona natural o jurídica que produce residuos hospitalarios relacionados con la prestación de servicios de salud. [18]

1.2.2.f Electrónico. Se considera que un residuo electrónico es un aparato o artículo electrónico que ha sido desechado, después de su vida útil. [18]

### **1.2.3 Según composición**

1.2.3.a Orgánico. Es todo desecho de origen biológico (desecho orgánico), que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, por ejemplo: Carnes, lácteos, frutas, verduras incluidas todas las preparaciones de comida que se hacen en el hogar. [18]

1.2.3.b Inorgánico: Es todo desecho sin origen biológico, de índole industrial o de algún otro proceso artificial, por ejemplo: plásticos, telas sintéticas, recipientes de aluminio, etc. [18]

1.2.3.c Peligroso. Se refiere a todo residuo, orgánico e inorgánico, que tiene potencial peligroso, por ejemplo: los residuos patógenos de los hospitales, agujas, reactivos, tintas de impresoras, recipientes contaminados con sangre, etc. [18]

## **2. DIAGNÓSTICO DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS PELIGROSOS GENERADOS EN EL LABORATORIO DE AGUAS DE LA EAAB**

A lo largo de este capítulo se describe la misión, visión e historia de la empresa, la función que cumple el laboratorio de aguas de la empresa Acueducto y Alcantarillado de Bogotá -EAAB-, los residuos que producen en los análisis que realizan, y las condiciones actuales en las que se encuentra el manejo de residuos en el laboratorio es importante identificar estos puntos para realizar un diagnóstico de los residuos líquidos peligrosos que se generan en el laboratorio de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá.

### **2.1 Descripción de la empresa**

Fundada en 1955 el Acueducto y Alcantarillado de Bogotá -EAAB- es una empresa perteneciente al sector hábitat, encargada de provisionar el servicio de agua potable, en la actualidad es la empresa más grande del sector de agua y saneamiento del país.

La misión de la empresa es “Excelencia en la gestión empresarial del agua, compromiso y empresa para todos”. [19]

La visión es “Agua para la vida, generando bienestar para la gente”. [19]

La empresa durante sus 133 años se ha caracterizado por su compromiso con la sociedad, por esta razón tiene una política ambiental que ayuda a cumplir su misión y visión y que demuestra su compromiso con el medio ambiente entre los que está

“El manejo integral de los residuos a partir de su reducción, reutilización y aprovechamiento”. [19]

Entre los servicios técnicos que presta la empresa se encuentra el laboratorio de aguas en el que se puede acceder a resultados confiables de análisis científicos, el servicio que presta el laboratorio incluye la toma de muestra y análisis rutinarios en Plantas de Tratamiento de Agua Potable, Tanques de Almacenamiento, Red de Distribución, Fuentes de Abastecimiento de Agua Cruda, Embalses, Ríos, Quebradas, Puntos de Vertimiento a Cuerpos Hídricos, Vertimientos Industriales y Domésticos, entre otros.

El laboratorio realiza análisis fisicoquímicos entre los que se encuentran análisis de aceites y grasas, acidez, alcalinidad, aluminio, amonio, antimonio, arsénico, bario, berilio, boro, btx, cadmio, calcio, carbamatos, carbono inorgánico total, carbono orgánico total, carbono total, cianuro disociable, cianuro libre, cianuro total, cloro libre, cloro residual, cloro total, cloruros, cobre, color aparente, color verdadero, conductividad, cromo, cromo hexavalente, DBO, DQO, dureza cálcica, dureza total, estaño, estroncio, fenoles totales, fluoruros, fósforo total, fósforo total soluble, hidrocarburos totales, hierro, magnesio, manganeso, mercurio, metales final, molibdeno, monóxido de carbono, níquel, nitratos, nitritos sólidos, nitrógeno amoniacal, nkt, organoclorados/organofosforados, oxígeno disuelto, ph, plata, plomo, saam, selenio, silicio, sodio, sólidos disueltos, sólidos solubles totales, sólidos solubles volátiles, sólidos suspendidos, sólidos totales, sólidos volátiles, sulfatos, sulfuros, talio, temperatura, trihalometanos, turbiedad, vanadio, zinc.

### ***2.1.1 Descripción de los residuos líquidos generados***

Como anteriormente se mencionó el laboratorio de aguas de la EAAB realiza diferentes análisis fisicoquímicos de las muestras que llegan, por lo tanto esto implica la generación de residuos líquidos con características especiales que hacen que no se puedan mezclar entre sí.

La implementación del decreto 1076 de 2015 dentro de las instalaciones es de suma importancia, puesto que este reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. En el decreto se clasifican los residuos de acuerdo a su composición ver Tabla 2.

**Tabla 2.****Lista de residuos o desechos según el decreto 1076 de 2015**

Y1	Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos y clínicas.
Y2	Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos.
Y3	Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos.
Y4	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos.
Y5	Desechos resultantes de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la preservación de la madera.
Y6	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos.
Y7	Desechos que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico y las operaciones de temple.
Y8	Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados.
Y9	Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.
Y10	Sustancias y artículos de desecho que contengan, o estén contaminados por, bifenilos policlorados (PCB), terfenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB).
Y11	Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico.
Y12	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices.
Y13	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos.
Y14	Sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación y el desarrollo o de las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan.
Y15	Desechos de carácter explosivo que no estén sometidos a una legislación diferente.
Y16	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos.
Y17	Desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos.
Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.	
Y18	Desechos que tengan como constituyentes:
Y19	Metales carbonilos.
Y20	Berilio, compuestos de berilio.
Y21	Compuestos de cromo hexavalente.
Y22	Compuestos de cobre.
Y23	Compuestos de zinc.
Y24	Arsénico, compuestos de arsénico.
Y25	Selenio, compuestos de selenio.
Y26	Cadmio, compuestos de cadmio.
Y27	Antimonio, compuestos de antimonio.
Y28	Telurio, compuestos de telurio.
Y29	Mercurio, compuestos de mercurio.
Y30	Talio, compuestos de talio.
Y31	Plomo, compuestos de plomo.
Y32	Compuestos inorgánicos de flúor, con exclusión del fluoruro cálcico.
Y33	Cianuros inorgánicos.
Y34	Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida.
Y35	Soluciones básicas o bases en forma sólida.
Y36	Asbesto (polvo y fibras).
Y37	Compuestos orgánicos de fósforo.
Y38	Cianuros orgánicos.
Y39	Fenoles, compuestos fenólicos, con inclusión de clorofenoles.
Y40	Eteres.
Solventes orgánicos halogenados.	
Y41	Disolventes orgánicos, con exclusión de disolventes halogenados.
Y42	Cualquier sustancia del grupo de los dibenzofuranos policlorados.
Y43	Cualquier sustancia del grupo de las dibenzoparadioxinas policloradas.
Y44	Cualquier sustancia del grupo de las dibenzoparadioxinas policloradas.
Compuestos organohalogenados, que no sean las sustancias mencionadas en el presente anexo (por ejemplo, Y39, Y41, Y42, Y43, Y44).	
Y45	

A1010	Desechos metálicos y desechos que contengan aleaciones de cualquiera de las sustancias: Antimonio - Arsénico - Berilio - Cadmio - Plomo - Mercurio - Selenio - Telurio - Talio.
A1020	Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes,excluidos los desechos de metal en forma masiva, cualquiera de las sustancias siguientes:Antimonio - Berilio - Cadmio - Plomo - Mercurio - Selenio - Telurio.
A1030	Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes cualquiera de las sustancias siguientes: Arsénio - Mercurio - Talio
A1040	Desechos que tengan como constituyentes:Carbonilos de metal Compuestos de cromo hexavalente.
A1050	Lodos galvánicos
A1060	Líquidos de desecho del decapaje de metales.
A1070	Residuos de lixiviación del tratamiento del zinc, polvos y lodos como jarosita, hematites, etc.
A1080	Residuos de desechos de zinc no incluidos en la lista B, que contengan plomo y cadmio
A1090	Cenizas de la incineración de cables de cobre recubiertos
A1100	Polvos y residuos de los sistemas de depuración de gases de las fundiciones de cobre.
A1110	Soluciones electrolíticas usadas de las operaciones de refinación y extracción electrolítica del cobre.
A1120	Lodos residuales, excluidos los fangos anódicos, de los sistemas de depuración electrolítica de las operaciones de refinación y extracción electrolítica del cobre.
A1130	Soluciones de ácidos para grabar usadas que contengan cobre disuelto.
A1140	Desechos de catalizadores de cloruro cúprico y cianuro de cobre.
A1150	Cenizas de metales preciosos procedentes de la incineración de circuitos impresos
A1160	Acumuladores de plomos de desecho, enteros o triturados.
A1170	Acumuladores de desecho sin seleccionar excluidas mezclas de acumuladores
A1180	Montajes eléctricos y electrónicos de desecho o restos de éstos que contengan componentes como acumuladores y otros baterías, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y capacitadores de PCB, o contaminados con constituyentes por ejemplo: cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado en tal grado que posean alguna de las características
A2010	Desechos de vidrio de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados.
A2020	Desechos de compuestos inorgánicos de flúor en forma de líquidos o lodos
A2030	Desechos de catalizadores
A2040	Yeso de desecho procedente de procesos de la industria química.
A2050	Desechos de amianto (polvo y fibras).
A2060	Cenizas volantes de centrales eléctricas de carbón.
A3010	Desechos resultantes de la producción o el tratamiento de coque de petróleo y asfalto
A3020	Aceites minerales de desecho no aptos para el uso al que estaban destinados.

A3030	Desechos que contengan, estén integrados o estén contaminados por lodos de compuestos antideetonantes con plomo.
A3040	Desechos de líquidos térmicos (transferencia de calor)
A3050	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas/adhesivos
A3060	Nitrocelulosa de desecho.
A3070	Desechos de fenoles, compuestos fenólicos, incluido el clorofenol en forma de líquido o de lodo.
A3080	Desechos de éteres.
A3090	Desechos de cuero en forma de polvo, cenizas, lodos y harinas que contengan compuestos de plomo hexavalente o biocidas
A3100	Raeduras y otros desechos del cuero o de cuero regenerado que no sirvan para la fabricación de artículos de cuero, que contengan compuestos de cromo hexavalente o biocidas
A3110	Desechos del curtido de pieles que contengan compuestos de cromo hexavalente o biocidas o sustancias infecciosas
A3120	Pelusas - fragmentos ligeros resultantes del desmenuzamiento
A3130	Desechos de compuestos de fósforo orgánicos.
A3140	Desechos de disolventes orgánicos no halogenados
A3150	Desechos de disolventes orgánicos halogenados.
A3160	Desechos resultantes de residuos no acuosos de destilación halogenados o no halogenados derivados de operaciones de recuperación de disolventes orgánicos.
A3170	Desechos resultantes de la producción de hidrocarburos halogenados alifáticos (tales como clorometano, dicloroetano, cloruro de vinilo, cloruro de alilo y epicloridrina).
A3180	Desechos, sustancias y artículos que contienen, consisten o están contaminados con bifenilo policlorado (PCB), terfenilo policlorado (PCT), naftaleno policlorado (PCN) o bifenilo polibromado (PBB), o cualquier otro compuesto polibromado análogo, con una concentración igual o superior a 50 mg/kg
A3190	Desechos de residuos alquitranados (con exclusión de los cementos asfálticos) resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico de materiales orgánicos.
A3200	Material bituminoso (desechos de asfalto) con contenido de alquitrán resultantes de la construcción y el mantenimiento de carreteras
A4010	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos farmacéuticos
A4020	Desechos clínicos y afines; es decir, desechos resultantes de prácticas médicas, de enfermería, dentales, veterinarias o actividades similares, y desechos generados en hospitales u otras instalaciones durante actividades de investigación o el tratamiento de pacientes, o de proyectos de investigación.

**Nota.** Esta tabla muestra la clasificación de los residuos peligrosos según su procedencia y composición, de acuerdo al decreto 1076 de 2015. Tomado del Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. [En línea]. Disponible: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153> [Acceso: sep, 2, 2021]

### 2.1.2 Descripción del residuo a tratar

El residuo del cual se quiere recuperar la plata es proveniente de la técnica de determinación de cloruros, la cual se realiza diariamente en el laboratorio a más de 60 muestras de agua tratada.

2.1.2.a Principio del método: Las aguas naturales tienen contenidos muy variables del ion Cl-1 pues este depende de las características de los terrenos que éstas atraviesen,

sin embargo, cabe resaltar que la cantidad de cloruros que se presenta en las aguas naturales siempre es menor que la que se encuentra en aguas residuales, ya que el cloruro de sodio es común en la dieta y se excreta en la orina.

El aumento de cloruros en un agua puede tener orígenes diversos. Si se trata de una zona costera puede deberse al contacto que tiene el agua de mar en diferentes zonas aledañas o incluso con los sistemas de alcantarillado, en el caso de una zona árida se debe al lavado de los suelos producido por fuertes lluvias y por último el aumento de cloruros también puede deberse a la contaminación del agua por aguas residuales o aguas provenientes de algunos procesos industriales.

La determinación de cloruros puede hacerse mediante tres métodos: el método argentométrico o volumétrico, el método del nitrato de mercurio y el método potenciométrico

2.1.2.b Descripción del procedimiento: Como anteriormente se mencionó la determinación de cloruros se puede hacer mediante tres métodos, sin embargo el laboratorio de la EAAB aplica el método potenciométrico.

Este consiste en la determinación del ion  $\text{Cl}^-$  por medio de una titulación potenciométrica con solución de nitrato de plata y un sistema de electrodos de vidrio y plata-cloruro de plata.

En la Figura 1 se muestra la representación del funcionamiento para dicha técnica. En primera instancia se toman 100 ml de muestra de agua tratada y se adicionan 2 ml de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), a continuación, se procede a montar las muestras en el carrusel y se prende el titulador automático TIAMO, el carrusel de muestras y la CPU, se coloca el electrodo para cloruros y la unidad intercambiable que contiene el titulante  $\text{AgNO}_3$  0.0141 N. [Ver figura 2]

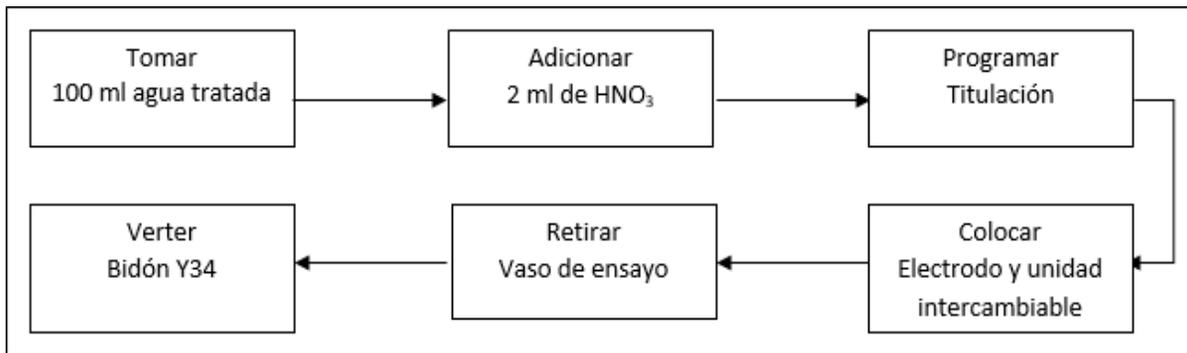
Para empezar a realizar la técnica se ingresa al programa TIAMO, se busca el método Cloruros y se anota el número de muestras que van a procesarse. Pasado cierto tiempo, las muestras procesadas son retiradas y se reemplazan por las siguientes, los residuos generados son vertidos en el bidón clasificado como Y34 según el decreto 4741 de 2005.

Una vez finalizada la técnica se retira la bureta de titulación, se lava y se guarda el electrodo en agua destilada.

Finalmente, el analista reporta los resultados en cifras enteras y cómo mg Cl-/L. Cabe resaltar que la cantidad de HNO<sub>3</sub> sería una variable de control ya que se mantiene igual en cada una de las muestras a analizar; la concentración de cloruros sería la variable dependiente puesto que es lo que se está midiendo dentro del experimento y por último la variable independiente es la cantidad de nitrato de plata que se agrega, ya que es un valor que el investigador puede modificar.

**Figura 1.**

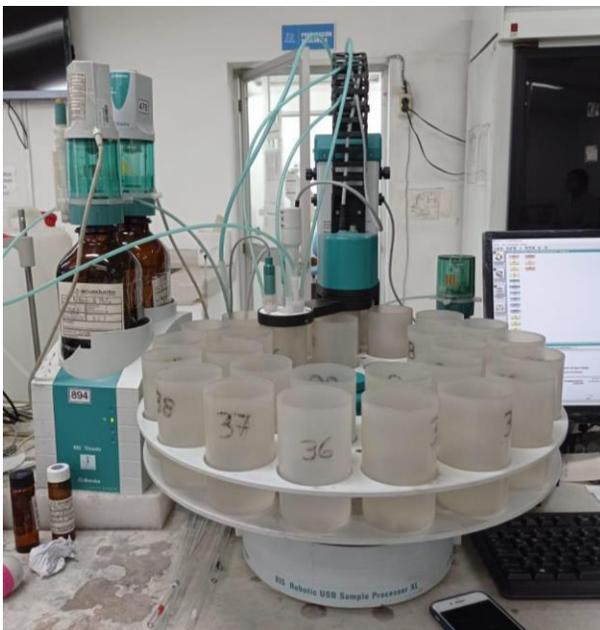
*Diagrama de bloques técnica de determinación de cloruros.*



**Nota.** Este diagrama representa los pasos a seguir para realizar la técnica de determinación de cloruros en la EAAB

## Figura 2.

### *Técnica de determinación de cloruros*



**Nota.** Esta imagen muestra el equipo donde se realiza la técnica de determinación de cloruros

2.1.2.c. Caracterización del residuo: La técnica de determinación de cloruros genera aproximadamente 180 L de residuos líquidos peligrosos mensualmente según los registros que se llevan internamente en el laboratorio.

Un residuo líquido peligroso presenta algunas de las siguientes características:

- **Corrosividad**

Característica que hace que un residuo o desecho por acción química pueda causar daños graves en los tejidos vivos que estén en contacto o en caso de fuga puede dañar gravemente otros materiales, y posee cualquiera de las siguientes propiedades:

- a) Ser acuoso y presentar un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12,5 unidades.
- b) Ser líquido y corroer el acero a una tasa mayor de 6,35 mm por año a una temperatura de ensayo de 55°C. [14].

- **Reactividad**

Es aquella característica que presenta un residuo o desecho cuando al mezclarse o ponerse en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos tiene cualquiera de las siguientes propiedades:

- a) Generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud humana o al ambiente cuando se mezcla con agua.
- b) Poseer, entre sus componentes, sustancias tales como cianuros, sulfuros, peróxidos orgánicos que, por reacción, liberen gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo la salud humana o el ambiente.
- c) Ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados.
- d) Aquel que produce una reacción endotérmica o exotérmica al ponerse en contacto con el aire, el agua o cualquier otro elemento o sustancia.
- e) Provocar o favorecer la combustión. [14].

- **Explosividad**

Se considera que un residuo (o mezcla de residuos) es explosivo cuando en estado sólido o líquido de manera espontánea, por reacción química, puede desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la salud humana y/o al ambiente, y además presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- a) Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua.
- b) Ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a temperatura de 25°C y presión de 1,0 atmósfera.
- c) Ser una sustancia fabricada con el fin de producir una explosión o efecto pirotécnico. [14]

- **Inflamabilidad**

Característica que presenta un residuo o desecho cuando en presencia de una fuerte ignición, puede arder bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, o presentar

cualquiera de las siguientes propiedades:

- a) Ser un gas que a una temperatura de 20°C y 1,0 atmósfera de presión arde en una mezcla igual o menor al 13% del volumen de aire.
- b) Ser un líquido cuyo punto de inflamación es inferior a 60°C de temperatura, con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% de alcohol en volumen.
- c) Ser un sólido con la capacidad bajo condiciones de temperatura de 25°C y presión de 1,0 atmósfera, de producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas y quema vigorosa y persistentemente dificultando la extinción del fuego.
- d) Ser un oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado, estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego con otro material. [14]

- **Infeccioso**

Un residuo o desecho con características infecciosas se considera peligroso cuando contiene agentes patógenos; los agentes patógenos son microorganismos (tales como bacterias, parásitos, virus, rickettsias y hongos) y otros agentes tales como priones, con suficiente virulencia y concentración como para causar enfermedades en los seres humanos o en los animales [14]

- **Radioactividad**

Se entiende por residuo radiactivo, cualquier material que contenga compuestos, elementos o isótopos, con una actividad radiactiva por unidad de masa superior a 70 KBq/Kg (setenta kilos becquerelios por kilogramo) o 2nCi/g (dos nanocuries por gramo), capaces de emitir, de forma directa o indirecta, radiaciones ionizantes de naturaleza corpuscular o electromagnética que en su interacción con la materia produce ionización en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo. [14]

- **Toxicidad**

Se considera residuo o desecho tóxico aquel que en virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos puede causar daño a la salud humana y/o al ambiente. Para este efecto se consideran tóxicos los residuos o desechos que se clasifican de acuerdo con los criterios de toxicidad (efectos agudos, retardados o

crónicos y ecotóxicos) definidos a continuación y para los cuales, según sea necesario, las autoridades competentes establecerán los límites de control correspondiente:

- a) Dosis letal media oral (DL50) para ratas menor o igual a 200 mg/kg para sólidos y menor o igual a 500 mg/kg para líquidos, de peso corporal.
- b) Dosis letal media dérmica (DL50) para ratas menor o igual de 1.000 mg/kg de peso corporal.
- c) Concentración letal media inhalatoria (CL50) para ratas menor o igual a 10 mg/l.
- d) Alto potencial de irritación ocular, respiratoria y cutánea, capacidad corrosiva sobre tejidos vivos.
- e) Susceptibilidad de bioacumulación y biomagnificación en los seres vivos y en las cadenas tróficas.
- f) Carcinogenicidad, mutagenicidad y teratogenicidad.
- g) Neurotoxicidad, inmunotoxicidad u otros efectos retardados.
- h) Toxicidad para organismos superiores y microorganismos terrestres y acuáticos.
- i) Otros que las autoridades competentes definan como criterios de riesgo de toxicidad humana o para el ambiente [14.]

Además de las características cualitativas anteriormente mencionadas, se realizaron los análisis de algunos de los parámetros generales planteados en la resolución 631 de 2015, la cual tiene como objetivo establecer los parámetros y los límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Esto se realiza con el fin de comparar los resultados obtenidos con los valores que dicta la norma y así dar un dictamen final sobre la disposición de este residuo.

- **pH**

Medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución. El pH se mide en una escala de 0 a 14. En esta escala, un valor pH de 7 es neutro, lo que significa que la sustancia o solución no es ácida ni alcalina. Un valor pH de menos de 7 significa que es más ácida, y un valor pH de más de 7 significa que es más alcalina. [20]

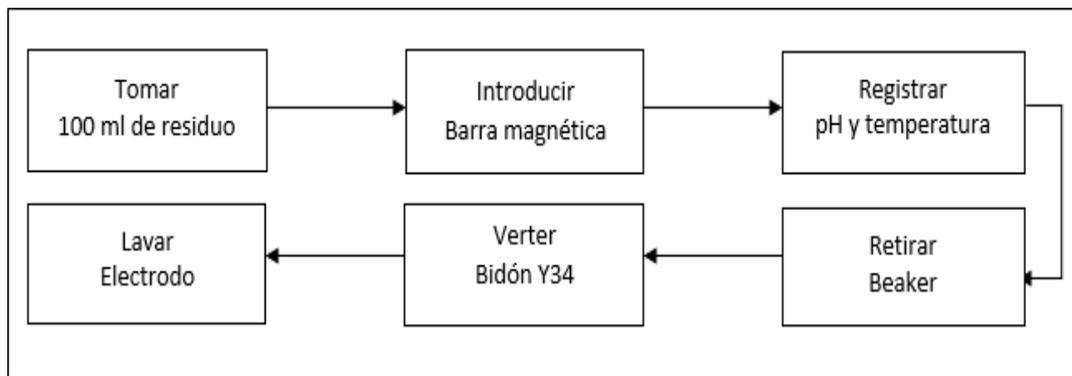
La medición se realizará de manera automática por medio de un titrino [Figura 4]

A continuación en la Figura 3 se evidencia la representación del funcionamiento para medir este parámetro.

En primer lugar, se preparó la muestra a evaluar, se tomaron 100 ml de muestra en un beaker y posteriormente se introdujo la barra magnética y el electrodo de medición para tomar y registrar el valor de pH y la temperatura del momento, una vez arrojados estos resultados se lava el electrodo y el agitador entre muestra y muestra.

**Figura 3.**

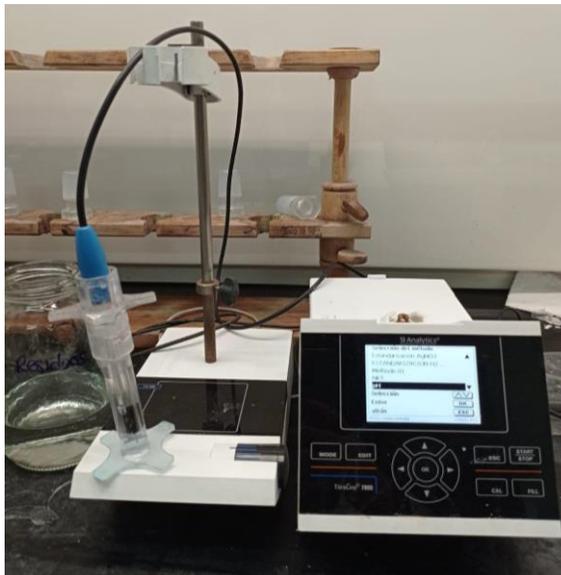
*Diagrama de bloques medición de pH*



**Nota.** Este diagrama representa los pasos a seguir para realizar la técnica de determinación de medición de pH en la EAAB

**Figura 4.**

*Equipo titrino*



**Nota.** Este Imagen muestra el equipo donde se realiza la técnica de determinación de pH

- DQO

La Demanda Química de Oxígeno determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo [21].

En la Figura 5 se evidencia el procedimiento para realizar la Demanda química de oxígeno. Para dar inicio a esta técnica se recolectó 20 ml de muestra en un tubo de digestión, se agregó aproximadamente 0,4 g de  $\text{HgSO}_4$  en polvo y se adiciono perlas de vidrio para controlar la ebullición.

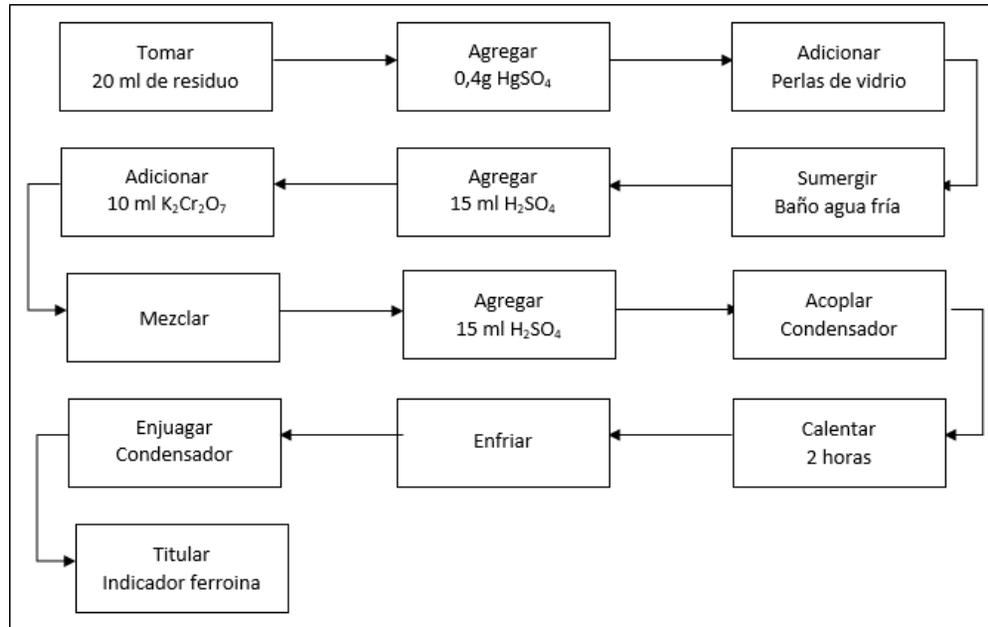
A continuación, se puso un baño de agua fría dentro de una cabina de extracción y se procedió a ingresar el tubo de digestión, se agregaron 15 ml del reactivo  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y se agitó suavemente. Luego se adiciono 10 ml de solución  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,25N, se mezcló y se agregó el remanente del reactivo de ácido sulfúrico.

Para finalizar se secaron las paredes externas del tubo y este fue acoplado al condensador para iniciar un calentamiento de 2 horas, una vez se cumplió el tiempo se dejó enfriar y se enjuago el condensador desde la parte superior con agua destilada.

Para realizar la titulación se valoró el exceso de  $K_2Cr_2O_7$  con FAS 0,1M en presencia de 2 o 3 gotas de indicador ferroína, observando así un cambio de color azul-verdoso a café-rojizo.

**Figura 5.**

*Diagrama de bloques DQO*



**Nota.** Este diagrama representa los pasos a seguir para realizar la técnica de determinación de medición de DQO en la EAAB

- DBO

La prueba de la demanda biológica de oxígeno (DBO) es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales.

Para realizar esta técnica fue necesario recolectar 3 diferentes volúmenes de la muestra. Cabe resaltar que si el agua a caracterizar es residual se toman volúmenes más pequeños que si fuera cruda o tratada con la adición de químicos, esto porque la residual presenta mayor carga orgánica.

En la Tabla 3 se evidencian los diferentes volúmenes que se deben tomar para cada tipo de muestra. Ya que el agua a caracterizar es tratada con adición de químicos, los

volúmenes que se escogieron son los presentados en la segunda columna.

**Tabla 3.**

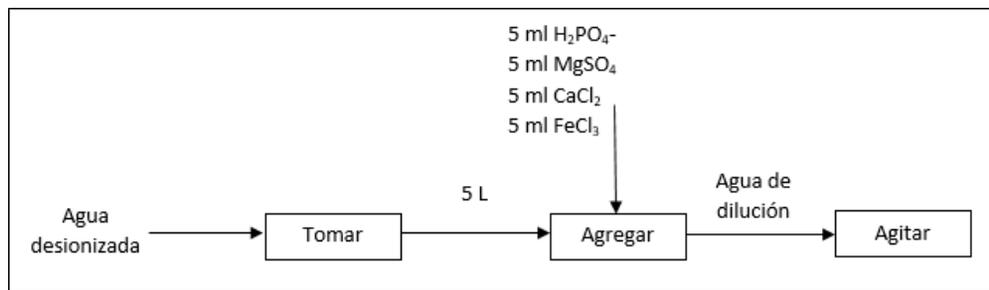
*Volumen de las muestras para cada tipo de agua*

Volúmenes técnica DBO	
Agua residual	Agua cruda
2 ml	50 ml
5 ml	150 ml
10 ml	300 ml

**Nota.** Esta tabla muestra diferentes volúmenes que se deben tomar para cada tipo de muestra.

**Figura 6.**

*Metodología agua de dilución*



**Nota.** Este diagrama representa los pasos a seguir para realizar la metodología de dilución en la EAAB

Mientras terminaba el proceso de agitación se procedió a realizar el respectivo montaje en el equipo ilustrado en la Figura 7

### Figura 7.

#### Equipo DBO



**Nota.** Esta Imagen muestra el equipo donde se realiza la técnica de determinación de DBO

Como se puede observar el equipo consta de varias filas y columnas, estos espacios son aquellos donde se colocan las botellas Winkler. En la Tabla 4 se puede observar el orden con sus respectivos volúmenes en que fueron colocados los recipientes.

**Tabla 4.**

#### Ubicación de las botellas Winkler

Recipiente	Volumen (ml)
Blanco	0
Estándar 2 mg/L	200
Estándar 198 mg/L	6
Muestra 1	300
Muestra 2	150
Muestra 3	50
Cepa	1

**Nota.** En esta tabla se puede observar el orden con sus respectivos volúmenes en que fueron colocados los recipientes

Cuando el agua de dilución terminó su proceso de agitación, ésta fue conectada al equipo con el fin de completar cada una de las botellas hasta 300 ml.

El blanco y los estándares fueron los primeros en medir DBO ya que este nos aseguró que el equipo está funcionando correctamente.

- SST

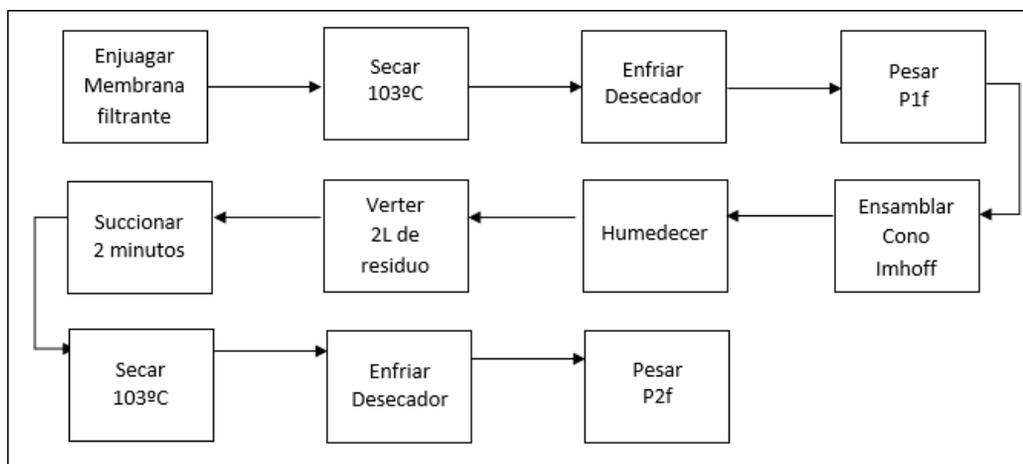
Los Sólidos Suspendidos Totales se consideran como la cantidad de residuos retenidos en un filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro nominal de 0.45 micras y hace referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual.

En la Figura 8 se evidencia la metodología utilizada para la realización de la técnica de sólidos suspendidos totales. Este procedimiento dio inicio con el lavado de la membrana filtrante que se utilizará posteriormente para la retención de los sólidos, esta fue montada en una cápsula o crisol para llevarla al horno de precalentamiento a 103°C y retirar la humedad. Una vez seca, se debe dejar enfriar en el desecador para luego registrar su peso (P1f).

Dicho filtro fue ensamblado en el cono Imhoff y humedecido con el fin de pegarlo a las paredes, se tomaron 2 litros de la muestra a evaluar y se vertieron con el fin de dejarla succionar durante 2 minutos. Finalmente se retiró la membrana filtrante y se llevó al horno para dejarla secar y registrar su peso (P2f).

**Figura 8.**

*Diagrama de bloques SST*



**Nota.** Este diagrama representa los pasos a seguir para realizar la técnica de SST en la EAAB

- SSED

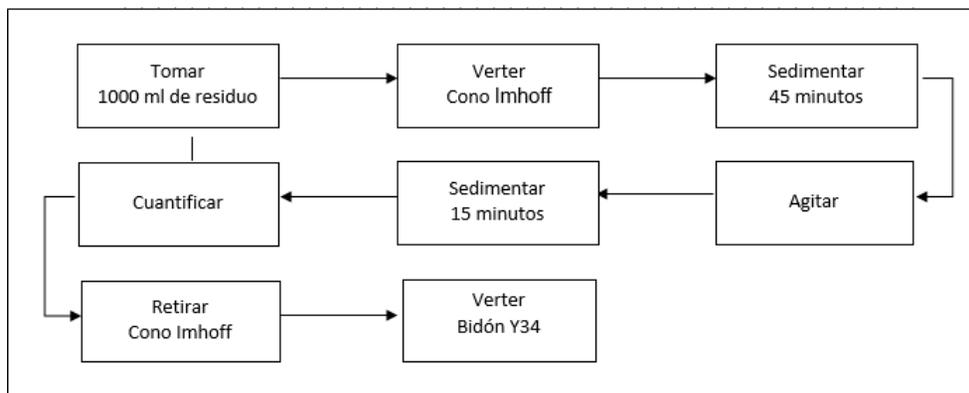
Los sólidos sedimentables son aquellos que tienen un tamaño de 10µ y que se

desprenden de la suspensión en un tiempo determinado y están constituidos por partículas más densas que el agua.

Como se observa en la Figura 9 la técnica inicia con la recolección de 1000 ml de muestra en un beaker, el líquido es posteriormente vertido en un cono Imhoff para dejarlo sedimentar por 45 minutos. Tras este tiempo se agita el fluido con una varilla de vidrio raspando las paredes del cono y se vuelve a dejar sedimentar por 15 minutos. Finalmente se realiza la cuantificación de los sólidos sedimentados.

**Figura 9.**

*Diagrama de bloques medición sólidos sedimentables*



**Nota.** Este diagrama representa los pasos a seguir para realizar la técnica de sólidos sedimentables en la EAAB

**Figura 10.**

*Vertimiento de la muestra*



**Nota.** Esta imagen muestra la técnica de sólidos sedimentables en la EAAB

- Metales

La presencia de metales en aguas puede provocar efectos benéficos, nocivos e incluso pueden originar eventos peligrosamente tóxicos. Es por esto que se determinó la concentración de la plata presente en el residuo, ya que una vez se obtienen los resultados se pueden analizar los efectos que este podría tener al ser vertido por el alcantarillado público.

Esta técnica se realiza a través de una espectrometría de absorción atómica de llama y de una espectrometría de emisión ICP. Estas técnicas se fundamentan en la propiedad que tienen los elementos para absorber y emitir luz en unas determinadas longitudes de ondas características, cuando son estimulados adecuadamente. El espectro de emisión-absorción de un elemento es específico y por ello permite la cuantificación selectiva de los elementos, ya que este efecto es directamente proporcional a la concentración del analito en estudio.

Para empezar este análisis se alistaron los siguientes materiales y se realizó el respectivo lavado con agua desionizada.

- Beaker de 50 ml
- Pipeta
- Vidrio de reloj
- Embudos de filtración
- Papel filtro
- Balones aforados de 50 ml

Se tomaron 50 ml de muestra (residuo proveniente de la técnica de determinación de cloruros) y se le añadieron 5 ml de ácido nítrico. Como se muestra en la Figura 11 esta solución fue llevada a una plancha de calentamiento la cual estaba a 400°C por aproximadamente 1 hora.

### **Figura 11.**

#### *Solución en calentamiento*



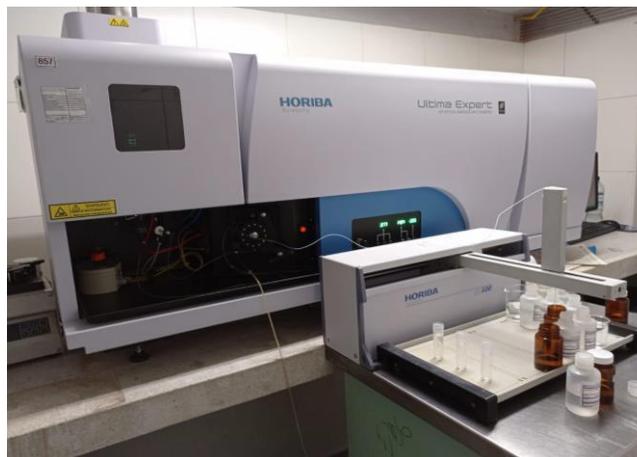
**Nota.** La técnica se hizo por duplicado con el fin de comparar los resultados obtenidos

Tras pasar el tiempo se observó que se había evaporado más del 50% de la muestra, quedando así alrededor de 20 ml. Esta cantidad se deja enfriar y posteriormente es filtrada en un balón aforado, para completar la medida de dicho instrumento se adiciona agua destilada y una vez se obtengan de nuevo 50 ml este es vertido en un envase plástico.

Para finalizar, la solución se llevó al equipo que se muestra en la Figura 12 el cual nos arroja los resultados.

### **Figura 12.**

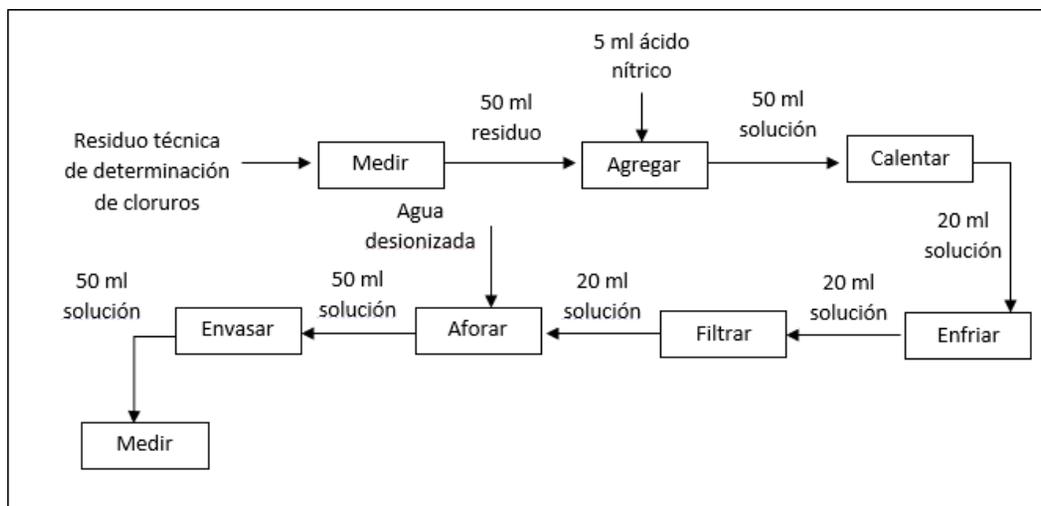
#### *Espectrofotómetro de emisión ICPlasma*



**Nota.** En esta imagen se muestra el equipo ICP plasma

**Figura 13.**

*Diagrama de bloques metales*



**Nota.** Este diagrama representa los pasos a seguir para realizar la técnica de metales en la EAAB

Para finalizar en la tabla 5 se evidencia un resumen de los análisis que se realizaron en 4 diferentes días junto con sus resultados.

**Tabla 5.**

*Resumen análisis laboratorio.*

Análisis	Unidades	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
SST	(mg/L)	9	12	12	10
SSED	(ml/L)	0	0	0	0
DQO	(mg/L O <sub>2</sub> )	1255	1195	1265	1220
DBO	(mg/L)	8	11	11	10
pH	---	5,812	6,075	5,998	5,911
Plata	(µg/L)	2,9154	7,0643	10,2821	6,8869

**Nota.** En esta tabla se evidencian los resultados del laboratorio obtenidos en 4 días diferentes

### 3. PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS

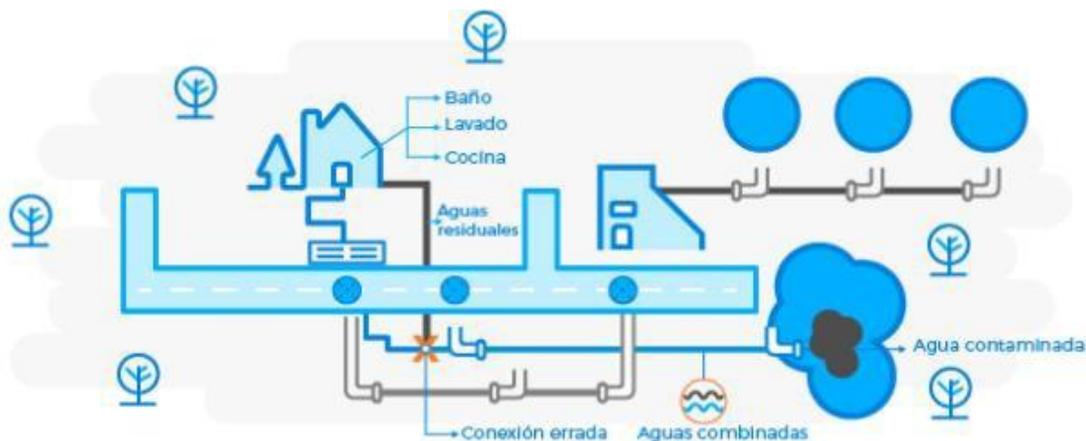
Toda institución que genere residuos peligrosos debe contar con un plan de manejo de residuos, este es un documento donde se encuentran las condiciones y medios necesarios para realizar una adecuada gestión de residuos, dependiendo del tipo de residuos que generen, en el caso del laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá son residuos líquidos peligrosos que serán clasificados dependiendo de donde provienen y qué compuestos contiene, a lo largo de este capítulo se explicarán las normas para la clasificación y el diseño de un plan de manejo de residuos.

#### 3.1 Impactos potenciales por mal manejo de residuos

El vertimiento de residuos líquidos peligrosos al alcantarillado público puede generar distintos impactos negativos hacia el medio ambiente, ya que como se observa en la figura 8, cuando una vivienda, industria o establecimiento comercial maneja conexiones erradas, es decir que la tubería de alcantarillado de aguas lluvias se conecta con la de aguas residuales, se genera contaminación a los cuerpos de agua superficiales como ríos, quebradas y humedales.

**Figura 14.**

*Conexión errada*



*Nota:* En esta imagen se evidencia como ocurre una conexión errada tomada de: [https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/buen-uso-del-sistema-de-alcantarillado/preguntas-sobre-el-buen-uso-del-sistema-de-alcantarillado!/ut/p/z0/04\\_Sj9CPykyssy0xPLMnMz0vMAfIjo8zizQKdDQwtDiz8LNxMLQ0CA40CjQMNQj38PUz0C71dFQFg8jP5/](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/buen-uso-del-sistema-de-alcantarillado/preguntas-sobre-el-buen-uso-del-sistema-de-alcantarillado!/ut/p/z0/04_Sj9CPykyssy0xPLMnMz0vMAfIjo8zizQKdDQwtDiz8LNxMLQ0CA40CjQMNQj38PUz0C71dFQFg8jP5/)

Algunas de las afectaciones que produciría la mala gestión de residuos son las siguientes.

- Aguas superficiales y subterráneas: Afectación en la calidad del agua alterando de manera negativa las características por los contaminantes químicos que contienen los residuos amenazando así la vida acuática e interfiriendo en el medio ambiente fluvial, marino y costero.
- Suelos y geomorfología: Hay un cambio en las propiedades físicas, químicas y de fertilidad en el suelo por reducción de la actividad microbiana, crecimiento irregular, pérdida de biomasa o muerte de plantas sensibles a sustancias químicas, por presencia de grasas, metales pesados y ácidos.
- Atmosféricos: la liberación de residuos líquidos peligrosos al medio ambiente puede ocasionar consecuencias negativas en la calidad del aire por emisiones de algunos gases como el metano, dióxido de carbono entre otros, estos gases generan un efecto invernadero en la capa de ozono.
- Flora y fauna: El equilibrio ecológico se ve afectado ya que los cuerpos de agua superficiales son incapaces de absorber y neutralizar la carga contaminante. Como consecuencia se pierden las condiciones naturales de estas y por lo tanto la capacidad para sustentar una vida acuática no es la adecuada.

En el anexo 1 se evidencia una matriz de aspectos e impactos ambientales de las actividades que realiza el laboratorio de la EAAB, incluyendo algunas situaciones de emergencia que se pueden llegar a presentar.

La construcción de esta matriz se basó en la que está diseñada por la Secretaría de Salud de Bogotá. Esta consta de 11 aspectos los cuales fueron proceso, actividades, regularidad, aspecto ambiental, impacto ambiental, alcances, probabilidad, duración, recuperabilidad, cantidad y requisito legal. A los últimos 6 aspectos se les da una calificación de 1, 5 o 10 según qué tan grave es el impacto ambiental que genera, ya para finalizar se multiplican los valores y se da una significancia.

### **3.2 Requisitos mínimos de desempeño de laboratorio**

El laboratorio de aguas residuales genera residuos líquidos peligrosos, para tener un

buen manejo de ellos es importante realizar:

- Etiquetado
- Documentación de cantidades producidas
- Manejo de los recipientes de residuos peligrosos
- Rutas sanitarias
- Procedimientos de respuesta a emergencias
- Capacitaciones al personal

### 3.3 Clasificación de los residuos peligrosos

En la tabla 6 se evidencia la clasificación de los residuos líquidos peligrosos planteados en el decreto 1076 de 2015.

**Tabla 6.**

*Clasificación residuos*

NOMBRE DEL RESIDUO PELIGROSO	PICTOGRAMA	CLASIFICACIÓN DEL RESIDUO
Cianurados		A4140

---

**Químicos Ácidos**



**Y34**

---

**Químicos Básicos**



**A4090**

---

**Coloreados**



**A4140**

---

**Solventes orgánicos  
halogenados**



**A3150**

---

*Nota.* Esta tabla muestra la clasificación de los residuos líquidos peligrosos. Tomado de:  
<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/526371/Decreto+4741+2005+PREVENCION+Y+MANEJO+DE+REIDUOS+PELIGROSOS+GENERADOS+EN+GESTION+INTEGRAL.pdf/491df435-061e-4d27-b40f-c8b3afe25705>

### **3.4 Plan de manejo de residuos peligrosos**

Se denomina plan de manejo de residuos al conjunto de medidas enfocadas a las

actividades de prevención, minimización, tratamiento, almacenamiento, transporte y/o disposición final de los desechos producidos en la industria, con el fin de establecer líneas de acción estratégica, así como también la definición de las responsabilidades y roles para la ejecución de este, cuidando al personal y el medio ambiente.

Este incluye diferentes aspectos como lo son:

- **Identificación:** La identificación de residuos peligrosos consiste en reconocer cuales son las técnicas de dónde proviene el desecho, incluyendo el tipo de muestra que se está analizando y los químicos que son adicionados.

Un residuo es considerado peligroso cuando independientemente de su estado físico presenta alguna o más de las características de peligrosidad como corrosividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad. [22]

- **Segregación de la fuente:** La segregación de la fuente es el proceso fundamental para generar una adecuada gestión de residuos, este consiste en la separación selectiva inicial de los residuos procedentes de cada una de las fuentes determinadas. De este modo; se da inicio a una cadena de actividades y se colabora activamente en la generación de una economía más limpia y sostenible.
- **Centro de acopio y rutas sanitarias:** El centro de acopio y las rutas sanitarias van de la mano, ya que estas son el camino establecido que deben seguir los residuos originados en diferentes puntos al respectivo lugar de almacenamiento. Este transporte debe realizarse mediante el uso de carros contenedores o transportadores.
- **Plan de contingencia:** Conjunto de procedimientos que permite el buen funcionamiento de las instalaciones de trabajo cuando se presentan incidentes tanto internos como ajenos a la organización.

Este consta de dos aspectos, prevención y solución, en donde como su nombre lo menciona el primer aspecto su finalidad es tomar de manera anticipada ciertas medidas o disposición con el fin de evitar que suceda un evento negativo; por otro lado, el segundo aspecto plantea respuestas eficaces para dar control o finalidad a la amenaza.

- Comité de gestión ambiental: La conformación de un comité de gestión ambiental es de suma importancia, ya que ellos van a ser los encargados de velar y promover el cumplimiento de los lineamientos del plan que se ha puesto en marcha, además de informar a todos los trabajadores sobre la normatividad ambiental vigente, proponer las estrategias para el buen funcionamiento, capacitar al personal sobre nuevas medidas ambientales, entre otras.
- Formación y capacitación: La capacitación de personal dentro del mundo empresarial son las acciones formativas que una empresa pone a disposición de sus trabajadores para que obtengan más conocimientos y habilidades a la hora de desarrollar su puesto de trabajo [23].

El comité de gestión ambiental es el encargado de realizar las capacitaciones, como objetivo se plantean formar a todo aquel que labore dentro de las instalaciones donde se implementa el plan de manejo de residuos, esto con el fin de lograr que el personal involucrado esté lo mejor formado posible y por lo tanto pueda usar ese conocimiento en pro del laboratorio.

- Monitoreo y evaluación: En este último aspecto se plantean las acciones de monitoreo y ejecución de seguimientos internos que permitirán de manera continua evaluar el estado de ejecución del Plan de Gestión Integral de Residuos y desarrollar los ajustes pertinentes e informar los resultados a los trabajadores.

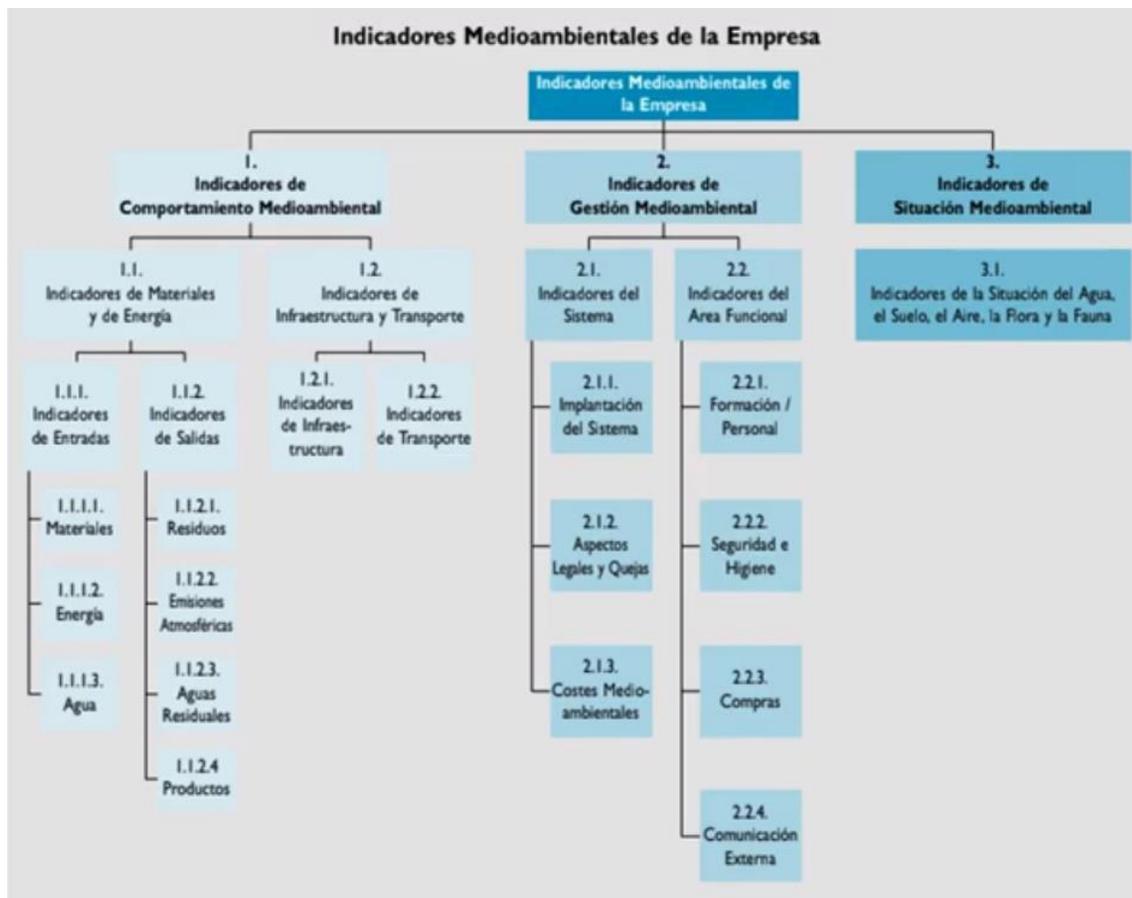
Al igual que en el anterior aspecto, el comité de gestión ambiental es el encargado de garantizar el buen funcionamiento del plan de manejo de residuos, ya que por medio de los indicadores ambientales se mide objetivamente la evaluación de un proceso o una actividad.

A la hora de implementar los indicadores de gestión del medio ambiente se debe tener en cuenta la ISO 14031, ya que esta norma proporciona un método planificar - hacer - verificar - actuar que permite al comité recoger información sobre el desempeño ambiental.

En la Figura 9 se evidencian los tres tipos básicos de indicador del rendimiento medioambiental

Figura 15.

Indicadores Medioambientales



**Nota.** los tres tipos básicos de indicador del rendimiento medioambiental tomado de: ISO Sistemas de gestión ISO 14031:2013 Indicadores Ambientales

#### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROCESO PARA LA REMOCIÓN Y RECUPERACIÓN DE LA PLATA METÁLICA**

A lo largo de este capítulo se explica la importancia y el valor que generaría recuperar la plata, tanto a nivel económico como ambiental. De igual manera, se ilustra y explica el funcionamiento de los diferentes métodos que existen para realizar dicho proceso y finalmente se plantea una matriz de selección para escoger el más beneficioso para el laboratorio del Acueducto.

##### **4.1 Fuentes de la plata**

La plata es un elemento químico que existe naturalmente en el ambiente. Esta puede ser liberada mediante procesos naturales como la erosión de las rocas o la actividad humana como el procesamiento de minerales, manufactura de cemento, la quema de combustibles fósiles, entre otros.

##### **4.2 Importancia de tratar el residuo**

Desde el punto de vista ambiental y de salud pública, la importancia del manejo adecuado de los residuos permite mitigar los impactos negativos sobre el ambiente, la salud y reducir la presión sobre los recursos naturales. Además de también aportar en el cumplimiento de 4 de los 17 objetivos de desarrollo sostenible planteados por la ONU y apoyar la economía circular.

Haciendo énfasis en el residuo proveniente de la técnica de cloruros, es importante tratar y disponer éste de manera correcta, ya que cuando se presentan altos niveles de este metal puede llegar a provocar repercusiones en la salud humana.

La argiria es una enfermedad producida por una larga exposición a la plata en forma de sales, esta se caracteriza por un descoloramiento azul-grisáceo de la piel y otros órganos. De igual manera la exposición a altos niveles de plata en el aire puede llegar a provocar problemas respiratorios, dolores de estómago e irritaciones en la garganta y en el pulmón.

### 4.3 Usos de la plata

Desde el punto de vista químico, la plata es uno de los metales pesados y nobles; desde el punto de vista comercial, es un metal precioso.

En la Tabla 7 se muestran algunas de las propiedades químicas de la plata.

**Tabla 7.**

*Propiedades químicas de la plata*

<b>Propiedades químicas</b>	
<b>Nombre</b>	Plata
<b>Número atómico</b>	47
<b>Masa atómica (g/mol)</b>	107,87
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup> a 20°C)</b>	10,5
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	2212
<b>Punto de fusión (°C)</b>	962

**Nota.** Esta tabla muestra algunas propiedades químicas de la plata. Tomado de LENNTECH, [En línea]. Disponible: <https://www.lennotech.es/periodica/elementos/ag.htm>. [Acceso: 5 Nov 2021]

Históricamente, este metal precioso se utilizaba únicamente en la fabricación de monedas, cubiertos y joyas. Sin embargo, gracias a los nuevos descubrimientos de sus propiedades mecánicas la plata pasó a ser un material de innovación.

**Tabla 8.**

*Propiedades mecánicas de la plata*

---

<b>Propiedades</b>	
<b>Ductilidad</b>	Se puede batir en láminas extremadamente delgadas
<b>Maleabilidad</b>	Capaz de ser moldeado o doblado
<b>Conductividad</b>	Excelente conductor eléctrico y térmico. Tiene la conductividad eléctrica y térmica más alta de cualquier metal
<b>Solubilidad</b>	Capacidad de disolverse
<b>Dureza</b>	Un metal relativamente blando
<b>Densidad</b>	Es un metal denso

---

*Nota.* Esta tabla muestra las propiedades mecánicas de la plata. Tomado de GEOLOGIAWEB "Usos de la plata", [En línea]. Tomado de. <https://geologiaweb.com/minerales/usos-plata/>. [Acceso: 5 Nov 2021]

En la mayor parte de sus aplicaciones, la plata se alea con uno o más metales. Hoy en día en Colombia sus principales usos son: Industria (Eléctrica y electrónica; soldadura, fotografía), joyería, monedas, lingotes y cubiertos.

#### **4.4 Métodos de recuperación de plata metálica**

Los procesos de separación de plata son de gran importancia en algunas industrias, estos procesos están normalmente enfocados en lograr la eliminación de alguna

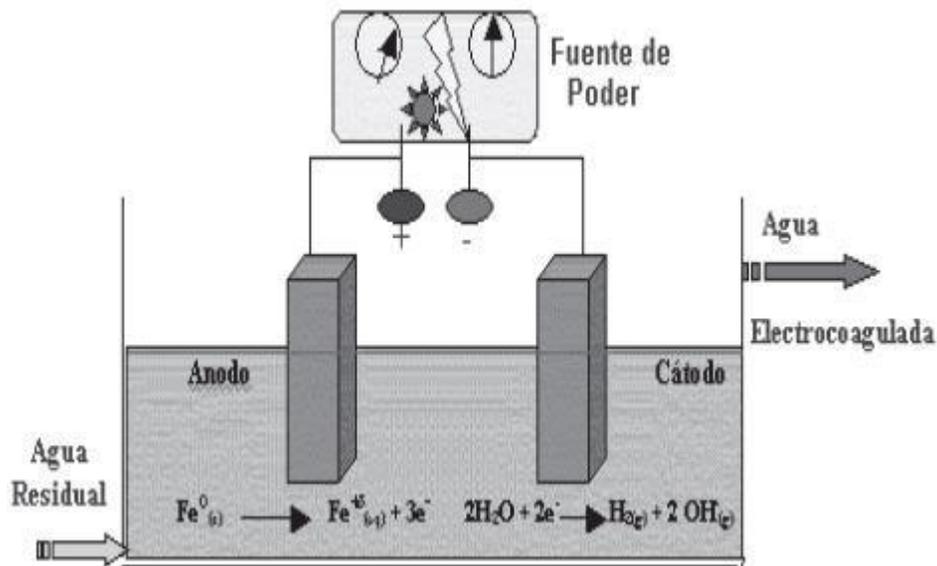
sustancia no requerida para así aumentar el valor añadido de la especie de interés, los procesos que se explican a lo largo del documento se utilizan para recuperar plata proveniente de residuos peligrosos

#### 4.4.1 *Electrólisis*

Este proceso (Figura 16) se realiza en un medio rico en plata donde existe un ánodo y un cátodo por este pasa una corriente directa, durante el proceso los electrones se transfieren del cátodo hacia el ion plata cargado positivamente, en el proceso el ion se convierte en plata en estado metálico, la cantidad de corriente y la duración del proceso determinan la cantidad y la calidad de plata que se recupera en el proceso. Este proceso puede alcanzar una pureza de la plata de casi el 99% [26].

**Figura 16.**

*Electrocoagulación*



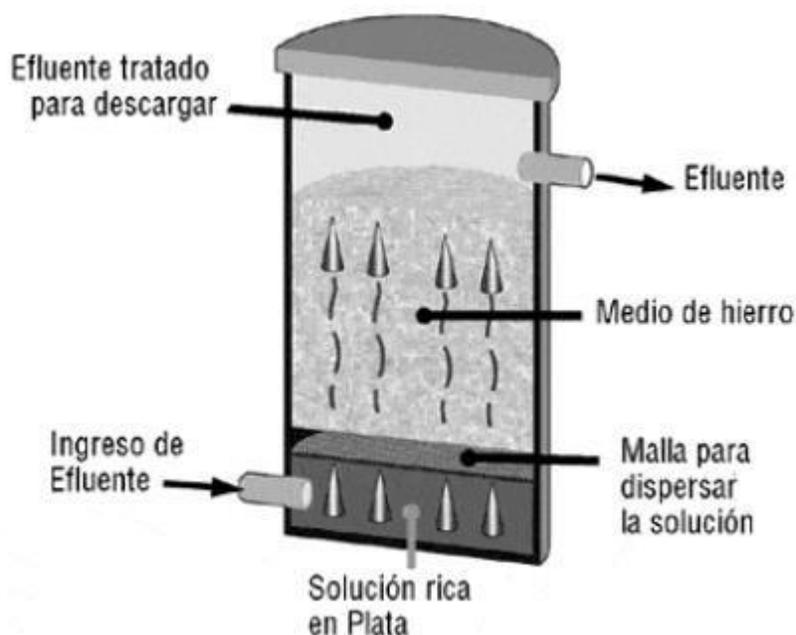
**Nota.** En esta imagen se observa el proceso de electrólisis Tomado de. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, volumen 8, No. 14, pp. 39 - 50 - ISSN 1692 - 3324 /158 p. Medellín, Colombia

#### 4.4.2 Cartuchos de recuperación química

El proceso se compone de un cartucho que contiene un metal más activo que la plata, usualmente se utiliza el hierro por sus características, su presentación puede ser en lanas, virutas, placas o espiral dependiendo del fabricante, al ingresar el efluente, la solución rica en plata se precipita y el hierro se consume, el método puede ser utilizado en serie, es un método de bajo costo y por su tamaño y composición de fácil instalación y operación sin embargo suele ser pesado por algunos materiales que son usados en la construcción de las cubetas, el vertimiento de residuos de este puede no cumplir con la normativa ambiental [26].

**Figura 17.**

*Cartucho de recuperación química*



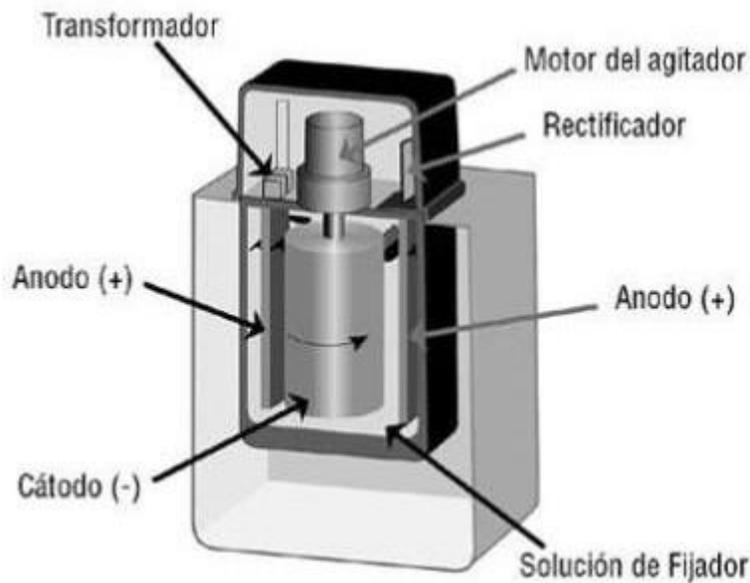
**Nota.** En esta imagen se observa el proceso de cartuchos de recuperación química Tomado de. Ingeniero Carlos D. Giuliano en la PMA: La recuperación de la plata en los procesos fotográficos.

#### 4.4.3 Desplatizadores electrolíticos

Este método es un método electrolítico, mediante el paso de corriente se puede reducir la plata, en el equipo hay dos electrodos en uno circula la solución que contiene plata y

el otro gira en la solución, en una unidad de estas se puede llegar a una recuperación del 95% con alta pureza, además de cumplir con la normativa ambiental para vertimientos, sin embargo el costo inicial es alto y el consumo de electricidad es significativamente alto [26].

**Figura 18.**  
*Desplatizador electrolítico*



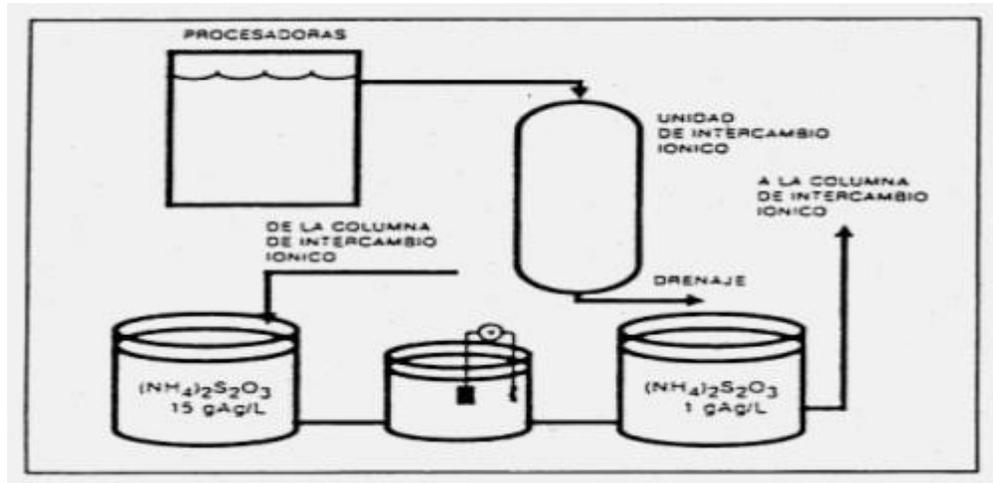
**Nota.** En esta imagen se observa el proceso de desplatizador electroquímico Tomado de. Ingeniero Carlos D. Giuliano en la PMA: La recuperación de la plata en los procesos fotográficos.

#### **4.4.4 Desplatizado por intercambio iónico**

Este método se realiza mediante un intercambio de iones en dos fases que no son miscibles, se remueve la plata en un proceso reversible que realiza un intercambio de iones entre una resina en estado sólido y la solución, el fluido fluye a través de una columna que contiene la resina, a este proceso se le llama agotamiento, el siguiente paso es lavar con tiosulfato de amonio, para repetir el paso anterior y así liberar la plata y procesarla, este proceso produce rendimiento de recuperación del 90% de la plata disponible, sin embargo su instalación requiere de una alta inversión [26].

**Figura 19.**

*Desplatizador intercambio iónico*



**Nota.** En esta imagen se observa el proceso de desplatizador por intercambio iónico Tomado de. Ingeniero Carlos D. Giuliano en la PMA: La recuperación de la plata en los procesos fotográficos.

#### **4.4.5 Evaporación / destilación**

El proceso genera una solución de masa espesa sólida rica en plata que después debe ser sometida a un tratamiento que reduzca y purifique el metal, esto con el fin de disminuir los volúmenes de la solución y así facilitar la manipulación, para generar una mejor destilación se hace uso de un efecto combinado que consiste en usar de vacío y un bomba con calentador, obteniendo una destilación a bajas temperaturas, con esta técnica se puede recuperar de un 80 a 100% de la plata contenida en el residuo, es una técnica totalmente autónoma no requiere de un mantenimiento especial, sin embargo tiene un alto consumo de energía [26].

#### **4.5 Matriz de selección**

Para determinar el mejor método de recuperación de plata que se ajuste a las necesidades del laboratorio, se realiza una matriz de selección con los criterios importantes a tener en cuenta, a cada criterio y alternativa se le da un valor, esta calificación se realiza acompañada del técnico especialista del laboratorio.

Para la elección se hace uso de una matriz de Pugh (método de Pugh) que es un proceso sistemático que selecciona la mejor opción, teniendo en cuenta los criterios en este caso elegidos para realizar la elección de la mejor técnica de recuperación de plata teniendo en cuenta las prioridades y necesidades que tiene el laboratorio y que fueron hablados previamente con el técnico especialista del laboratorio. Esta herramienta es cuantitativa y permite comparar diferentes opciones dándole un valor a cada una.

**Tabla 9.**

*Matriz de selección*

Criterio	Matriz de selección		
	Electrolisis	Alternativas	
		Desplatazador electrolitico	Desplatazador intercambio ionico
Tamaño	4	4	2
% de recuperación	5	3	3
Costos de mantenimiento	3	3	3
Consumo de energía	3	2	3
Costos de instalación	3	2	2
Normativa ambiental	4	3	3
Puntaje total	22	17	16
Técnica elegida	Electrolisis		

**Nota.** en esta tabla se muestran los criterios que se tuvieron en cuenta para elegir la mejor técnica de recuperación de plata.

A cada criterio se le dio un valor dependiendo de la necesidad del laboratorio, el puntaje que se le dio a cada uno es de 1 a 5

- Tamaño: En este criterio se tuvo en cuenta el tamaño con el que contaba el laboratorio para instalar el equipo de recuperación, donde:

- 1= Muy Grande
- 2= Grande
- 3= Mediano
- 4= Pequeño
- 5= Muy pequeño

Entre más pequeño el equipo mejor, según las necesidades del laboratorio

- % de recuperación: En este criterio se tuvo en cuenta el porcentaje de recuperación de cada una de las alternativas donde:

1=Muy bajo

2=Bajo

3=Medio

4=Alto

5=Muy alto

Entre más alto el porcentaje de recuperación es mejor, según las necesidades del laboratorio

- Costos de mantenimiento: En este criterio se tuvo en cuenta el valor de mantenimiento de cada una de las alternativas donde:

1=Muy alto

2=Alto

3=Medio

4=Bajo

5=Muy Bajo

Entre más bajo el costo de mantenimiento mejor según las necesidades del laboratorio

- Consumo de energía: En este criterio se tuvo en cuenta el consumo de energía de cada una de las alternativas donde:

1=Muy alto

2=Alto

3=Medio

4=Bajo

5=Muy Bajo

Entre más bajo el consumo de energía mejor, según las necesidades del laboratorio

- Costos de instalación: En este criterio se tuvo en cuenta el valor de instalación de cada una de las alternativas donde:

1=Muy alto

2=Alto

3=Medio

4=Bajo

5=Muy Bajo

Entre más bajo el costo de instalación mejor, según las necesidades del laboratorio

- Normativa ambiental: En este criterio se tuvo en cuenta el impacto ambiental que generaban los residuos de cada una de las alternativas donde:

1=Muy alto

2=Alto

3=Medio

4=Bajo

5=Muy Bajo

Entre más bajo el impacto ambiental mejor, según las necesidades del laboratorio

## 5. METODOLOGÍA

La técnica que se va a explicar en este capítulo es la de determinación de cloruros, es importante identificar el procedimiento que se realiza en el laboratorio donde se genera el residuo de interés, las propiedades físicas, propiedades químicas y riesgos del nitrato de plata ya que este es el compuesto químico del que se desea recuperar la plata, todo esto se realiza con el fin de obtener la información necesaria y así elegir el método más adecuado para la recuperación de la plata.

### 5.1 Técnica de determinación de cloruros

Como anteriormente se mencionó para realizar la técnica de determinación de cloruros por el método potenciométrico se utiliza una unidad intercambiable que contiene el titulante  $\text{AgNO}_3$  0.0141 N.

Este compuesto es el que le da un valor agregado al residuo que se genera en esta técnica, ya que la plata al ser un metal precioso y tener un valor económico se puede recuperar y generar ingresos, además de apoyar a la economía circular.

Cabe resaltar que no siempre se va a utilizar la misma cantidad de nitrato de plata en todas las muestras de agua tratada que lleguen al laboratorio, puesto que esto depende de la concentración de cloruros que tenga cada una. Cuando el agua ha sido sometida a procesos de cloración, como lo es en este caso, los rangos de concentración van de 40 a 63 mg/L.

Es importante conocer la ficha de seguridad de este compuesto ya que dependiendo de sus propiedades y otros criterios se determinará cuál es el método más adecuado para recuperar la plata metálica. A continuación, en la tabla 8 se evidencian las propiedades físicas y químicas del nitrato de plata.

**Tabla 10.***Propiedades físicas y químicas del nitrato de plata*

Nombre de la sustancia	Nitrato de plata
Número Cas	7761-88-8
Fórmula molecular	AgNO <sub>3</sub>
Masa molar	169,9 g/mol
Color	incoloro
Olor	inodoro
pH	4-6(agua: 100 g/l)
Punto fusión/Punto de congelación	210 °C
Punto de inflamación	No aplica
Punto de ebullición	440°C
Densidad	4,35 g/Cm <sup>3</sup>
Temperatura de descomposición	>440°C

**Nota.** Esta tabla muestra las propiedades físicas y químicas del nitrato de plata

**Tabla 11.***Peligrosidad del Nitrato de plata*

Palabra de advertencia	Peligro
Pictogramas	
Indicación de peligro	-Puede agravar un incendio; Comburente -Puede ser corrosivo -Provoca quemaduras graves en la piel - Tóxico para los organismos acuáticos.

**Nota.** Esta tabla muestra los datos de toxicidad del Nitrato de plata

**Tabla 12.***Primeros auxilios*

Generales	Quitarse la ropa manchada o salpicada
En caso de inhalación	Proporcionar aire fresco
En caso de contacto con la piel	Lavarse inmediatamente y abundantemente con mucha agua
En caso de contacto con los ojos	Aclarar inmediatamente los ojos abiertos con agua durante 10 a 15 minutos
En caso de ingestión	lavas la boca inmediatamente y beber agua en abundancia

**Nota.** Esta tabla muestra los pasos que se deben seguir en caso de tener algún contacto con el nitrato de plata, en todos los casos lo más recomendable es dirigirse a un centro médico

## 5.2 Fundamento teórico determinación de metales- tecnica absorción atómica y técnica de icp

Estas técnicas se fundamentan en la propiedad que tienen los elementos de absorber y

emitir luz en unas determinadas longitudes de ondas características, cuando son estimulados adecuadamente. El espectro de emisión-absorción de un elemento es específico y por ello permite la cuantificación selectiva de los elementos, ya que este efecto es directamente proporcional a la concentración del analito en estudio.

La técnica de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) consiste en generar una antorcha de plasma entre 6000 °K y 8000 °K por medio de la ionización de un flujo de gas argón a través de una radiofrecuencia que oscila alrededor de 27.1MHz. La antorcha es soportada por unos tubos de cuarzo que son refrigerados con agua. La muestra se transfiere a la antorcha de plasma con ayuda de un nebulizador, una vez en la antorcha los átomos son excitados y emiten un haz de luz característico a una longitud de onda de emisión específica para cada elemento; la intensidad de la emisión es proporcional a la concentración del elemento. (Ver **Figura 13. Diagrama de bloques metales**)

### **5.3 Fundamento teórico metodo de recuperación por electrolisis**

Este método es un proceso que realiza el cambio de energía eléctrica a energía química mediante choques eléctricos en un medio conductor de energía, esta solución acuosa o de sales disueltas permite la transferencia de iones de electrodo a electrodo, estos están conectados a la corriente eléctrica directa, los cationes en este proceso migran al cátodo generando una reacción de reducción y volviendo a su estado elemental y los aniones migran al ánodo generando una reacción de oxidación.

Para mantener el proceso la corriente siempre debe ser constante y correcta, si el voltaje es más alto del requerido puede formarse sulfuro de plata sobre los electrodos y esto disminuiría la pureza de la plata que se va a recuperar.

El tiempo es un factor importante en el proceso, ya que se debe permitir el tiempo adecuado para que la recuperación sea la deseada.

Este método tiene una eficiencia mayor al 90%, aproximadamente un 99% puede llegar a recuperarse de la solución, sin embargo, es necesario realizar un proceso de tratamiento posterior al electrólisis para bajar la concentración de plata [26].

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos en la investigación realizada junto con sus respectivos análisis.

### **6.1 Clasificación de residuos líquidos peligrosos**

A partir de los resultados obtenidos en la identificación de los residuos líquidos peligrosos producidos en el laboratorio de aguas, durante los días de monitoreo, se clasificaron los residuos peligrosos, mediante la identificación se realizó un aproximado de la cantidad de residuos líquidos peligrosos que se generan en el laboratorio mensualmente

A lo largo de cuatro meses se presentaron variaciones en cuanto a la cantidad de residuos líquidos peligrosos, se observó que en el mes de mayo se obtuvo la mayor cantidad de residuos líquidos peligrosos con un peso de 410 kg en cambio la menor cantidad de residuos líquidos peligrosos se registra en el mes de febrero con un peso de 210 kg.

El mayor porcentaje de residuos líquidos peligrosos se genera en las técnicas que producen residuos A4140 (según la clasificación del decreto 4741 de 2005) que para el mes de mayo generaron el 65,37% de los residuos líquidos peligrosos producidos en el laboratorio.

Uno de los factores que afecta la disminución de residuos líquidos peligrosos producidos en el laboratorio es la baja actividad en análisis realizados por el laboratorio de aguas.

### **6.2 Diagnóstico ambiental**

Es de vital importancia realizar un diagnóstico para el diseño de un plan de manejo de residuos que se acomode a las necesidades del laboratorio de la empresa y que cumpla con los parámetros establecidos por las normas, por esta razón se toma como guía una versión actualizada de la “guía práctica para la elaboración e implementación del PGIRHS”, publicada por parte de la Subdirección Red Nacional de Laboratorios (SRNL) del Instituto Nacional de Salud (INS) en el 2010. Este documento se toma como guía y se acomoda a las necesidades, espacio y residuos que se tienen en el laboratorio de la

empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá.

### **6.2.1 Acondicionamiento**

En el laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá la gestión de residuos líquidos no era la adecuada y por esta razón en las auditorías presentaban no conformidades por una inadecuada gestión de residuos.

El área posee aspectos que deben ser mejorados como la ubicación del centro de acopio temporal ya que no cuentan con uno y este es requerido para que un laboratorio pueda trabajar adecuadamente. De igual manera las condiciones en las que se transportan los residuos líquidos peligrosos no es la indicada, la persona encargada no hace uso de los elementos de seguridad requeridos para transportar internamente los residuos.

### **6.2.2 Segregación**

No se realiza la separación adecuada de residuos líquidos peligrosos generados en las diferentes técnicas, algunos de los residuos son vertidos por el drenaje sin realizar un tratamiento adecuado. El personal del laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá no tiene el conocimiento necesario sobre la compatibilidad de los residuos líquidos producidos y no colocan todos los residuos en el recipiente correspondiente.

### **6.2.3 Almacenamiento intermedio**

En cada área del laboratorio destinan un espacio muy reducido para almacenar los bidones de los residuos líquidos peligrosos, no es el espacio ideal ya que muchos residuos no tienen la compatibilidad y se pueden ocasionar accidentes.

### **6.2.4 Almacenamiento y disposición final**

El laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá no cuenta con el área de almacenamiento, sus condiciones internas por espacio no son las adecuadas para destinar un espacio adicional.

El almacenamiento de los residuos líquidos debe realizarse de acuerdo con su composición química, por lo cual se deben tener los recipientes adecuados para la segregación de estos.

Estos recipientes deben facilitar el transporte y limpieza, deben ser herméticos y plásticos para evitar la corrosión, deben estar debidamente etiquetadas para que la identificación del residuo sea fácil.

Los residuos líquidos algunos son descartados por el desagüe sin ningún tipo de tratamiento de desactivación, otros residuos si son correctamente clasificados y almacenados en bidones y entregados a una empresa externa encargada de su disposición final.

### **6.3 Propuesta plan de manejo de residuos en el laboratorio de aguas de la EAAB**

El plan de manejo de residuos, además de ser una obligación legal para todos los sectores, en el caso del laboratorio es importante implementarlo para generar conciencia y dar herramientas a los analistas y demás personal del laboratorio, además de realizar una gestión y manejo seguro de los residuos para no ocasionar impactos negativos al medio ambiente.

La siguiente propuesta tiene como finalidad un mejor manejo de residuos procurando la mayor efectividad económica, social y ambiental, en concordancia con las leyes y normas establecidas, a lo largo de este capítulo se desarrollará la mejor opción de un plan de manejo de residuos para el laboratorio de aguas del acueducto de Bogotá

#### **6.3.1 *Plan de manejo de residuos***

El Manual de Gestión Integral de Residuos del laboratorio de agua residual y tratada de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá será una guía para la implementación de buenas prácticas de gestión para prevenir efectos adversos a la salud y al ambiente por el inadecuado manejo de los residuos líquidos, desde la etapa de generación hasta su disposición final este debe ser cumplido por cada uno de los funcionarios del laboratorio.

#### **6.3.2 *Estructura***

Con el fin de llevar a cabo el plan de manejo de residuos líquidos peligrosos dentro del laboratorio de aguas de la EAAB se establecen los siguientes aspectos para un mejoramiento continuo del sistema de gestión y verificar el cumplimiento de las tareas.

6.3.2.a Identificación. Para llevar a cabo una gestión integral interna de los residuos es de vital importancia identificar los químicos adicionados en las 72 técnicas realizadas en el laboratorio de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá ver Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15.

**Tabla 13.**

*Lista de Técnicas y Químicos adicionados.*

Técnica	Químicos adicionados
ACEITES Y GRASAS	Hexano y Acido clorhidrico
ACIDEZ	
ALCALINIDAD	Acido Sulfurico
ALUMINIO	Acido Nitrico
AMONIO	
ANTIMONIO	Acido Sulfurico
ARSENICO	Acido Sulfurico
BARIO	Acido Sulfurico
BERILIO	Acido Sulfurico
BORO	Acido Sulfurico
BTEX	Acido clorhidrico
CADMIO	Acido Sulfurico
CALCIO	Acido Sulfurico
CARBAMATOS	Acido acetico/metanol/acetoniitrilo
CARBONO INORGANICO TOTAL	
CARBONO ORGANICO TOTAL	Acido Sulfurico
CARBONO TOTAL	Acido Sulfurico
CIANURO DISOCIABLE	Hidroxido de sodio
CIANURO LIBRE	
CIANURO TOTAL	Hidroxido de sodio
CLORO LIBRE	Buffer y DPD
CLORO RESIDUAL	
CLORO TOTAL	
CLORUROS	Acido nitrico y cloruro de plata
COBRE	Acido Sulfurico

**Nota:** Esta tabla muestra las técnicas que se realizan en el laboratorio de aguas de la empresa de la EAAB de la A a la C

**Tabla 14.***Lista de Técnicas y Químicos adicionados.*

Técnica	Químicos adicionados
COLOR APARENTE	No se adiciona
COLOR VERDADERO	No se adiciona
CONDUCTIVIDAD	No se adiciona
CROMO	Acido Sulfurico
CROMO EXAVALENTE	Hidroxido de amonio/ hidroxido de sodio/ Acido sulfurico/ Difenil carbozida
DBO	
DQO	Dicromato/ Acido sulfurico/ Sulfato ferroso
DUREZA CALCICA	
DUREZA TOTAL	
ESTAÑO	Acido Sulfurico
ESTRONCIO	Acido Sulfurico
FENOLES TOTALES	Acido Sulfurico/ Antipiridina
FLUORUROS	No se adiciona
FOSFORO TOTAL	Acido sulfurico/ Hidroxido de sodio /fenoftaleina
FOSFORO TOTAL SOLUBLE	Acido sulfurico/ Hidroxido de sodio
HIDROCARBUROS TOTALES	
HIERRO	Acido Sulfurico
MAGNESIO	Acido Sulfurico
MANGANESO	Acido Sulfurico
MERCURIO	Acido Sulfurico
METALES FINAL	Acido Sulfurico
MOLIBDENO	Acido Sulfurico
MONOXIDO DE CARBONO	
NIQUEL	Acido Sulfurico
NITRATOS	

**Nota.** Esta tabla muestra las técnicas que se realizan en el laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, de la C a la N.

**Tabla 15.***Lista de Técnicas y Químicos adicionados.*

Técnica	Químicos adicionados
NITRITOS SOLIDOS	
NITROGENO AMONIACAL	Acido borico/Acido sulfurico
NKT	
ORGANOCOLORADOS/ORG ANOFOSFORADOS	
OXIGENO DISUELTO	Alcaliyoduro/ A cetato de zinc/ Sulfato Manganoso
PAH	
PH	No se adiciona
PLATA	Acido Sulfurico
PLOMO	Acido Sulfurico
SAAM	
SELENIO	Acido Sulfurico
SILICIO	Acido Sulfurico
SODIO	
SOLIDOS DISUELTOS	No se adiciona
SOLIDOS SOLUBLES TOTALES	No se adiciona
SOLIDOS SOLUBLES VOLATILES	No se adiciona
SOLIDOS SUSPENDIDOS	No se adiciona
SOLIDOS TOTALES	No se adiciona
SOLIDOS VOLATILES	No se adiciona
SULFATOS	Cloruro de bario y Buffer
SULFUROS	Acetato de zinc/ Hidroxido de sodio/ Tiosulfato de sodio
TALIO	Acido Sulfurico
TEMPERATURA	No se adiciona
TRIHALOMETANOS	
TURBIEDAD	No se adiciona
VANADIO	Acido Sulfurico
ZINC	Acido Sulfurico

Nota. Esta tabla muestra las técnicas que se realizan en el laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, de la N a la Z.

6.3.2.b Segregación en la fuente. Para una adecuada gestión la base fundamental es la clasificación y disposición de los residuos en los bidones correctos, de acuerdo con la clasificación según el decreto 1076 de 2015 los residuos producidos por cada técnica deben ser correctamente clasificados ver Tabla 16. Estos residuos serán puestos en bidones debidamente etiquetados.

**Tabla 16.***Clasificación residuos.*

Tecnica	Clasificacion (DECRETO 1076 DE 2015 ARTÍCULO 39)
ACEITES Y GRASAS	
ACIDEZ	
ALCALINIDAD	Y34
ALUMINIO	Y34
AMONIO	A4090
ANTIMONIO	Y34
ARSENICO	Y34
BARIO	Y34
BERILIO	Y34
BORO	Y34
BTEX	Y34
CADMIO	Y34
CALCIO	Y34
CARBAMATOS	A3140
CARBONO INORGANICO TOTAL	
CARBONO ORGANICO TOTAL	Y34
CARBONO TOTAL	Y35
CIANURO DISOCIABLE	A4140
CIANURO LIBRE	
CIANURO TOTAL	A4140
COLORO LIBRE	A4140
COLORO RESIDUAL	A4140
COLORO TOTAL	A4140
CLORUROS	Y34
COBRE	Y34
COLOR APARENTE	No aplica
COLOR VERDADERO	No aplica
CONDUCTIVIDAD	No aplica

CROMO	Y34
CROMO EXAVALENTE	A1040
DBO	
DQO	Y34
DUREZA CALCICA	A4090
DUREZA TOTAL	A4090
ESTAÑO	Y34
ESTRONCIO	Y34
FENOLES TOTALES	A4140
FLUORUROS	No aplica
FOSFORO TOTAL	Y34
FOSFORO TOTAL SOLUBLE	Y34
HIDROCARBUROS TOTALES	Y34
HIERRO	Y34
MAGNESIO	Y34
MANGANESO	Y34
MERCURIO	Y34
METALES FINAL	Y34
MOLIBDENO	Y34
MONOXIDO DE CARBONO	
NIQUEL	Y34
NITRATOS	Y34
NITRITOS SOLIDOS	Y34
NITROGENO AMONICAL	Y34
NKT	A4090
ORGANOCORADOS/ORGANOFOSFORADOS	A3150
OXIGENO DISUELTO	Y34
PAH	
PH	No aplica

PLATA	Y34
PLOMO	Y34
SAAM	
SELENIO	Y34
SILICIO	Y34
SODIO	No aplica
SOLIDOS DISUELTOS	No aplica
SOLIDOS SOLUBLES TOTALES	No aplica
SOLIDOS SOLUBLES VOLATILES	No aplica
SOLIDOS SUSPENDIDOS	No aplica
SOLIDOS TOTALES	No aplica
SOLIDOS VOLATILES	No aplica
SULFATOS	
SULFUROS	Y23
TALIO	Y34
TEMPERATURA	No aplica
TRIHALOMETANOS	A3150
TURBIEDAD	No aplica
VANADIO	Y34
ZINC	Y34

**Nota.** Esta tabla muestra las técnicas que se realizan en el laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá y la clasificación de sus residuos según el decreto 1076 de 2015

Según el artículo 7 de la ley 55 de 1993 y la norma NTC 1692 todos los frascos, envases, garrafas, tambores, tanques o vasijas que contengan cualquier tipo de sustancia química deben estar debidamente etiquetados y marcados con la identidad del producto químico que contiene este, debe incluir también las advertencias sobre riesgos, sus incompatibilidades de almacenamiento cerca a otras sustancias químicas peligrosas.

En la figura 20 se ilustra el etiquetado que se propone para este trabajo, dicho formato se debe rotular en cada uno de los bidones con el fin de implementar una adecuada

gestión de los residuos e informar al diferente personal que manipula o trabaja cerca de estos sobre su contenido y peligrosidad. De igual manera es importante identificar y marcar cuál de los pictogramas va acorde al residuo que se está almacenando, como se evidencia en la figura 21 este icono representa y sintetiza posibles riesgos o amenazas.

**Figura 20.**

*Formato de Etiquetado de Residuos Químicos*

ETIQUETA PARA RESIDUOS PELIGROSOS			
Fecha de embalaje		Dependencia	
Fecha de recolección		Peso (Kg)	
Tipo de residuo		Código	
Responsable		Nombre del respel	
Naturaleza del RESPEL			
Observaciones:			
Marcar con una x el riesgo que presenta			
			

**Nota.** Etiqueta para rotular los bidones donde se colocan los residuos peligrosos

**Figura 21.**

*Pictogramas del SGA*



**Nota.** en esta figura se observan los pictogramas utilizados para etiquetar los bidones tomado de. Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos. Naciones Unidad. 2015

6.2.3.c Manejo de recipientes y criterios para la recolección interna. Los recipientes que se deben utilizar para la recolección de residuos en el laboratorio salvo algunas excepciones deben ser livianos, de fácil manejo para la recolección, contruidos con un material rígido que no se corroa ejemplo el plástico, deben tener una tapa con buen ajuste para evitar derrames y no permitan la entrada de agua o el escape de líquidos o gases.

El laboratorio debe contar con recipientes especiales para el depósito de elementos corto punzantes, el recipiente debe ser resistente a rupturas y perforaciones, liviano, al desechar los elementos es importante tener en cuenta que no se deben desechar en bolsas o cajas.

Los residuos peligrosos generados en el laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, deben ser transportados al centro de acopio, para esto se propone una ruta sanitaria de residuos peligrosos y reactivos químicos (ver figura

28).

La movilización interna de estos residuos se debe realizar de manera segura y adecuada, esto implica el cumplimiento de una serie de requerimientos que buscan evitar los riesgos asociados a esta actividad como derrames, filtración o descarga, entre otros.

En el momento de transporte las hojas de recomendaciones donde se incluyen la identificación de los residuos y la prevención de medidas para su manipulación deben estar visibles para la persona que realice el transporte al centro de acopio, el encargado debe verificar que se encuentren etiquetados de manera correcta los envases.

El laboratorio debe contar con un equipo de carga con características especiales para el transporte de los bidones, este es de uso exclusivo del transporte de residuos peligrosos, su diseño debe ser de fácil manejo, resistente a la corrosión, ver Figura 22.

**Figura 22.**

*Vehículo para transporte interno*



*Nota.* Vehículo propuesto para realizar el transporte interno tomado de: dissetodiseo

La persona encargada del transporte de los residuos debe contar con todos los elementos de protección personal entre los que se encuentran: gafas, guantes, bata, tapabocas, esto con el fin de garantizar un desarrollo del trabajo con seguridad y confianza.

6.3.2.d Centro de acopio. El laboratorio de aguas cuenta con un área de 975 m<sup>2</sup>, está ubicado dentro de la sede principal del Acueducto y Alcantarillado de Bogotá en la localidad de Teusaquillo.

**Figura 23.**

*Mapa de ubicación del laboratorio de aguas de la EAAB*

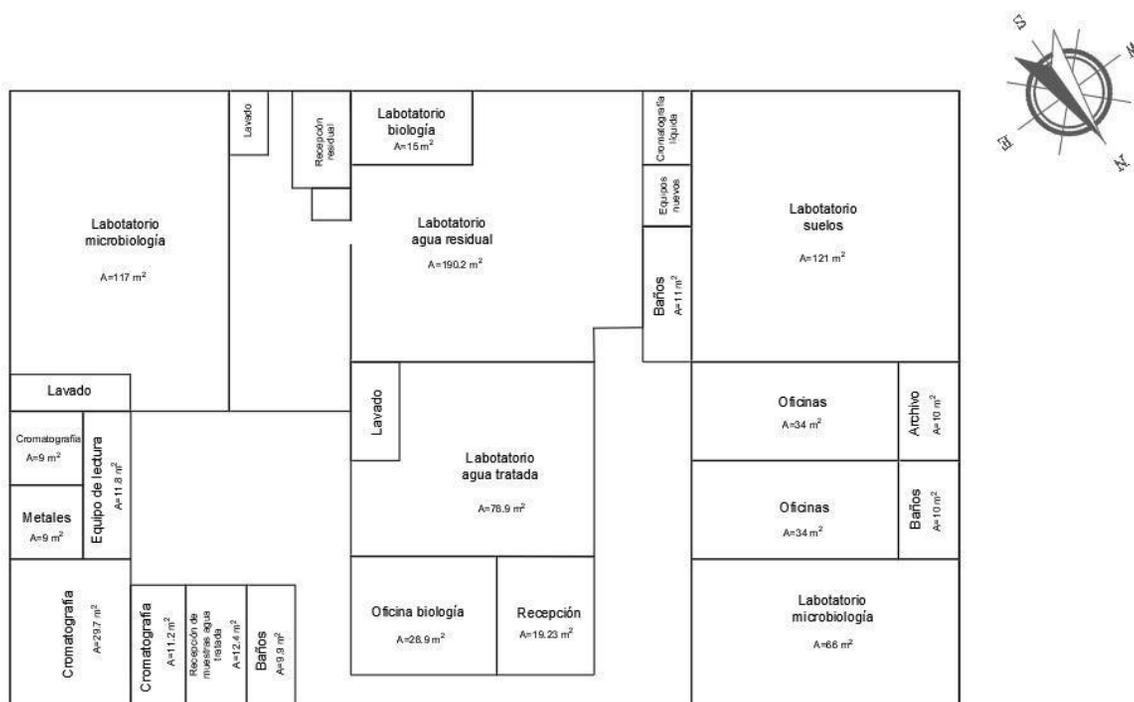


**Nota.** En esta figura se muestra la ubicación del laboratorio de aguas tomado de Google Earth

La Figura 24 representa la distribución al interior de las instalaciones, en donde se pueden apreciar los diferentes laboratorios (Tratada, residual, microbiología, biología y suelos), los cuartos de recepción de muestras, oficinas y baños.

**Figura 24.**

*Plot plan laboratorio de la EAAB*



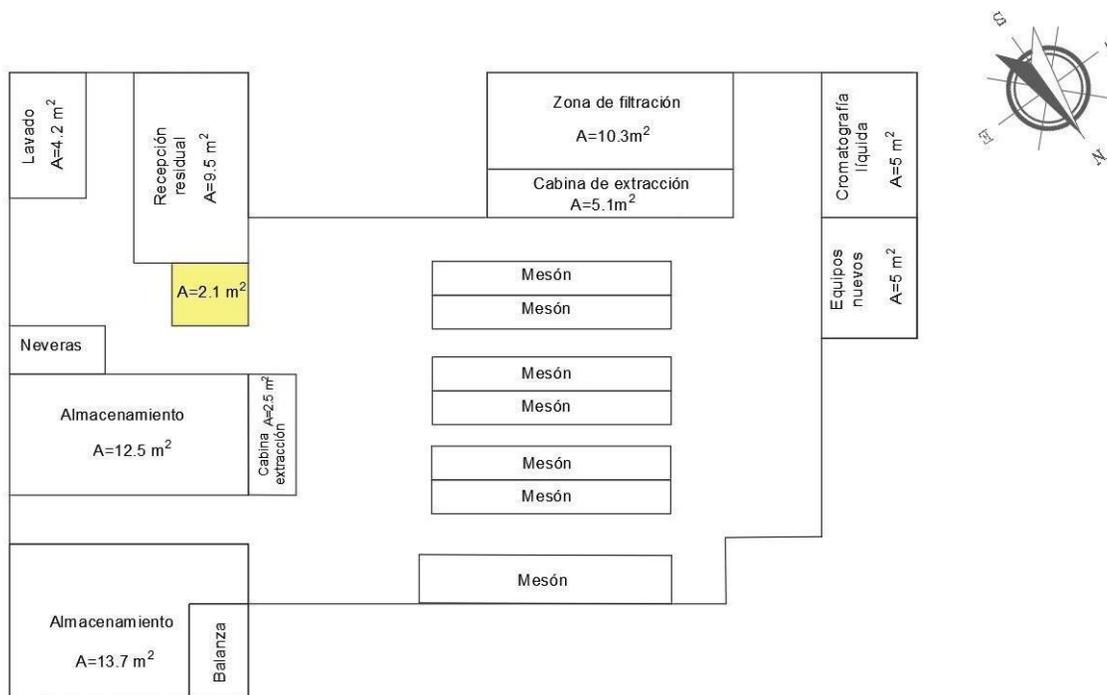
**Nota.** Distribución en el laboratorio de la EAAB, las áreas mostradas en el plot plan son aproximadas.

Haciendo énfasis en los residuos líquidos peligrosos provenientes de los laboratorios de agua residual y tratada, se plantea la implementación de un centro de almacenamiento de residuos en el laboratorio de agua residual.

En la Figura 25 se muestra el interior de dicho laboratorio, el cual consta de seis mesones donde se realizan los análisis fisicoquímicos, cabinas de extracción, almacenamiento de reactivos y el lugar demarcado que es el centro de acopio.

**Figura 25.**

*Plot plan laboratorio de agua residual*



*Nota.* Distribución en el laboratorio de aguas residuales de la EAAB, las áreas mostradas en el plot plan son aproximadas

Actualmente el centro de acopio se encuentra ubicado estratégicamente, con el fin de facilitar la entrega de estos a la entidad externa. Este cuenta con elementos como estibas, bidones, etiquetas, entre otros. Sin embargo presenta descuido y desorden a la hora de almacenar los residuos líquidos peligrosos como se evidencia en la Figura 26 algunos bidones no se encuentran con las etiquetas, se presentan objetos ajenos arrojados y los kits de emergencia antiderrame no están ubicados de manera apropiada.

## Figura 26.

### Centro de acopio



*Nota.* En la figura se observa el centro de acopio con el que cuenta el laboratorio de la EAAB

En el centro de acopio se debe tener un kit de derrames que contenga pala, paños absorbentes, tiras gruesas, bolsas rojas, guantes de nitrilo, mascar, gafas, cinta de demarcación, arena.

Además de esto debe tenerse un extintor dependiendo del derrame se puede utilizar, se puede usar el extintor con agua pulverizada, espuma, CO<sub>2</sub>, polvo BC, Polvo ABC.

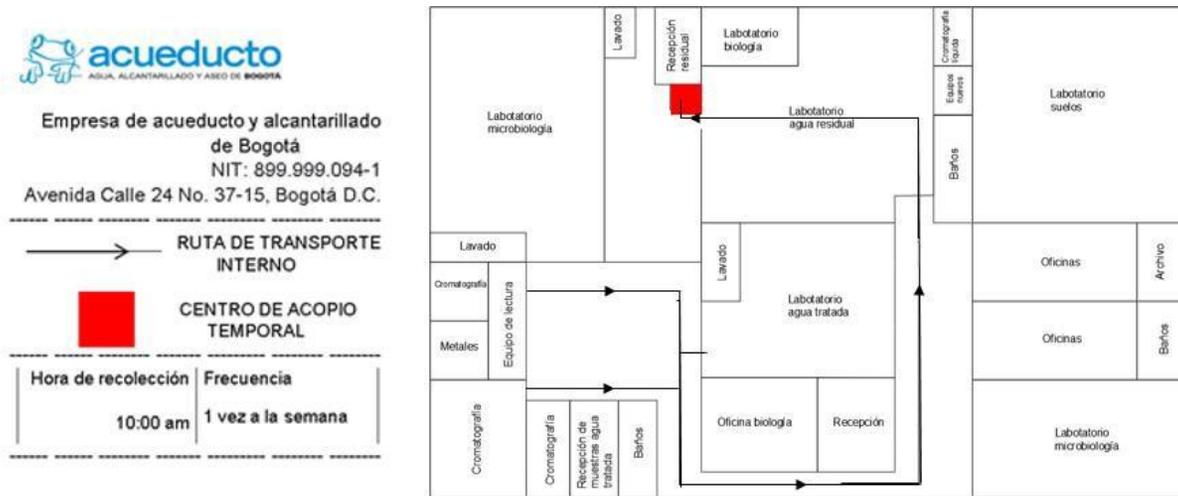
6.3.2.e Rutas sanitarias. Se plantean unas rutas sanitarias internas y externas para un adecuado transporte de los residuos líquidos peligrosos producidos en los diferentes laboratorios del acueducto.

- **Ruta sanitaria externa residuos líquidos peligrosos**

Descripción de la Ruta: Recolecta desde los laboratorios de metales, cromatografía, agua tratada y agua residual para finalmente almacenar en el centro de acopio temporal que se encuentra ubicado en el laboratorio de aguas residuales.

**Figura 27.**

*Ruta sanitaria interna residuos líquidos peligrosos*



**Nota.** Ficha de la ruta sanitaria interna que se propone para el laboratorio de la EAAB

• **Ruta sanitaria externa residuos líquidos peligrosos**

Descripción de la Ruta: Recolecta desde el laboratorio de agua residual donde se encuentra el centro de acopio temporal para finalmente ser entregado al gestor externo.

**Figura 28.**

*Ruta sanitaria Externa residuos líquidos peligrosos*



**Nota.** Ficha de la ruta sanitaria externa que se propone para el laboratorio de la EAAB

6.3.2.f Plan de contingencia. Es importante tener un plan de contingencia para diferentes eventos que pueden ocurrir en el laboratorio y que pongan en riesgo a los analistas y demás personal del laboratorio, lo principal en caso de existir algún riesgo es identificar la fuente, tipo y ubicación del accidente, si se requiere se debe evacuar el personal no esencial para el área, es importante hacer uso de los elementos de protección y seguir las recomendaciones para cada caso ver Tabla 17.

**Tabla 17.**

*Plan de contingencia*

AMENAZA	PREVENCION	SOLUCION
INCENDIOS O EXPLOSION	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Disponer de equipo de proteccion y control de incendios</li> <li>*Capacitacion de extincion de fuego</li> <li>*Establecer plan de evacuacion</li> <li>*Reconocer punto de encuentro</li> <li>*Identificar mapas con rutas de salida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Si es posible alejar objetos combustibles del lugar</li> <li>*Apagar el fuego ( si es incendio menor) enfriando el material por debajo de su temperatura de ignición y remojando las fibras para evitar la que reinicie.</li> <li>*Activar la alarma Apagar equipos y suspender actividades (evacuar)</li> <li>*Apagar el fuego removiendo el oxígeno, evitando que los vapores alcancen la fuente de ignición. Impedir la reacción química en cadena.</li> </ul>
ACTIVIDAD SISMICA	Evento severo pero de baja probabilidad de ocurrencia, no hay prevencion	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Tratar de ubicarse en un lugar seguro, lejos de ventanas, bajo escritorio o mesa sólida, al costado de un mueble acostado en posición fetal, cubriendo con las manos la cabeza o una pared interior doblando la cabeza con el cuerpo pegado a las rodillas, y juntando las manos fuertemente detrás de la nuca.</li> </ul>
DERRAME DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Disponer de equipo de proteccion y control de derrames</li> <li>*Establecer plan en caso de emergencia por derrames</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Verificar el material o sustancia que se derramo par saber que medidas o precauciones tomar</li> <li>*(SOLIDO) Evitar el contacto directo con los residuos. Recogerlos con los elementos de proteccion personal y una pala</li> <li>*(LIQUIDO) hacer uso del kit de derrames</li> </ul>

**Nota.** Esta tabla muestra las amenazas que se pueden presentar en el laboratorio y que soluciones se pueden presentar

Existen diferentes tipos de fuego es importante determinar que tipo de fuego se genera para así seleccionar el tipo de extintor a usar, los tipos de extintores con los que debe contar el laboratorio son:

- Extintor de agua
- Extintor de agua pulverizada
- Extintor de polvo
- Extintor de CO2
- Extintor para fuego especial

Entre los fuegos que pueden ocasionarse en el laboratorio son:

- Fuegos con combustibles sólidos como madera, cartón, plástico, entre otros, este tipo de fuego se puede controlar con extintores de agua, agua pulverizada, polvo, CO<sub>2</sub>.
- Fuegos donde el combustible es líquido como por ejemplo aceite, pintura, gasolina, entre otros, este tipo de fuego se puede controlar con extintores de polvo y CO<sub>2</sub>.
- Fuegos donde el combustible es gas como por ejemplo el butano, propano, entre otros, este tipo de fuego se puede controlar con extintores de polvo y CO<sub>2</sub>.
- Fuegos donde el combustible es un metal como por ejemplo sodio, magnesio, entre otros, este tipo de fuego se puede controlar con extintores para fuego especial.

Los extintores deberán cumplir el reglamento de aparatos a presión norma NTC 2885, deben estar colocados visiblemente, donde sean fácilmente accesibles y a disposición inmediata en caso de que se produzca un conato de incendio. En recintos grandes y en ciertos lugares donde no se pueden evitar completamente la obstrucción visual de los extintores, se debe emplear un sistema de señalización que permita su rápida localización. [36]

La revisión de estos extintores debe realizarse por personal con conocimiento en el tema, se debe hacer cada mes confirmando que está en el mejor estado y que su ubicación es la adecuada según la norma, también se debe verificar que la carga es la correcta y que la presión del manómetro es la presión correcta, cada revisión debe quedar registrada en el anexo 7 que debe ir adherida al cilindro.

Según la norma NTC 285 el agente debe proveer un manual de instrucción del extintor de incendios con instrucciones detalladas y advertencias necesarias para la instalación, operación, inspección y mantenimiento del extintor(es) de incendios. Sin embargo, el mantenimiento y servicio de los extintores deben prestarlo compañías de servicio de extintores que tengan las herramientas, material de recarga, lubricantes, instrucciones de servicio de los fabricantes y piezas de repuesto adecuadas.

6.3.2.g *Conformación comité de gestión ambiental.* Según la ley 1124 de 2007 en su artículo 8°, se estableció la obligación a las empresas a nivel industrial de contar con un Departamento de Gestión Ambiental. El comité debe estar encargado principalmente de la gestión interna desarrollada por el laboratorio para garantizar un manejo integral que articule acciones normativas y operativas desde el buen manejo a la hora de almacenarlos en cada bidón, movimiento interno, condiciones del acopio central de residuos y las pautas para la entrega al gestor de los residuos con el fin de garantizar la movilización segura de dichos residuos a una instalación autorizada para su gestión externa.

El Comité de Gestión Ambiental debe estar conformado por los siguientes miembros:

- Representante de la Gerencia.
- Representante del Director Administrativo y Financiero.
- Representante de la Dirección de Regulación, Calidad y Medio Ambiente.
- Representante de la Dirección Técnica. Representante del Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Profesionales Ambientales.
- Representante de los Operadores del laboratorio quienes están en la recolección y exposición a los Residuos.

6.3.2.h *Formación y capacitación.* El personal del laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá debe ser capacitado en gestión integral de residuos, los procedimientos de gestión ambiental, los planes de contingencia y la normativa ambiental para así facilitar el manejo de los residuos producidos en el laboratorio, para cumplir con el programa de capacitación se deben realizar:

- Charlas donde se identifiquen los residuos peligrosos que genera el laboratorio y qué disposición deben tener
- Talleres de segregación de residuos y activación del plan de contingencia relacionados con residuos.
- Capacitaciones sobre Respel, legislación ambiental, ruta interna y almacenamiento central de los residuos, divulgación del manual, plan de contingencia, procedimientos y protocolos, riesgos ambientales, todas dictadas por expertos.

6.3.2.i *Monitoreo Y Evaluación.* Con el fin de realizar el seguimiento y evaluación al Plan de Gestión de Residuos del laboratorio se proponen las siguientes acciones:

- Inspecciones diarias de la segregación en la fuente, clasificación, documentación y centro de acopio es una de los seguimientos que se le debe realizar a la gestión interna que realizan los laboratoristas del acueducto, todo documentado para llevar un registro de los seguimientos realizados.
- Auditorías internas que estarán a cargo del comité de gestión ambiental de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, estas deben ser programadas máximo cada tres meses.

En la Tabla 18 se evidencian algunos de los indicadores que se pueden implementar para verificar el cumplimiento de las actividades planteadas en el plan de manejo de residuos. Para la realización de estos, se hace uso de la metodología PHVA ilustrada en la Figura 29, ya que en primer lugar se deben planificar cuales son las actividades a evaluar y cuál será el porcentaje estipulado para concluir que se ha dado un buen proceso en cada una de ellas. Como segundo aspecto de dicho método está el hacer la evaluación de cumplimiento y finalmente esta verificar si el resultado obtenido cumple o no con la meta, para actuar en cuanto a lo que se debe mejorar.

**Tabla 18.**

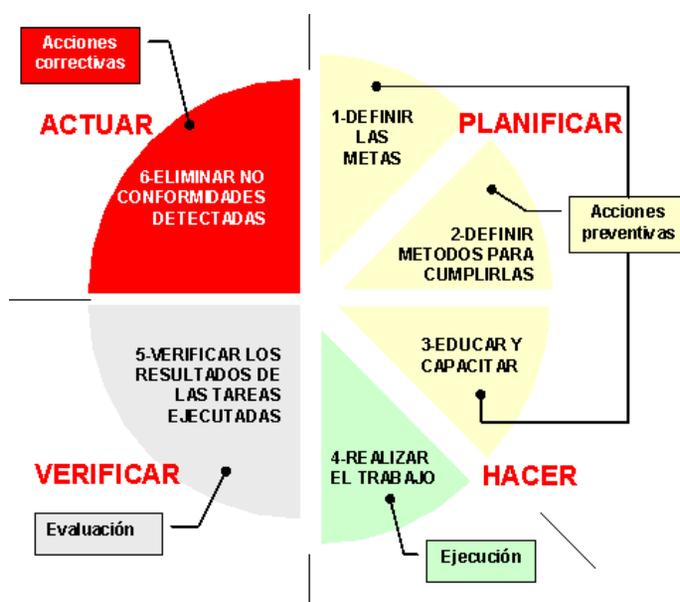
*Indicadores de cumplimiento*

Actividad	Indicador	Objetivo	% de cumplimiento	Resultado
Auditorias internas	Cumplimiento	Velar por el cumplimiento de las actividades propuestas dentro del plan de manejo de residuos	$\frac{\# \text{ de actividades realizadas}}{\# \text{ de actividades planteadas}} * 100$	El comité asigna un valor como meta
Capacitaciones	Efectividad	Informar nuevos conocimientos, desarrollo de nuevas destrezas y el aprendizaje en herramientas de trabajo	$\frac{\# \text{ de capacitaciones realizadas}}{\# \text{ de capacitaciones planteadas}} * 100$	
Capacitaciones	Cobertura	Capacitar a todo el personal	$\frac{\# \text{ de personal capacitado}}{\# \text{ total de personal a capacitar}} * 100$	

**Nota.** En la tabla se colocan los ítems de indicadores de cumplimiento

**Figura 29.**

Método PHVA



**Nota.** Método PHVA tomado de. <http://www.blog-top.com/el-ciclo-phva-planear-hacer- verificar-actuar/>

**6.4 Selección del método de recuperación de plata**

Para seleccionar el método de recuperación se realizó un análisis a los diferentes métodos propuestos en el capítulo 7, identificando que el mejor para recuperar la plata es la electrólisis.

Este es un proceso donde la energía eléctrica cambia a energía química, dicho método

tiene una eficiencia de casi el 99%, puede recuperar entre 20 y 60 g de plata/hora, además este es uno de los sistemas más utilizados para la recuperación de metales preciosos.

Para determinar el método que se puede utilizar para la recuperación de la plata presente en el residuo líquido peligroso proveniente del análisis de determinación de cloruros se realizó una caracterización determinando diferentes parámetros entre los que está: pH, DQO, DBO, SST y la cantidad de plata.

De igual manera se realiza una comparación con los parámetros de la resolución 631 de 2015 en donde se establecen los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Los datos que se evidencian en la tabla 18 corresponden a los análisis que se realizaron en el tercer día de visita a la empresa. Esta elección se decidió así ya que fue el día que el residuo de la técnica de cloruros presentó una mayor concentración de plata, el cual es nuestro metal de interés.

**Tabla 19.**

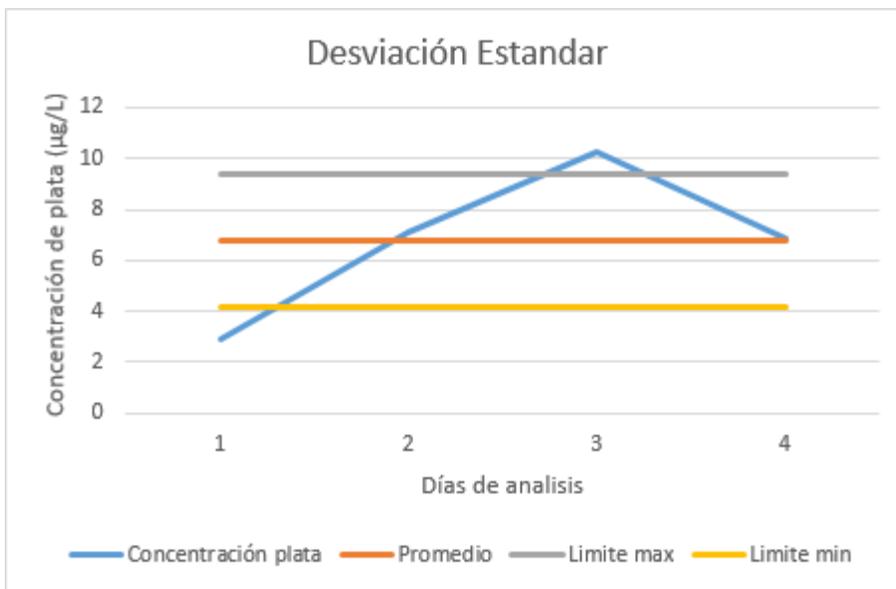
*Comparación caracterización del residuo Vs límites máximos permisibles*

Analisis	Unidades	Residuo	Norma vertimiento
SST	(mg/L)	12	400
SSED	(ml/L)	0	5
DQO	(mg/L O <sub>2</sub> )	1265	2000
DBO	(mg/L)	11	800
pH	---	5,998	6 a 9
Plata	(µg/L)	10,2821	5000

**Nota.** Tabla de comparación de resultados obtenidos y norma de vertimientos

**Figura 30.**

*Gráfica desviación estándar de la concentración de plata*



**Nota.** Grafica de desviación estándar de la concentración de plata

Al realizar un análisis de la cantidad de plata que contienen los residuos y de la gráfica ilustrada en la figura 30, se determina que no es viable realizar una recuperación de esta, ya que el residuo contiene una cantidad muy baja del metal, esto podría ocasionar, que el cátodo se quemara porque el nivel de plata que está presente en la solución es bajo.

La electrólisis es un método que requiere un gasto energético aproximadamente de 50 kilovatios/hora, en Colombia el precio neto de la electricidad de uso industrial en el primer semestre del año 2021 se encontró en 335,86 pesos.

$$50 \text{ kW/H} * 335,86 \text{ pesos} = 16.793 \text{ pesos}$$

Un gramo de plata tiene un valor de 3.449,45 pesos y en el laboratorio la concentración de plata que contiene el residuo es de aproximadamente  $1.02821 \times 10^{-5}$  gramos por litro, si se realiza el proceso de recuperación de plata la utilidad económica que generaría esta recuperación es negativa, ya que el proceso requiere de un gasto energético por litro a procesar de 50 kilovatios/hora, económicamente por hora trabajada tendría un valor de 16.793 pesos y el valor de plata recuperada por litro sería de 0,035 pesos.

## 7. CONCLUSIONES

Se realizó la identificación y clasificación de los residuos líquidos peligrosos siguiendo los lineamientos planteados en el decreto 1076 de 2015, obteniendo así un total de 72 técnicas que generan dichos residuos y 8 bidones en donde se hace la respectiva segregación y almacenamiento.

Se caracterizó el residuo líquido peligroso proveniente de la técnica de cloruros, identificando que los parámetros están dentro de los límites de vertimiento exigidos por el decreto 1076 de 2015.

La identificación de los residuos líquidos peligrosos del laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, permitió formular una propuesta de un Plan de Gestión Ambiental para el manejo adecuado de los residuos.

De acuerdo a las necesidades del laboratorio, se determinó que la electrólisis era el método de recuperación de plata más viable.

Según los resultados de la caracterización del residuo, la concentración de plata metálica presente en este no supera el límite de vertimiento que es 0,5 mg/L, lo cual vuelve la recuperación económicamente poco viable ya que el costo del funcionamiento del equipo es mayor a la utilidad obtenida.

Durante los cuatro meses de acompañamiento, se presentaron variaciones en cuanto a la cantidad de residuos líquidos peligrosos generados, el máximo valor registrado durante un mes fue de 410 kg, mientras que el mínimo fue de 210 kg.

El análisis realizado al residuo proveniente de la técnica de cloruros arrojó un pH de 5,998 este valor entra en el rango aceptable de la norma para vertimiento, esto ocurre porque el agua es agua tratada y su pH es ácido por la adición de las sustancias utilizadas en la técnica que es mínima.

El residuo proveniente de la técnica de cloruros obtuvo un valor de 1265 mg/LO<sub>2</sub> en cuanto a DQO y un valor de 11 mg/L de DBO, ambos valores son menores a los establecidos en la norma de vertimiento, esto ocurre porque el residuo proviene de agua tratada y esta no contiene materia orgánica. Por esta razón la necesidad de oxígeno para oxidar la materia orgánica presente en el agua es baja.

La medida de dispersión en cuanto a la concentración de plata analizada en el residuo durante diferentes días, arrojó un límite máximo de 9,3992 y un límite mínimo de 4,1750.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A. (20, Nov, 2015). "Sustancias contaminantes y sus efectos en la calidad del agua". [En línea]. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/sustancias-contaminantes-y-sus-efectos-en-la-calidad-del-agua>. [Acceso 20, agosto, 2021].
- [2]. G. Portillo. (s.f). "¿Qué ocurrió exactamente en el Love Canal?". Renovables verdes. [En línea]. <https://www.renovablesverdes.com/ocurrio-exactamente-love-canal/>. [Acceso: 20, agosto, 2021].
- [3]. L.F. Zarza. (2017). "El desastre de Love Canal". Iresiduo. [En línea]. <https://iresiduo.com/blogs/laura-f-zarza/desastre-love-canal>. [Acceso 23, agosto, 2021].
- [4]. Naciones Unidas. (s.f). "Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente". [En línea]. <https://www.un.org/ruleoflaw/es/un-and-the-rule-of-law/united-nations-environment-programme/>. [Acceso 23, agosto, 2021].
- [5]. Cancillería de Colombia. (s.f). "Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)". [En línea]. <https://www.cancilleria.gov.co/programa-las-naciones-unidas-medio-ambiente-pnuma>. [Acceso 23, agosto, 2021].
- [6]. Gobierno de Guatemala. (s.f). "Convenio de Basilea". [En línea]. <https://www.marn.gob.gt/s/convenio-basilea>. [Acceso 23, Agosto, 2021].
- [7]. Cancillería de Colombia. (s.f). "Convenio de Basilea". [En línea]. <https://ginebra-onu.mision.gov.co/convenio-basilea>. [Acceso 23, agosto, 2021].
- [8]. Ministerio de salud. "Ley 0009 de 1979", [En línea]. [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf) [Acceso: agosto, 24, 2021]
- [9]. Ministerio de salud. "DECRETO 1594 DE 1984 ", [En línea]. [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto\\_1594\\_de\\_1984.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_1594_de_1984.pdf) [Acceso: agosto, 24, 2021]
- [10]. Secretaria y senado de la Republica de Colombia. "LEY 99 DE 1993 ", [En

linea].[http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0099\\_1993.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html)  
[Acceso: agosto, 24, 2021]

[11]. Ministerio de salud. "Resolución 619 de 1997 ", [En línea].  
[https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/nuestriad/aire/res\\_619\\_1997.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/nuestra/normatividad/aire/res_619_1997.pdf) [Acceso: agosto, 24, 2021]

[12]. Ministerio de salud. "Ley 430 de 1998 ", [En línea].  
[https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1998/ley\\_0430\\_1998.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1998/ley_0430_1998.pdf)  
[Acceso: agosto, 24, 2021]

[13]. Ministerio de salud. "Resolución 1208 de 2003 ", [En línea].  
<http://www.ambientebogota.gov.co/documents/24732/3901423/Res+1208+de+2003.+Fuentes+Fijas.pdf> [Acceso: agosto, 24, 2021]

[14]. Ideam. "decreto 4741 de 2005", [En línea].  
<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/526371/Decreto+4741+2005+PREVENCIÓN+Y+MANEJO+DE+REIDUOS+PELIGROSOS+GENERADOS+EN+GESTIÓN+INTEGRAL.pdf/491df435-061e-4d27-b40f-c8b3afe25705> [Acceso: agosto, 24, 2021]

[15]. Alcaldía mayor de Bogotá. "Documento para residuos sólidos ", [En línea].  
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=20745>  
[Acceso: agosto, 24, 2021]

[16]. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Republica de Colombia. "Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos". [En línea].  
[https://www.corpamag.gov.co/archivos/tramites/RESPEL/Gestion\\_Integral\\_RESPEL\\_Bases\\_Conceptuales.pdf](https://www.corpamag.gov.co/archivos/tramites/RESPEL/Gestion_Integral_RESPEL_Bases_Conceptuales.pdf). [Acceso: agosto, 26, 2021]

[17]. A.A. (s.f). "Residuos". [En línea].  
[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap7\\_residuos.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf).  
[Acceso: agosto, 26, 2021]

[18]. C.A. Rivas. (17, Oct, 2018). "gestión integral de residuos sólidos". Minambiente. [En línea]. <https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energia.aspx>.

[Acceso: 26, agosto, 2021].

- [19]. EAAB. (s.f). "Visión y misión". [En línea]. [https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/la-empresa/informacion-general/vision-y-misi%C3%B3n!/ut/p/z1/tVVdk5owFP0r9sG3ai4BQugbUsVvhNV15cXBGJVWPhZQd\\_vrG2qnU0eLdXQzAwzhnpOTQ85c5KEX5EX-Plj7eRBH\\_la8zzwyJ44JEgU8tDsagGMMTdCJlYl9jKanBeC4osDRbdmSx9jqysg7-UyJcG7WR2OI\\_xVbBkbPyENelhd3FuVJvkGzJE5zfxulcxZHOY\\_yOc-](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/la-empresa/informacion-general/vision-y-misi%C3%B3n!/ut/p/z1/tVVdk5owFP0r9sG3ai4BQugbUsVvhNV15cXBGJVWPhZQd_vrG2qnU0eLdXQzAwzhnpOTQ85c5KEX5EX-Plj7eRBH_la8zzwyJ44JEgU8tDsagGMMTdCJlYl9jKanBeC4osDRbdmSx9jqysg7-UyJcG7WR2OI_xVbBkbPyENelhd3FuVJvkGzJE5zfxulcxZHOY_yOc-) [Acceso: 30, agosto, 2021].
- [20]. Instituto Nacional de Cáncer. (s.f). pH. [En línea]. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/ph>. [Acceso: 01, Sept, 2021].
- [21]. IDEAM. (28, DIC, 2007). "Demanda Química De Oxígeno Por Reflujo Cerrado Y Volumetría". IDEAM. [En línea]. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+d e+Ox%C3%ADgeno.Pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>. [Acceso: 01, sept, 2021].
- [22]. C.E. Cabrera. (15, JUN, 2011). "Manual para el manejo de los residuos peligrosos de tipo químico". Instituto Nacional de Perinatología Isidro Espinosa de los Reyes. [En línea]. <https://www.inper.mx/descargas/pdf/CRETI.pdf>. [Acceso: 01, Sept, 2021].
- [23]. S. Malasaña. (13, Jul, 2020). "Qué es la capacitación de personal: ejemplos prácticos para tu empresa". [En línea]. [https://www.eldiario.es/madrid/somos/malasana/que-es-la-capacitacion-de-personal-ejemplos-practicos-para-tu-empresa\\_1\\_6412812.html](https://www.eldiario.es/madrid/somos/malasana/que-es-la-capacitacion-de-personal-ejemplos-practicos-para-tu-empresa_1_6412812.html). [Acceso: 05, Sept, 2021].
- [24]. A.A. (06, May, 2016). "Plata (Silver)". ATSDT. [En línea]. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts146.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts146.html). [Acceso: 09, Nov, 2021].  
ONU. (s.f). "Objetivos de desarrollo sostenible". [En línea]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

[Acceso: 12, nov, 2021].

- [25]. Bernal, H & Villamarín, F. (2019). Determinación de cloruros por la técnica potenciométrica. *Acueducto*, 7.
- [26]. Mendoza, Y., Galan, C. & Paez, M. (2015). Avances recientes en técnicas de recuperación de plata de Sitio web: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/download/542/3480?inline=1>
- [27]. Espinoza, L. (2017). Estudio de investigación para la recuperación de oro y plata de los relaves de la planta Veta Dorada S.A.C. Sitio web: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3000>
- [28]. Chávez, R. (2018). Manual de manejo de residuos peligrosos en los laboratorios de Química Básica. Sitio web: <https://www.uv.mx/coatza/cq/files/2020/09/MANUALDE-MANEJO-DE-RESIDUOS-PELIGROSOS.pdf>
- [29]. Castillo, Y., Cuellar, L. & Mora, Z. (2020). Análisis del manejo de residuos peligrosos en el área de la salud y su incidencia en los colaboradores que la manipulan. [En línea]. web:[https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4900/AN%C3%81LISIS %20DEL%20MANEJO.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4900/AN%C3%81LISIS%20DEL%20MANEJO.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- [30]. "Ministerio de salud", Minsalud.gov.co, 2021. [Online]. sitio web: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/guiaimplementacion-planes-gestion-integral-residuos-laboratorio.pdf>.
- [31]. Salas. S. (2017). Construyamos la matriz de aspectos e impactos ambientales. Programa de gestión y formación. file:///D:/Usuarios/Valeria/Downloads/Cartilla%20aspectos%20ambientales.pdf
- [32]. Acueducto. (s.f). Preguntas sobre el buen uso del sistema de alcantarillado. [En línea]. EAAB.<https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/buen-uso-del-sistema-de-alcantarillado/preguntas-sobre-el-buen-uso-del-sistema-de->

alcantarillado/!ut/p/z0/04\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8zizQKdDQwtDlz8LNxM  
LQ0CA40CjQMNQj38PUz0C7ldFQFg8jP5/

- [33]. García. A; Reyes. M; Alvarado. A & González. L. (s.f). Cloruros Totales En El Agua De Abastecimiento. [En línea]. <https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/8825/1/clorurosnov12.pdf>
- [34]. A.A. (2017). Medición del desempeño ambiental: ISO 14031. International Dynamic Advisors. [En línea]. <https://www.intedya.com/internacional/1299/noticia-medicion-del-desempeno-ambiental-iso-14031.html>
- [35]. A.A. (2021). ISO Sistemas de gestión ISO 14031:2013 Indicadores Ambientales. [En línea]. <https://www.youtube.com/watch?v=fKA5MOzqkck>.
- [36]. Normativa de extintores para Colombia | Norma NTC 2885. (2020, 20 diciembre). Extinguelo. Recuperado 14 de diciembre de 2021, de <https://www.extinguelo.com/normativa-de-extintores-para-colombia-norma-ntc-2885/>

Proceso	Actividad	Regularidad	IDENTIFICACION			EVALUACION							CONTROL	
			Aspecto ambiental asociado	Impacto ambiental	Recurso afectado	IMPORTANCIA DEL IMPACTO						Valor importancia	Significancia	Medidas de control
						Alcance	Probabilidad	Duracion	Recuperabilidad	Cantidad	Normativa			
Administrativo	Generacion de residuos derivados de actividades administrativas y contables	Normal	Generacion de residuos aprovechables	Sobrepresion del relleno sanitario / Agotamiento de recursos naturales	Todos (agua, suelo, flora, fauna)	10	5	10	1	10	10	50000	Medio	Aprovechamiento de residuos
Administrativo	Generacion de residuos derivados de otras actividades	Normal	Generacion de residuos no aprovechables	Sobrepresion del relleno sanitario	Suelo	10	5	10	1	10	10	50000	Medio	Disposicion final adecuada de los residuos
Proceso	Realización de analisis de laboratorio	Normal	Consumo y/o suministro de energía	Contaminación por quema de combustibles fosiles	Todos (agua, suelo, flora, fauna)	10	5	10	1	10	10	50000	Medio	Implementar y hacer uso de energias limpias
Limpieza	Verter residuos por el alcantarillado publico	Normal	Vertimiento a cuerpo de agua superficial	Deterioro de la calidad del agua y contaminación de suelo	Todos (agua, suelo, flora, fauna)	5	10	10	5	10	10	250000	Alto	Analizar límites de vertimiento y realizar la respectiva disposición
Situaciones de emergencia	Derrames	Emergencia	Vertimiento a cuerpo de agua superficial	Deterioro de la calidad del agua y contaminación de suelo	Todos (agua, suelo, flora, fauna)	5	1	10	5	10	10	25000	Medio	Implementar alarmas para cierre de sifones y kits antiderrame
Situaciones de emergencia	Incendio	Emergencia	Generacion de ruido por alarmas / Consumo de agua	Contaminacion del recurso aire / Alteracion del ambiente de trabajo	Aire	1	1	1	5	5	10	250	Bajo	Control de los equipos / Sensores de humo

Menor a 25.000	Bajo	Hacer seguimiento al desempeño ambiental
25.000 a 125.000	Medio	Revisar el control operacional
Mayor a 125.000	Alto	Establecer mecanismos de mejora, control y seguimiento

## ANEXO 2.

### ETIQUETA PARA RESIDUOS CÓDIGO A4140

<b>ETIQUETA PARA RESIDUOS PELIGROSOS</b>			
Fecha de embalaje	Dd/mm/aaaa.	Dependencia	Centro de Nariño
Fecha de recolección	Dd/mm/aaaa.	Peso (Kg)	
Tipo de residuo	Líquido	Código	A4140
Responsable	Nombre del técnico responsable	Nombre del respel	Coloreados y cianurados
Naturaleza del RESPEL	Laboratorio		
Observaciones:			
Marcar con una x el riesgo que presenta			
			



## ANEXO 4.

### ETIQUETA PARA RESIDUOS CÓDIGO Y23

<b>ETIQUETA PARA RESIDUOS PELIGROSOS</b>			
Fecha de embalaje	Dd/mm/aaaa	Dependencia	Centro de Nariño
Fecha de recolección	Dd/mm/aaaa	Peso (Kg)	
Tipo de residuo	Líquido	Código	Y23
Responsable	Nombre del técnico responsable	Nombre del respel	
Naturaleza del RESPEL	Laboratorio		
Observaciones:			
Marcar con una x el riesgo que presenta			
			

**ANEXO 5.**  
**ETIQUETA PARA RESIDUOS CÓDIGO A3150**

<b>ETIQUETA PARA RESIDUOS PELIGROSOS</b>			
Fecha de embalaje	Dd/mm/aaaa	Dependencia	Centro de Nariño
Fecha de recolección	Dd/mm/aaaa	Peso (Kg)	
Tipo de residuo	Líquido	Código	A3150
Responsable	Nombre del técnico responsable	Nombre del respel	Disolvente <u>orgánico</u> <u>halogenado</u>
Naturaleza del RESPEL	Laboratorio		
Observaciones:			
Marcar con una x el riesgo que presenta			
			

## ANEXO 6.

### ETIQUETA PARA RESIDUOS CÓDIGO A4090

<b>ETIQUETA PARA RESIDUOS PELIGROSOS</b>			
Fecha de embalaje	Dd/mm/aaaa	Dependencia	Centro de Nariño
Fecha de recolección	Dd/mm/aaaa	Peso (Kg)	
Tipo de residuo	Líquido	Código	A4090
Responsable	Nombre del técnico responsable	Nombre del respel	Químicos Básicos
Naturaleza del RESPEL	Laboratorio		
Observaciones:			
Marcar con una x el riesgo que presenta			
			



## **ANEXO 8.**

### **RECOMENDACIONES**

El laboratorio de aguas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá no cuenta con controles internos sobre el manejo de residuos líquidos peligrosos, ocasionando no conformidades por los entes reguladores, por ello es importante implementar el plan de manejo de residuos.

Capacitar el personal del laboratorio en prevención y control de derrames de residuos líquidos peligrosos.

Evaluar la implementación de un centro de acopio diseñado para el laboratorio que cumpla con las normativas.