

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA



CUANTIFICACION DE PLOMO EN AGUAS RESIDUALES DE UN TANQUE  
PARA PRUEBA DE BALISTICA

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR  
CANDY GUADALUPE AGUILAR RENDEROS  
SOFIA MARGARITA MELARA CALDERON

PARA OPTAR AL GRADO DE  
LICENCIADA EN QUIMICA Y FARMACIA

NOVIEMBRE, 2018

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

MAESTRO ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**SECRETARIO GENERAL**

MAESTRO CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

**DECANO**

LIC. SALVADOR CASTILLO AREVALO

**SECRETARIO**

MAE. ROBERTO EDUARDO GARCIA ERAZO

**DIRECCIÓN DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

**DIRECTORA GENERAL**

MSc. Cecilia Haydee Gallardo de Velásquez

**TRIBUNAL CALIFICADOR**

**ASESORA DE AREA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y TOXICOLOGIA**

MsD. Nancy Zuleyma González Sosa

**ASESOR DE AREA EN CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS  
FARMACÉUTICOS Y COSMÉTICOS**

MSc. Eliseo Ernesto Ayala Mejía

**DOCENTE DIRECTOR**

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras

## **AGRADECIMIENTOS**

Como en todo trabajo de graduación siempre existen personas que unen sus esfuerzos con los nuestros para lograr un resultado satisfactorio, es por ello que queremos agradecer su valioso aporte.

En primer lugar, a nuestro docente director: Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras, quien con su experiencia nos guio en todo el proceso para la realización de este trabajo. Gracias por su confianza y por su apoyo incondicional.

Gracias de manera muy especial a la División Policía Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil, por abrirnos sus puertas y permitir la realización de la investigación de campo en sus instalaciones y apoyar esta iniciativa.

Al Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, por brindarnos la oportunidad de realizar la etapa experimental fundamental en nuestro trabajo de graduación.

Nuestros agradecimientos a la directora de procesos de graduación y asesores de área por sugerir, corregir y aportar opiniones, para un mejor desarrollo de nuestra investigación.

A nuestras familias por el apoyo incondicional durante todo este proceso, por darnos sus consejos, paciencia y amor.

**Candy y Sofía**

## **DEDICATORIA**

“Confía en el Señor con todo el corazón, y no te fíes de tu propia sabiduría. En cualquier cosa que hagas, tenlo presente: él aplanará tus caminos”. (Pr 3:5-6). Este triunfo profesional ha sido posible gracias a Dios Todopoderoso, a la Virgen Santísima y a cada una de aquellas personas que me mostraron su amor, apoyo, ayuda y comprensión.

A mis padres: René Augusto Aguilar Mendoza y Ana Victoria Renderos de Aguilar; gracias por creer en mí siempre, por brindarme su ayuda económica, pero sobre todo su ayuda espiritual, gracias por impulsarme a lograr mis objetivos. Los amo.

A mis hermanos: Ana Cecilia Aguilar de Maldonado y René Augusto Aguilar Renderos; quienes me han acompañado en todo momento dándome ánimos para seguir adelante, brindándome su amor.

A mis sobrinos, porque con su inocencia me acompañaron al alcance de este éxito.

A mi abuelito: René Aguilar Roque, a mis tíos, cuñados, primos y amigos que de una u otra manera estuvieron ahí brindándome su apoyo incondicional.

Como olvidarme de la persona que se embarcó en esta aventura conmigo, mi amiga y compañera de tesis, Sofía Calderón, por la motivación que siempre nos dimos, gracias por la unidad que tuvimos en el desarrollo de nuestro trabajo, y haber triunfado al concluirlo.

**Candy Guadalupe Aguilar Renderos**

## DEDICATORIA

"Nada es más honorable que un corazón agradecido." Séneca

A mi mamá, Sofía Elizabeth Calderón, por apoyarme, estar siempre conmigo, enseñarme a nunca rendirme y a luchar siempre a pesar de lo difícil que sea. Gracias por ser una madre ejemplar. Te amo.

A mi tío, César Calderón, por ser parte de mi vida en todo momento, apoyarme siempre y mostrarme el mundo desde otra perspectiva. Te adoro.

A mis abuelos, Margarita Martínez y Adán Calderón, por estar conmigo y brindarme su cariño.

A Luchy Calderón, por estar pendiente de todos mis progresos y motivarme a seguir adelante.

A mis amigos, que con su compañía hicieron que el tiempo de estudio fuera ameno. Y aquellos amigos que se convirtieron en familia en estos últimos años, gracias por su apoyo y confianza depositada, los quiero mucho.

A tanta gente maravillosa que he conocido, que a su manera aportaron un poco de su conocimiento para poder culminar este trabajo

Por último, pero no menos importante, a mi amiga y compañera en esta dura travesía, Candy Aguilar, por haber afrontado juntas todos aquellos difíciles momentos en los que la meta se miraba distante. Lo logramos.

**Sofía Margarita Melara Calderón**

## INDICE GENERAL

	Pág. N°
<b>Resumen</b>	
<b>CAPITULO I</b>	
1.0 Introducción	xix
<b>CAPITULO II</b>	
2.0 Objetivos	
<b>CAPITULO III</b>	
3.0 Marco Teórico	24
3.1 Agua	24
3.1.1 Definición	24
3.1.2 Propiedades fisicoquímicas del agua	24
3.1.3 Contaminación del agua	25
3.2 Agua Residual	26
3.2.1 Generalidades del agua residual	26
3.3 Contaminación del agua por metales pesados	28
3.4 Tratamientos para la remoción de metales pesados en aguas residuales	28
3.5 Plomo	33
3.5.1 Generalidades del plomo	33
3.5.2 El plomo en el Medio Ambiente	34
3.5.3 Plomo en la salud humana	35
3.5.4 Contaminación del agua por plomo	36
3.6 Métodos de determinación del plomo	36
3.7 Valores permisibles de plomo	38
3.8 Espectrofotometría UV-VIS	39
3.8.1 Fundamento	39
3.9 Espectrofotómetro SHIMADZU UV-1800	39

3.10 Curva de calibración	41
3.10.1 Definición	41
3.10.2 Método de los mínimos cuadrados	43
3.10.3 Prueba de datos anómalos	45
3.11 División Policía Técnica y Científica	46
3.11.1 Generalidades	46
3.11.2 Objetivos de la DPTC	47
3.11.3 Principales funciones de la DPTC	47
3.12 Generalidades de la balística forense	47
3.13 Armas de fuego	49
3.13.1 Partes de un arma de fuego	49
3.13.2 Clasificación de un arma de fuego	51
3.13.3 Proceso de disparo de un arma de fuego	53
3.14 Prueba de cotejo de armas	56
<b>CAPITULO IV</b>	
4.0 Diseño metodológico	58
4.1 Tipo de estudio	58
4.2 Investigación bibliográfica	58
4.3 Investigación de campo	58
4.3.1 Universo	59
4.3.2 Muestra	59
4.3.3 Muestreo	59
4.4 Parte experimental	59
4.4.1 Técnica	60
4.4.2 Preparación de curva de calibración	60
4.4.2.1 Cristalería y equipo	60
4.4.2.2 Preparación de solución stock de plomo 10 ppm	60
4.4.2.3 Preparación de estándares de trabajo a diferentes concentraciones	61

4.4.3 Preparación y lectura de blanco	62
4.4.4 Lectura de patrones de la curva de calibración	63
4.4.5 Lectura de la muestra	64
4.5 Tratamiento estadístico	65
4.6 Resultados esperados	65
<b>CAPITULO V</b>	
5.0 Resultados y discusión de resultados	67
<b>CAPITULO VI</b>	
6.0 Conclusiones	87
<b>CAPITULO VII</b>	
7.0 Recomendaciones	89
Bibliografía	
Anexos	

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N°</b>		<b>Pág. N°</b>
1	Partes del Equipo Espectrofotómetro Shimadzu UV-1800	40
2	Mecanismo de funcionamiento de un Espectrofotómetro UV-VIS de doble haz	41
3	Curva de calibración con 5 datos	43
4	Diagrama de detección de datos anómalos	45
5	Partes generales de un arma de fuego	50
6	Representación de partes de un cartucho	53
7	Mecanismos de disparo en un arma de fuego	54
8	Trayectoria de un proyectil	55
9	Representación de tanque Recuperador de Proyectiles	56
10	Diagrama de dilución de solución stock 10 ppm	60
11	Diagrama de dilución de estándar 0.10 ppm	61
12	Diagrama de dilución de estándar 0.70 ppm	62
13	Gráfico de curva de calibración de plomo	70
14	Gráfico de distribución de residuos	78
15	Gráfico de los valores de plomo obtenidos en las muestras	82

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro N°</b>		<b>Pág. N°</b>
1	Contaminantes importantes en el tratamiento del agua residual	27
2	Especificaciones del Equipo Espectrofotómetro Shimadzu UV-1800	40
3	Preparación de soluciones estándares restantes	62
4	Valores obtenidos de método de mínimos cuadrados	74

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°</b>		<b>Pág. N°</b>
1	Lectura de curva de calibración de estándar de Plomo	69
2	Resultados de método de mínimos cuadrados	72
3	Resultados para cálculo de coeficiente de determinación	75
4	Análisis de Residuos	77
5	Concentración en mg/L de plomo en las muestras de llenado	79
6	Concentración en mg/L de plomo en las muestras de vaciado	80
7	Concentración de mg/L de plomo de llenado y vaciado por semana	81
8	Valores de blancos obtenidos	84

## INDICE DE ANEXOS

### Anexo N°

- 1 Kit para test de plomo
- 2 Norma Salvadoreña Oficial
- 3 Norma ISO 5667
- 4 Tabla N° 1: Cantidad de muestra a tomar
- 5 Cristalería y equipo utilizado en el análisis espectrofotométrico
- 6 Certificados de calibración de cristalería
- 7 Certificado de estándar de plomo
- 8 Certificado de kit de plomo
- 9 Operación del espectrofotómetro Ultravioleta-Visible SHIMADZU UV-1800
- 10 Diagramas para lecturas de: blancos, curva de calibración y muestras
- 11 Formato para resultados de curva de calibración
- 12 Figura N° 4: Soluciones estándares para curva de calibración
- 13 Cristalería, cálculos y reactivos
- 14 Formato para resultados de muestras
- 15 Solicitud para realización de muestreo en la DPTC
- 16 Bitácora de asistencia a muestreo
- 17 Muestras
- 18 Carta de entrega de resultados a la DPTC
- 19 Informe de resultados entregado a la DPTC

## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>APHA</b>	American Public Health Association (Asociación Americana de Salud Pública)
<b>DHHS</b>	Departamento de Salud y Servicios Humanos
<b>DPTC</b>	División Policía Técnica y Científica
<b>Dr.</b>	Doctor
<b>FGR</b>	Fiscalía General de República
<b>IARC</b>	Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)
<b>K</b>	Kelvin
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Litro
<b>mg</b>	Miligramo
<b>mL</b>	Mililitro
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>NSO</b>	Norma Salvadoreña Obligatoria
<b>PAR</b>	Piridilazo-resorcina
<b>Pb</b>	Plomo
<b>PNC</b>	Policía Nacional Civil
<b>ppm</b>	Partes por millón

**UES** Universidad de El Salvador.

**UV-VIS** Ultravioleta visible

**μL** Microlitro

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo cuantificar los niveles de concentración de plomo contenida en agua residuales de un tanque para prueba de balística de la División Policía Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil. En dicha prueba se libera cierta cantidad de plomo que contamina el agua que es desechada, representando un peligro para el medio ambiente y la población que entre en contacto con ella, pues el plomo es un metal tóxico y no aporta ningún beneficio a la salud humana.

Para la realización del estudio, cada domingo comprendido entre el 13 de mayo y 22 de julio de 2018, se recolectaron muestras de un litro de agua tanto de llenado como un litro de agua de vaciado del tanque, haciendo un total de 20 muestras, las cuales se analizaron por espectrofotometría ultravioleta-visible utilizando el equipo SHIMADZU UV-1800. Dichos resultados no sobrepasaron el límite establecido en la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09: Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor, que es de 0.4 ppm de plomo. De igual manera se elaboró una curva de calibración a diferentes concentraciones, la cual se analizó por el método de mínimos cuadrados y prueba de datos anómalos, arrojando resultados que indican que la curva se adecua al propósito del método.

Según los resultados se concluyó que el agua presenta concentraciones bajas de plomo, sin embargo, este metal en pequeñas cantidades puede causar graves daños a la salud y al medio ambiente, por lo que se recomienda que los encargados del área AB001 adapten filtros de polipropileno y carbón activo en las válvulas de entrada y descarte del agua para disminuir las concentraciones de plomo que se desechan, asimismo realizar estudios frecuentes de plomo para implementar acciones correctivas que controlen que las concentraciones no aumenten.

El parte experimental del estudio se realizó en el Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador durante los meses de junio y julio del año 2018.

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1.0 INTRODUCCIÓN

El plomo es un metal tóxico; representa un peligro para el medio ambiente ya que se deposita en aguas superficiales y en suelos, su uso prolongado ha causado una extensa contaminación ambiental y problemas de salud, es una sustancia que se acumula y afecta a diversos sistemas del cuerpo: nervioso, hematológico, gastrointestinal, cardiovascular y renal. Un nivel relativamente bajo de exposición a este metal puede causar daños neurológicos graves y en algunos casos, irreversibles.

En la prueba de cotejo de armas se utiliza un tanque de balística acondicionado con agua, para que los proyectiles muestras no se destruyan y puedan ser analizados posteriormente. Cada semana los encargados de dicha prueba descartan el agua a las alcantarillas sin tener el conocimiento de qué cantidad de plomo es el que están desechando al medio ambiente.

De acuerdo con lo anterior, la presente investigación se basa en cuantificar plomo en el agua residual contenida en el tanque recuperador de proyectiles TB007 ubicado en la sección AB001 de la División Policía Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil.

Para cuantificar las concentraciones de plomo que se descartan semanalmente, cada domingo durante el periodo que comprendió del 13 de mayo al 22 de julio de 2018, se tomaron un litro de muestra del agua que abastece el tanque y un litro de muestra del agua contenida en el tanque luego de efectuar los disparos, haciendo un total de 20 muestras.

Estas muestras de agua deben cumplir ciertos requisitos para poder ser válidas y someterse al estudio pertinente. Por lo que se hizo uso de la norma ISO 5667, que proporciona una guía para el tratamiento y transportes de las muestras.

Para el análisis de estas muestras se utilizó el equipo SHIMADZU UV-1800, con el respectivo kit de plomo N° 09717 que especifica la técnica conocida como 4-(2-piridilazo)-resorcina (PAR) cuyo principio se fundamenta en el hecho de que en solución alcalina los iones plomo (II) forman con el PAR un complejo rojo que se determina espectrofotométricamente a una longitud de onda de 525 nm.

Así mismo se realizó una curva de calibración a concentraciones entre 0.1 y 5 ppm de plomo, a partir de un material de referencia certificado, con el fin de evaluar la capacidad del método analítico y obtener resultados que sean directamente proporcionales a la concentración del plomo en las muestras a analizar.

Toda la parte experimental de la investigación se realizó en los meses de junio y julio del año 2018 en el Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.

Los resultados obtenidos se compararon con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09: Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor, para determinar si la cantidad de plomo sobrepasa los límites establecidos. Posteriormente se emitió un informe escrito a los encargados del área AB001 de la División Policía Técnica y Científica.

**CAPÍTULO II**  
**OBJETIVOS**

## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General:**

Cuantificar plomo en aguas residuales de un tanque para prueba de balística.

### **2.2 Objetivos Específicos:**

- 2.2.1 Recolectar muestras de agua del tanque TB007 según Norma ISO 5667: Calidad del agua –Muestreo.
- 2.2.2 Analizar plomo en las muestras de agua bajo el método de espectrofotometría de absorción ultravioleta-visible, utilizando kit de plomo N° 09717 y el equipo SHIMADZU UV-1800.
- 2.2.3 Comparar los resultados de concentración de plomo obtenidos en las muestras de agua con la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09: Aguas Residuales descargadas a un Cuerpo Receptor.
- 2.2.4 Entregar un informe escrito de los resultados obtenidos a las autoridades encargadas de la División Policía Técnica y Científica.

**CAPÍTULO III**  
**MARCO TEÓRICO**

## 3.0 MARCO TEÓRICO

### 3.1 AGUA

#### 3.1.1 DEFINICIÓN <sup>(8), (15)</sup>

El agua, es un compuesto con características únicas, de gran significación para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural. Es una molécula sencilla formada por átomos pequeños, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces covalentes muy fuertes que hacen que la molécula sea muy estable.

#### 3.1.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA <sup>(8), (15)</sup>

Sin duda alguna, el agua es uno de los elementos más importantes desde el punto de vista fisicoquímico, hasta tal punto que sus temperaturas de transformación de un estado a otro han sido tomadas como puntos fijos, a pesar de que su punto de congelación (0°C) y ebullición (100°C) sean anormales, debido a las asociaciones moleculares.

A temperatura ambiente, el agua pura es inodora, insípida e incolora, aunque adquiere una leve tonalidad azul en grandes volúmenes, debido a la refracción de la luz al atravesarla, ya que absorbe con mayor facilidad las longitudes de onda larga (rojo, amarillo, naranja) que las longitudes de onda corta (azul, violeta), desviando lentamente estas otras, provocando que en grandes cantidades de agua esas ondas cortas se hagan apreciables.

Su importancia reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que suceden en la naturaleza, no solo en organismos vivos sino también en la superficie no organizada de la tierra, así como los que se llevan a cabo en la industria tienen lugar entre sustancias disueltas en agua.

El agua posee una capacidad calorífica muy elevada, es necesaria una gran cantidad de calor para elevar su temperatura 1.0 K.

Para los sistemas biológicos esto es muy importante pues la temperatura celular se modifica muy poco como respuesta al metabolismo.

De la misma forma, los organismos acuáticos, si el agua no posee esa cualidad, se verían muy afectados o no existirían.

El agua tiene un elevado calor de vaporización (40.7 K a 273 K), al igual que otros líquidos capaces de hacer puentes de Hidrógeno como el etanol o el ácido acético, pero a diferencia de otros líquidos como el hexano que no los hacen.

La densidad del agua líquida es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión. A la presión normal (1 atmósfera), el agua líquida tiene una mínima densidad (0,958 kg/L) a los 100°C.

Muchas de las características que hacen al agua un líquido tan particular, se deben a su capacidad de hacer puentes de Hidrógeno.

### **3.1.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA** <sup>(12)</sup>

La contaminación de las aguas es uno de los factores importantes que rompe la armonía entre el hombre y su medio tanto a corto, como a medio y largo plazo; por lo que la prevención y lucha contra ella constituye en la actualidad una necesidad de importancia prioritaria.

Con el incremento de la población y el surgimiento de la actividad industrial la contaminación de ríos, lagos y aguas subterráneas aumenta constantemente. Varias organizaciones definen lo que es la contaminación del agua:

La Organización Mundial de la Salud define la contaminación de las aguas de la siguiente manera: “Debe considerarse que un agua está contaminada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones a una u otra o al conjunto de utilizaciones a las que se hubiera destinado en su estado natural”. (23)

## **3.2 AGUA RESIDUAL**

### **3.2.1 GENERALIDADES DEL AGUA RESIDUAL** (11), (14), (31)

Se denomina agua residual a una que, durante su utilización de tipo doméstico, industrial, agrícola u otra, ha sufrido modificaciones de calidad y es transportada mediante el sistema de alcantarillado, por lo cual representa un peligro y debe de ser desechada, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos.

El agua residual es el resultado de la utilización del agua para distintos fines. Como consecuencia de este uso, el agua recoge materias en suspensión y disueltas que alteran sus propiedades. En general, las aguas residuales se clasifican en tres tipos:

-AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS: Líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales.

-AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: Residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y en algunas ocasiones tratado en una planta de tratamiento municipal.

-AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES: Aguas provenientes de las descargas de industrias de manufactura.

Cuadro N°1: Contaminantes importantes en el tratamiento del agua residual (35)

<b>Contaminantes</b>	<b>Motivo de su importancia</b>
Sólidos Suspendidos	Pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del Oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos Patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el Nitrógeno como el Fósforo, junto con el Carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea.
Contaminantes importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, etc.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual.

### **3.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS <sup>(26)</sup>**

Las aguas procedentes de las industrias como la minera, la de recubrimientos metálicos, las fundidoras y otras más, contaminan el agua con diversos metales. Por ejemplo, las sales de metales como el plomo, zinc, mercurio, plata, níquel, cadmio y arsénico son muy tóxicas para la flora y la fauna terrestre y acuática.

Las Normas Oficiales Mexicanas contra la contaminación ambiental (publicadas en el Diario Oficial del 18 de octubre de 1993) consideran metales contaminantes del agua (en orden de importancia por su abundancia) a: Aluminio, Plata, Cadmio, Arsénico, Cobre, Hierro, Mercurio, Cobalto, Vanadio, Manganeso, Níquel, Zinc, Magnesio, Antimonio, Cromo, Selenio, Titanio, Berilio, Estaño, Boro, Molibdeno, Tungsteno, Germanio, Bismuto, Plomo, Telurio.

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Al ser ingeridos por el hombre en el agua y alimentos contaminados por los compuestos de mercurio, plomo o cadmio le provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte.

### **3.4 TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES <sup>(9)</sup>**

La clasificación de las técnicas de tratamiento de metales pesados en las aguas residuales depende de diferentes factores, se han clasificado como CONVENCIONALES, refiriéndose a las técnicas que habitualmente se emplean para la remoción de estos contaminantes y las NO CONVENCIONALES,

aquellas que corresponden a procesos innovadores para la eliminación de metales en aguas residuales generalmente de origen industrial.

### **-Técnicas Convencionales**

1. *Filtración por membrana*: Esta tecnología presenta altas eficiencias, requiere poco espacio, no es selectiva y es de fácil operación, pero genera una gran cantidad de lodos que contienen metales. Se emplea en procesos para el tratamiento de agua potable, aguas residuales industriales y en menor medida aguas residuales domésticas. La separación por membrana se emplea comúnmente para tratar y recuperar sales metálicas de residuos generados en procesos galvanoplásticos, en el reciclaje de aceites, en la producción alimentos y bebidas y en la explotación y producción de hidrocarburos.
2. *Intercambio iónico*: Es el proceso a través del cual los iones en solución se transfieren a una matriz sólida que, a su vez liberan iones de un tipo diferente, pero de la misma carga. El intercambio iónico es un proceso de separación física en la que los iones intercambiados no se modifiquen químicamente. Las principales ventajas de intercambio iónico son la recuperación del valor del metal, la selectividad, menos volumen de lodos producidos y la reunión de las especificaciones de descarga estrictas.
3. *Adsorción (Convencional)*: La técnica presenta remoción de una amplia variedad de contaminantes, alta capacidad, cinética rápida y posiblemente selectiva dependiendo de adsorbente de lo cual también depende su rendimiento, básicamente por la estructura física del mismo.

Los carbones activados, arcillas, biopolímeros, Zeolitas, perlas de sílice y plantas o desechos lignocelulósicos son algunos de los adsorbentes, generalmente con procesos variados de modificación química, comúnmente empleados para remover colorantes iónicos, metales pesados, materiales radioactivos entre otros contaminantes orgánicos e inorgánicos generados por diferentes tipos de industrias.

4. *Precipitación química*: Es la técnica más utilizada en los procesos industriales ya que es relativamente sencilla de operar, económica y selectiva, aunque su mantenimiento si es costoso debido a la alta generación de lodos. Se emplean sustancias quelantes, aunque presentan desventajas considerables como la carencia de uniones necesarias y demasiados riesgos ambientales.
5. *Electrocoagulación*: Es un proceso que aplica los principios de la coagulación-floculación en un reactor electrolítico. Este es un recipiente dotado de una fuente de corriente y varios electrodos encargados de aportar los iones desestabilizadores de partículas coloidales que reemplazan las funciones de los compuestos químicos que se utilizan en el tratamiento convencional, induciendo la corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de hierro o aluminio.
6. *Coagulación-Floculación*. Es el método mediante el cual se logra desestabilizar el coloide y aglomerar posteriormente. En la primera etapa la coagulación elimina la doble capa eléctrica que caracteriza a los coloides y con la floculación se aglomeran los coloides mediante la atracción de partículas con el aglutinamiento de los floculantes.

Los factores más importantes que se deben tener en cuenta para esta técnica son la dosis química apropiada, el efecto energético de la mezcla y el tiempo de la mezcla.

7. *Electroflotación*: Es un proceso químico con adición electrolítica de iones metálicos. Su eficiencia en la remoción de los contaminantes se debe a que son arrastrados por las burbujas de gas ( $H_2$  y  $O_2$ ) que se producen en el sistema por lo que salen a flote en la superficie.
8. *Flotación*. El proceso de flotación ion se basa en impartir las especies iónicas de metal en las aguas residuales hidrófobas mediante el uso de agentes activos de superficie (tensoactivos) y la posterior eliminación de estas especies hidrófobas por burbujas de aire.
9. *Fotocatálisis en la degradación de metales pesados*: Se basa en la transferencia de carga a través de la interfaz entre el semiconductor y la solución acuosa contaminada. Donde la conductividad aumenta con la temperatura, y se genera un par de electrón-hueco, ocurriendo la adsorción de los fotones y la distribución de diferentes estados electrónicos en la superficie, degradando moléculas orgánicas colorantes y metales pesados.

#### **-Técnicas No Convencionales**

1. *Adsorbentes de Bajo Costo y Nuevos Adsorbentes*: La adsorción es un proceso de transferencia de masa por el cual una sustancia se transfiere desde la fase líquida a la superficie de un sólido.

El proceso de adsorción describe en realidad un grupo de procesos, que incluyen la adsorción y las reacciones de precipitación. Recientemente, la adsorción se ha convertido en una de las técnicas alternativas de tratamiento para las aguas residuales cargadas con metales pesados. Se emplea un amplio espectro de materiales biológicos, especialmente las bacterias, algas, levaduras y hongos han recibido una atención creciente para la eliminación y recuperación de metales pesados, debido a su buen rendimiento, bajo coste y grandes cantidades disponibles.

2. Adsorción de metales pesados por materiales naturales agrícolas e industriales. Los procesos de adsorción están siendo ampliamente utilizados por varios investigadores para la eliminación de metales pesados. Los flujos de residuos y carbón activado se han usado con frecuencia como un adsorbente. A pesar de su amplio uso en las industrias de tratamiento de agua y aguas residuales, el carbón activado se mantiene como un material costoso.

En los últimos años, la necesidad de métodos seguros y económicos para la eliminación de metales pesados de aguas contaminadas ha requerido interés de investigación hacia la producción de alternativas de bajo costo, disponible comercialmente.

3. *Fitorremediación*: Es el uso de las plantas y los microbios del suelo asociados para reducir las concentraciones o los efectos tóxicos de los contaminantes en los ambientes. Es una tecnología relativamente reciente y se percibe como rentable, eficiente, respetuoso del medio ambiente, y la tecnología solar-impulsado con buena aceptación del público.

4. *Biopolímeros*: son industrialmente atractivos porque son capaces de reducir las concentraciones de iones metálicos de transición a concentraciones de partes por billón, son ampliamente disponibles y ambientalmente seguros. Poseen un número amplio de diferentes grupos funcionales, tales como hidroxilos y aminas, que aumentan la eficiencia de la absorción de iones metálicos.
  
5. *Hidrogeles*: Son polímeros hidrófilos reticulados capaces de ampliar sus volúmenes debido a su alta expansión en el agua. Por consiguiente, ellos son ampliamente utilizados en la purificación de las aguas residuales. Diversos hidrogeles se han sintetizado e igualmente investigado su comportamiento de adsorción de metales pesados.
  
6. *Ceniza Volante*: Las cenizas volantes, generadas durante la combustión de carbón para la producción de energía, es un subproducto industrial que es reconocido como un contaminante ambiental, debido a su enriquecimiento en elementos traza potencialmente tóxica que se condensan del gas de combustión. Este material se ha reutilizado como un adsorbente de bajo costo para la eliminación de compuestos orgánicos, gases de combustión y los metales pesados.

### **3.5 PLOMO**

#### **3.5.1 GENERALIDADES DEL PLOMO (2), (37)**

El plomo es un elemento químico de aspecto gris azulado de número atómico 82. Su símbolo es Pb, pertenece al grupo IV: Carbonoides de la tabla periódica y su estado habitual en la naturaleza es sólido.

Este tipo de elementos tienden a ser blandos y presentan puntos de fusión bajos, propiedades que también se pueden atribuir al plomo, dado que forma parte de este grupo de elementos.

El punto de fusión del plomo es de 600,61 K o de 328,46 °C. El punto de ebullición del plomo es de 2022 K o de 1749,85 °C.

El plomo tiene muchos usos diferentes:

- Se usa en la fabricación de pilas, municiones, productos de metal (soldaduras y tuberías).
- En aparatos para proteger contra los rayos X.

Debido a inquietudes relacionadas con la salud, en los últimos años se ha reducido considerablemente la cantidad de plomo en pinturas, productos cerámicos y materiales para calafatear y para soldar tuberías.

### **3.5.2 EL PLOMO EN EL MEDIO AMBIENTE <sup>(36)</sup>**

El plomo no se degrada, sin embargo, compuestos de plomo son transformados por la luz solar, el aire y el agua.

Cuando se libera al aire, puede ser transportado largas distancias antes de sedimentar en el suelo; una vez que cae a la tierra, generalmente se adhiere a partículas en el suelo.

El movimiento del plomo desde el suelo a aguas subterráneas dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo.

La mayor parte del plomo en suelos del interior de zonas urbanas se origina de casas viejas pintadas con pinturas con plomo.

### **3.5.3 PLOMO EN LA SALUD HUMANA (2), (5)**

El plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua.

El organismo acumula este metal durante toda la vida y lo libera lentamente, por lo que incluso dosis pequeñas pueden producir, con el transcurso del tiempo, una intoxicación por plomo, pues de la carga corporal total de plomo depende el riesgo de efectos adversos.

El plomo puede afectar casi todos los órganos y sistemas del cuerpo. La toxicidad del plomo afecta principalmente al sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. La exposición prolongada en los adultos puede producir un menor desempeño en algunas pruebas que miden el funcionamiento del sistema nervioso. También puede causar debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos.

La exposición al plomo también causa un pequeño aumento de la presión arterial, especialmente en personas de mediana edad y de edad avanzada, y puede causar anemia. La exposición a altos niveles de plomo puede dañar seriamente el cerebro y los riñones de niños y adultos, y finalmente causar la muerte. En las mujeres embarazadas, altos niveles de exposición al plomo pueden producir un aborto espontáneo. En los hombres, altos niveles de exposición pueden causar daños en los órganos responsables de la producción de espermatozoides.

No hay pruebas concluyentes de que el plomo cause cáncer en los seres humanos. Han aparecido tumores en los riñones de ratas y ratones que recibieron grandes dosis de un cierto tipo de compuesto de plomo.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que es razonable anticipar que el plomo y los compuestos de plomo sean cancerígenos en los seres humanos.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el plomo inorgánico es probablemente carcinogénico en los seres humanos y que no hay suficiente información para determinar si los compuestos orgánicos de plomo causen cáncer en los seres humanos.

#### **3.5.4 CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR PLOMO <sup>(26)</sup>**

La contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua que son generadas por las fábricas de pinturas, de acumuladores, por alfarerías con esmaltado, en fototermografía, en pirotecnia, en la coloración a vidrios o por industrias químicas productoras de tetraetilo de plomo (se usa como antidetonante en gasolinas) y por algunas actividades mineras entre otras.

Todos los compuestos de plomo son tóxicos en diferente grado, dependiendo de su naturaleza química y grado de solubilidad de cada compuesto, los más tóxicos son los compuestos orgánicos.

#### **3.6 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DEL PLOMO <sup>(4)</sup>**

La American Public Health Association (APHA), ha creado procedimientos destinados al análisis del agua para verificar su calidad. Entre estos se encuentra el análisis de metales pesados en agua.

Cuando se habla de metales pesados se pueden mencionar: Aluminio, antimonio, arsénico, bario, cadmio, cromo, hierro, plomo, magnesio, etc.

Para el plomo, que es el metal pesado en investigación, la asociación sugiere tres métodos distintos con que puede ser determinado en un análisis:

- a. Método Espectrométrico de absorción atómica: Este tiene un límite de detección relativamente alto en la modalidad de llama y requiere un procedimiento de extracción de las bajas concentraciones comunes en el agua potable. El método de absorción atómica electrotermino es mucho más sensible para las bajas concentraciones y no requiere extracción.
- b. Método de plasma de acoplamiento inductivo: Es un método rápido, sensible y conveniente para la determinación de metales en muestras de aguas limpias y residuales. Los metales disueltos se determinan en muestras filtradas y aciduladas, mientras que los metales totales se determinan tras una apropiada digestión. Su sensibilidad es similar a la del método de absorción atómica.
- c. Método de la ditizona: Dicha prueba tiene como principio que una muestra acidificada que contiene microgramos de plomo es mezclada con una solución reductora de citrato y cianuro amoniacal para luego ser extraída con ditizona en cloroformo hasta formar el ditizonato de plomo rojo-cereza. El color es medido fotométricamente a 510 nm.

Para el caso de la investigación realizada se utilizó el método Espectrofotometría de absorción ultravioleta-visible, con el equipo Shimadzu UV-1800 y la técnica especificada en el certificado del Kit de plomo número 09717, del proveedor Merck (Ver Anexo N° 1). El método se conoce como 4-(2-piridilazo)-resorcina (PAR), cuyo principio es que en solución alcalina los iones

plomo (II) forman con la 4-(2-piridilazo)-resorcina (PAR) un complejo rojo que se determina espectrofotométricamente a una longitud de onda de 525 nm.

### **3.7 VALORES PERMISIBLES DE PLOMO <sup>(10)</sup>**

Para establecer el límite máximo permisible de plomo en aguas residuales, se utilizó la Norma Salvadoreña Obligatoria (NSO 13.49.01:09): Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor, En la tabla N° 3: Parámetros complementarios sobre valores permisibles para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor se establece que el valor máximo permisible para Plomo (Pb) es de 0.4 mg/L o 0.4 ppm. (Ver Anexo N° 2)

Esta norma establece las características y valores fisicoquímicos, microbiológicos y radiactivos permisibles que debe presentar el agua residual para proteger y rescatar los cuerpos receptores. Se aplica en todo el país para la descarga de aguas residuales vertidas a cuerpos de agua receptores superficiales.

Deberá observarse el cumplimiento de los valores permisibles establecidos en esta norma, de forma que no se causen efectos negativos en el cuerpo receptor, tales como color, olor, turbiedad, radiactividad, explosividad y otros.

Para la realización del análisis se requieren de muestras de agua, las cuales deben cumplir ciertos requisitos para poder ser válidas y someterse al estudio pertinente.

Para ello la norma ISO 5667: Calidad del agua- Muestreo proporciona una guía para el tratamiento de las muestras, se dividen en varios apartados de los cuales se hará uso del apartado 1, 2, 3 y 10 (Ver Anexo N° 3).

### **3.8 ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VIS** <sup>(25)</sup>

#### **3.8.1 FUNDAMENTO**

Esta se basa en la capacidad de la especie química de absorber radiación electromagnética en el dispositivo óptico, es decir en el rango de luz visible. La longitud de onda puede caracterizarse por los siguientes parámetros:

- Longitud de onda: Distancia recorrida entre dos máximos contiguos de la onda.
- Frecuencia de radiación: Consiste en el número de vibraciones de la onda en un segundo.
- Número de onda: Indica el número de ondas en un centímetro.

La base del análisis espectrofotométrico consiste en la absorción selectiva de la luz por parte de las especies químicas contenidas en una solución. La cantidad de luz absorbida por la muestra es directamente proporcional a la concentración de la muestra. La medida generalmente utilizada para la absorción de luz es la absorbancia (A), ya que ésta está en correlación directa con la concentración de la sustancia absorbente.

### **3.9 ESPECTROFOTÓMETRO SHIMADZU UV-1800** <sup>(32)</sup>

Espectrofotómetro UV-VIS de 1nm ancho de banda, eficiencia en la lectura, confiabilidad de datos en una unidad compacta con atributos de un equipo de primera línea. Pantalla de cristal líquido con un menú sencillo. Rango de longitud de onda de 190-1100 nm con un ancho de banda espectral mejor que 1nm. Puede ser usado de forma independiente o conectado con una PC. Tiene puerto USB.

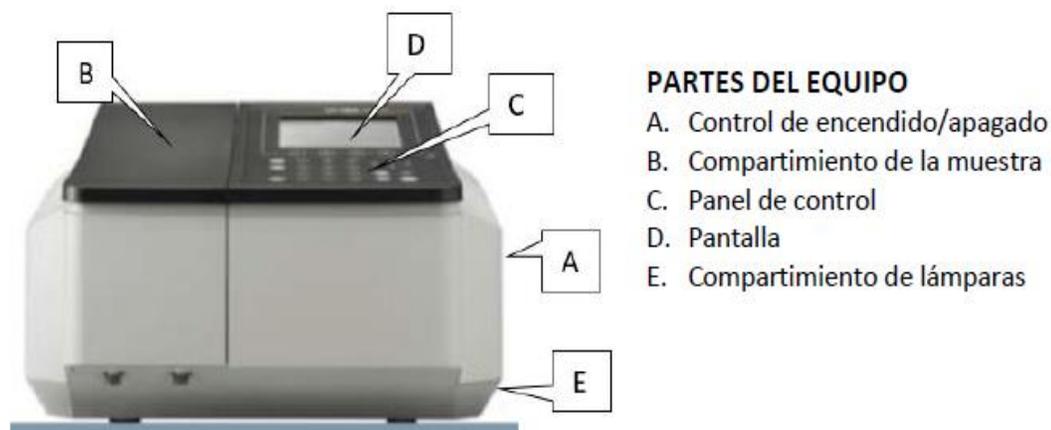


Figura N°1: Partes del Equipo Espectrofotómetro Shimadzu UV-1800

Para más especificaciones del equipo espectrofotométrico, ver cuadro N°2

Cuadro N°2: Especificaciones del Equipo Espectrofotómetro Shimadzu UV-1800

<b>Rango de longitud de onda</b>	190 nm a 1100 nm
<b>Ancho de banda</b>	1 nm (190 nm a 1100 nm)
<b>Lámpara</b>	Lámpara halógena y de deuterio
<b>Detector</b>	Fotodiodos de silicio
<b>Exactitud</b>	$\pm 0.3$ nm (190 nm a 1100 nm)
<b>Sistema fotométrico</b>	Doble haz
<b>Rango fotométrico</b>	Absorbancia: -4 a 4
<b>Peso</b>	15 kg
<b>Memoria</b>	Memoria

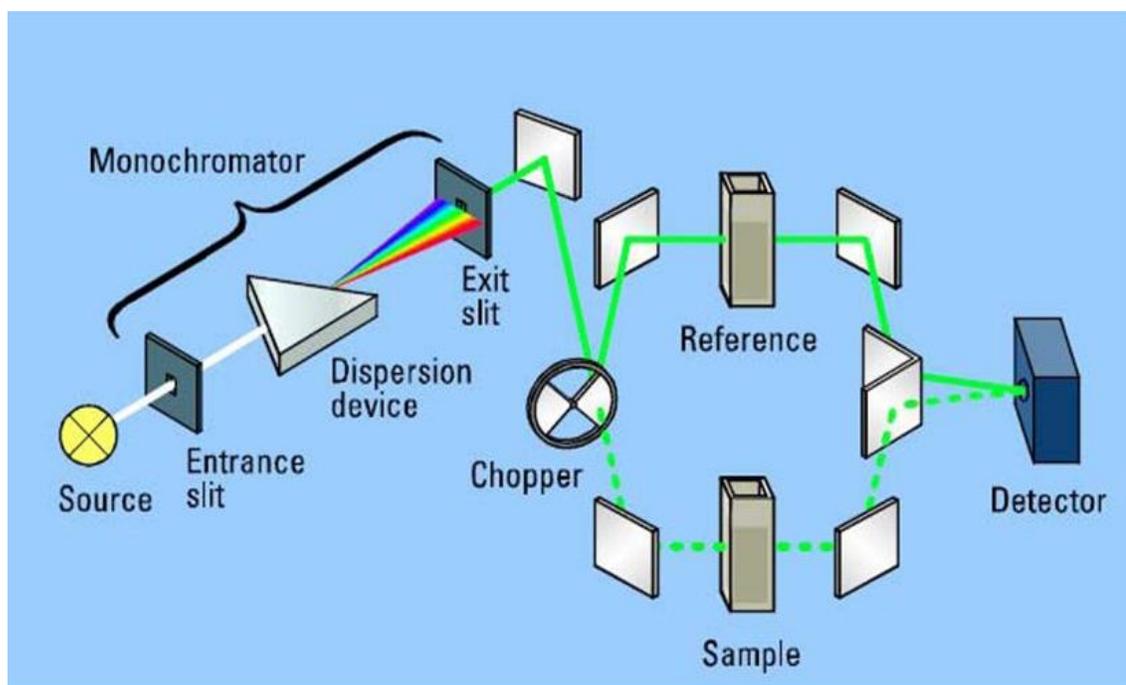


Figura N°2: Mecanismo de funcionamiento de un Espectrofotómetro UV-VIS de doble haz

### 3.10 CURVA DE CALIBRACIÓN

#### 3.10.1 DEFINICIÓN <sup>(13)</sup>

Un procedimiento analítico muy utilizado en análisis cuantitativo es el llamado de calibración que implica la construcción de una “curva de calibración”. Una curva de calibración es la representación gráfica de una señal que se mide en función de la concentración de un analito.

La calibración incluye la selección de un modelo para estimar los parámetros que permitan determinar la linealidad de esa curva.

Y, en consecuencia, la capacidad de un método analítico para obtener resultados que sean directamente proporcionales a la concentración de un compuesto en una muestra, dentro de un determinado intervalo de trabajo.

En el procedimiento se compara una propiedad del analito con la de estándares de concentración conocida del mismo analito (o de algún otro con propiedades muy similares a éste).

Para realizar la comparación se requiere utilizar métodos y equipos apropiados para la resolución del problema de acuerdo al analito que se desee determinar. La etapa de calibración analítica se realiza mediante un modelo de línea recta que consiste en encontrar la recta de calibrado que mejor ajuste a una serie de "n" puntos experimentales, donde cada punto se encuentra definido por una variable "x" (variable independiente, generalmente concentración del analito de interés) y una variable "y" (variable dependiente, generalmente respuesta instrumental).

La recta de calibrado se encuentra definida por una ordenada al origen (b) y una pendiente (m), mediante la ecuación  $y = mx + b$ .

A partir de la curva de calibración (conjunto de concentraciones que describen el intervalo en el cual se deberá cuantificar el compuesto por analizar) y a fin de asegurar que la recta encontrada con los puntos experimentales se ajuste correctamente al modelo matemático de la ecuación se calculan los valores de la ordenada al origen, la pendiente y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ).

Por tener una buena exactitud y confiabilidad estadística, el método más empleado para encontrar los parámetros de la curva de calibrado es el método de los mínimos cuadrados, este método busca la recta del calibrado que haga que la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre cada punto

experimental y la recta de calibrado sea mínima o tienda a cero. A la distancia vertical entre cada punto experimental y la recta de calibrado se le conoce como residual. En forma gráfica se representa así

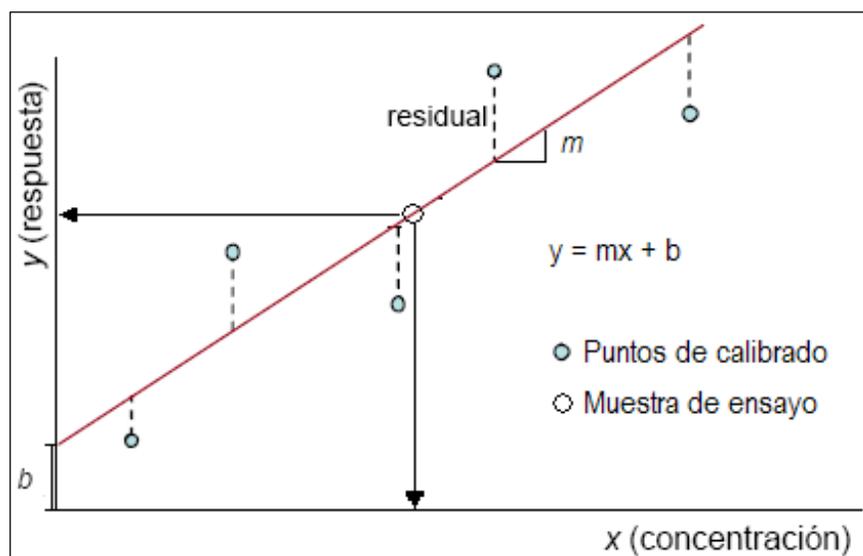


Figura N°3: Curva de calibración con 5 datos

### 3.10.2 MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS <sup>(18)</sup>

El método de Mínimos cuadrados es una técnica de análisis numérico enmarcada dentro de la optimización matemática, en la que, dados un conjunto de pares ordenados (variable independiente, variable dependiente) se intenta encontrar la función continua, dentro de dicha familia, que mejor se aproxime a los datos.

Estos resultan de la variación de los resultados, aunque se realicen varias mediciones del mismo material en iguales condiciones.

Desde un punto de vista estadístico, un requisito implícito para que funcione el método de mínimos cuadrados es que los errores de cada medida estén distribuidos de forma aleatoria. También es importante que los datos a procesar estén bien escogidos, para que permitan visibilidad en las variables que han de

ser resueltas. La técnica de mínimos cuadrados se usa comúnmente en el ajuste de curvas, utilizando las siguientes funciones:

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2 = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{N}$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{N}$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{N}$$

Pendiente de la recta  $m = S_{xy}/S_{xx}$

Ordenada en el origen  $b = \bar{y} - m\bar{x}$

Ecuación lineal  $y = mx + b$

Coeficiente de determinación  $r^2 = \frac{[n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)]^2}{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}$

El Coeficiente de determinación es un término asociado a la tendencia de la línea obtenida. Su aceptación se determina con base a criterios establecidos por las exigencias analíticas del método utilizado.

Se asume de forma general que valores de  $r^2$  arriba de 0.98 representan resultados de linealidad adecuada.

Es decir, resultados más cercanos a la unidad son los deseados en la elaboración de cada curva de calibración en la práctica analítica.

Si  $r^2 \geq 0.98$  se considera que la tendencia lineal de la curva de calibración se adecua al propósito del método, es decir a la cuantificación del analito buscado.

### 3.10.3 PRUEBA PARA DATOS ANÓMALOS <sup>(18)</sup>

La Regresión es muy sensible a la presencia de datos anómalos. Por ese motivo es necesario graficar los puntos experimentales junto con los puntos esperados de acuerdo a la regresión para detectar si alguno de ellos está influenciando la recta.

En primer lugar, se observa, que en los casos donde haya ocurrido un error obvio como un error de transcripción o de funcionamiento deficiente del instrumento, resulta natural y permitido rechazar la medida resultante y, si es posible, repetirla. Si hay medidas sospechosas para las que no hay ninguna fuente de error obvia, se debe realizar el estudio de los residuos ( $y_i - \hat{y}_i$ ).

Al graficar los residuos estos deben permanecer aproximadamente uniformes en el tamaño a medida crece  $y$ , distribuyéndose alrededor de cero, es decir deben ser homocedásticos. A continuación, se muestran algunas graficas de residuos:

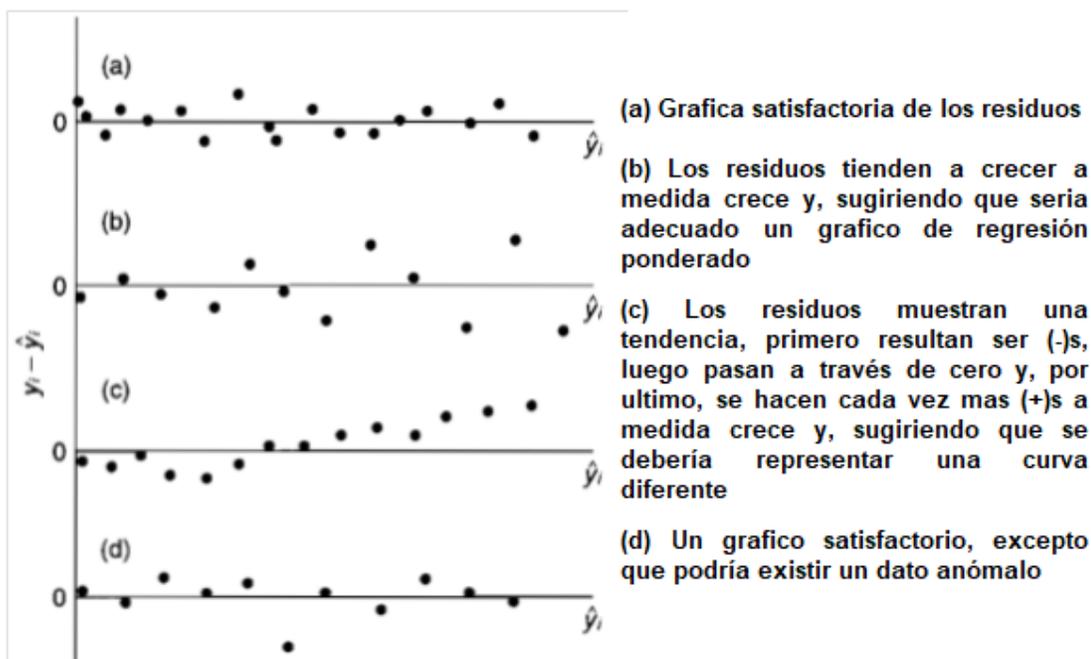


Figura N°4: Diagrama de detección de datos anómalos

Los gráficos anteriores revelan de manera muy clara valores sospechosos, pero no proporcionan criterios que se puedan utilizar inmediatamente para rechazarlos o aceptarlos. Además, resultan de un valor limitado en muchos experimentos, donde el número de puntos de calibrado es a menudo muy pequeño.

Para identificar posibles datos anómalos, se puede aplicar un criterio numérico simple: "Un residuo estándar igual o mayor a 1.5 indica que este residuo es anormalmente alto, puesto que está a una distancia igual o mayor a 1.5 veces su desviación".

$$\text{Residuo estándar} = \left| \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{S} \right|$$

En El Salvador existen diferentes organizaciones nacionales que ayudan a las dependencias policiales en la investigación y análisis de hechos delictivos, una de esas organizaciones se conoce como: División Policía Técnica y Científica (DPTC)

### **3.11 DIVISIÓN POLICÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA <sup>(3)</sup>**

#### **3.11.1 GENERALIDADES**

La División Policía Técnica y Científica (DPTC) Depende de la subdirección de Investigaciones de la Policía Nacional Civil y como tal colabora en la investigación técnica y científica de hechos delictivos, dando cobertura a todo el país, a través de los peritajes realizados a las evidencias que presentan las dependencias policiales e instituciones del sector justicia, lo que lo convierte en el organismo rector de la investigación criminalística en El Salvador.

### **3.11.2 OBJETIVO DE LA DPTC**

Proporcionar apoyo técnico y científico al proceso de investigación a través de las experticias realizadas a las evidencias que presentan las Dependencias Públicas Policiales e Instituciones del Sector Justicia con la finalidad de contribuir al esclarecimiento del delito.

### **3.11.3 PRINCIPALES FUNCIONES DE LA DPTC**

- Mantener comunicación con las Dependencias Policiales e Instituciones del Sector Justicia para coordinar el tratamiento adecuado de las evidencias, solicitud de experticias y entrega de resultados de los análisis realizados.
- Mantener el Sistema Integrado de Gestión de Calidad, asegurando el cumplimiento de los procesos y procedimientos de la División.
- Establecer y autorizar políticas, Normas, procedimientos y disposiciones internas para asegurar la confidencialidad, protección de la información y derechos de propiedad, incluyendo la protección del almacenamiento y la transmisión electrónica de los resultados.
- Coordinar con la Fiscalía General de República (FGR) y otras Dependencias de Justicia, la asistencia y soporte técnico-científico, en las especialidades forenses con las que cuenta la DPTC.

Además, en dicha división, se realizan una serie de análisis, incluyendo análisis balísticos.

### **3.12 GENERALIDADES DE LA BALÍSTICA FORENSE <sup>(17)</sup>**

Se define el término balística como: “La Rama de la ciencia que estudia el movimiento de los proyectiles en general”.

Estudia los fenómenos que ocurren en el interior de las armas de fuego para que el proyectil sea lanzado al espacio, lo acaecido durante su desplazamiento por éste y los efectos que produce sobre el blanco final.

Realiza análisis comparativos basados en métodos empíricos y científicos, asiste a la escena del crimen donde aporta sus determinaciones y reconstruye la dinámica de los eventos.

Además, es preciso señalar que la balística aporta a las dependencias policiales y al ministerio público la información necesaria y depone en juicio los resultados de dictámenes periciales integrándolos como prueba.

En atención a los diferentes estudios que realiza la balística se han hecho diversas clasificaciones de ella sin embargo se exponen las más importantes:

**-BALÍSTICA INTERIOR:** Estudia lo que ocurre en el interior del arma, desde que el fulminante es iniciado por medio de la percusión, lo que provoca la combustión de la pólvora cuyos gases producen la presión necesaria para impulsar al proyectil a través del ánima del cañón, hasta abandonar la boca de fuego.

**-BALÍSTICA EXTERIOR:** Estudia el movimiento del proyectil, desde que abandona la boca de fuego del arma hasta que incide en el blanco, o lo que es lo mismo, el movimiento del proyectil durante su recorrido por el aire.

**-BALÍSTICA DE EFECTOS:** Estudia el comportamiento del proyectil desde que incide en el blanco hasta que se detiene, es decir, la precisión, la detención o poder de parada, la perforación o penetración.

**-BALÍSTICA IDENTIFICATIVA:** Parte de la Balística Forense que se ocupa de establecer una relación de identidad entre las marcas y lesiones aparecidas en los elementos no combustibles del cartucho y la parte del arma que ha ocasionado dichas lesiones.

### **3.13 ARMAS DE FUEGO** <sup>(17), (7)</sup>

Son máquinas termodinámicas que aprovechan la expansión de los gases producidos por la deflagración de la pólvora para lanzar un cuerpo al espacio, dotándole de una velocidad y energía suficientes que le permitan salvar una distancia en un tiempo mínimo y producir sobre un blanco un determinado tipo de trabajo.

El primer tipo de arma de fuego era simplemente un pequeño cañón de hierro forjado o de bronce, ajustado a un marco o una culata con bandas de metal o correas de cuero. Estas armas eran cargadas con polvo, taco y una pelota.

Su primer uso reportado es difícil de determinar con certeza, pero se informan varios casos en España entre 1247 y 1311. El primer uso registrado del cañón de mano como arma de caballería apareció en 1449.

#### **3.13.1 PARTES DE UN ARMA DE FUEGO** <sup>(16)</sup>

En general las partes de un arma de fuego son las siguientes:

**-Corredera:** Este es el conjunto móvil o el carro que se traslada sobre los carriles del armazón o las guías posibilitando el disparo. En la mayoría de las armas se utiliza como emplazamiento a los aparatos de puntería, como el guion y el alza, mientras que en otras armas solamente es el alza.

**-Cargador:** Este dispositivo guarda los cartuchos que serán introducidos a la pistola cuando se utilice. Puede estar ubicado en la empuñadura y también delante del guardamonte, puede estar fijo o puede separarse. Hay cargadores monofilares y también de doble fila.

**-Cañón:** Es un tubo de acero que puede estar fijo o puede moverse, y en su interior puede tener un rayado poligonal o un rayado convencional.

**-Arco Guardamonte:** es una parte que rodea al disparador (gatillo) en un arma de fuego, protegiéndolo de un disparo accidental.

**-Guión:** su funcionamiento se basa en estar alineado con el alza hacia cualquier objetivo seleccionado por el operador del arma.

**-Alza de la mira:** Regleta metálica graduada colocada en la mira, para poder variar el alcance de los tiros.

**-Martillo:** Golpea el cebo fulminante para explosionar la carga

**-Seguro:** Es un mecanismo utilizado para ayudar a prevenir el disparo accidental de un arma de fuego, contribuyendo así a una manipulación más segura de la misma.



Figura N°5: Partes generales de un arma de fuego

### 3.13.2 CLASIFICACIÓN DE UN ARMA DE FUEGO (30)

Las armas se pueden clasificar:

1. Según la longitud del cañón: cortas y largas.
2. Según el tipo de ánima: lisa y rallada.
3. Según la carga que dispara: arma de proyectil único y proyectiles múltiples
4. Según la forma de cargarlas: antecarga y retrocarga.

Para comprender un poco se profundiza en algunos términos:

- a. **Cañón:** Es el mecanismo encargado de convertir el calor liberado por el propulsante al quemarse en la energía cinética que empuja al proyectil. Es el tubo o caña por donde sale el proyectil.
- b. **Ánima:** Parte interna del tubo comprendida entre la boca y el alojamiento del proyectil.
- c. **Cartucho:** Es la unidad de carga de las armas de fuego. Está compuesto por:
  - **Proyectil (Bala):** Cuerpo metálico, de madera o de goma, lanzado por el arma de fuego al espacio por acción de los gases producto de la deflagración de la pólvora. Por su composición los proyectiles más comunes son: de plomo, plomo con baño de cobre, plomo con refuerzo en su base de cobre, núcleo de plomo y camisa de cobre, plomo con media camisa de cobre, plomo con camisa de aluminio y de plástico.

- **Vaina:** Pieza principal de la estructura del cartucho que sirve como recipiente contenedor para la carga de proyección y en la que además se encuentran alojadas la bala y cápsula iniciadora
- **Propulsante:** En los propulsantes existe una gran variedad de composiciones, formas y tamaños. Para un cañón y un proyectil concretos, el tipo y la cantidad de propulsante son variables. Esta se puede clasificar en:
  - La pólvora negra o pólvora de humo, se trata de una mezcla física a base de nitrato potásico, carbón vegetal y azufre.
  - La pólvora blanca o pólvora sin humo, la cual trata de un compuesto químico y no una mezcla física. A estas se les añaden pequeñas cantidades de sales alcalinas (para evitar el humo) y sales potásicas de los ácidos sulfúrico, nítrico, fosfórico, clorhídrico, oxálico y tartárico (para evitar las llamas).
- **Cápsula iniciadora:** Está formada por una cápsula que incorpora la mezcla explosiva, una sustancia especialmente sensible a la fricción, una llama o chispa eléctrica. Inicialmente estaba compuesta por un fulminante de metal, especialmente el fulminato de mercurio y el estifnato de plomo-tetraceno.

Cabe destacar que para disparar un proyectil ha de provocarse la combustión del propulsante mediante una carga iniciadora colocada en el seno de la carga de proyección. El propulsante, una vez que comienza a arder, continúa la combustión sin necesidad de oxígeno, produciendo los gases que impulsan al proyectil.

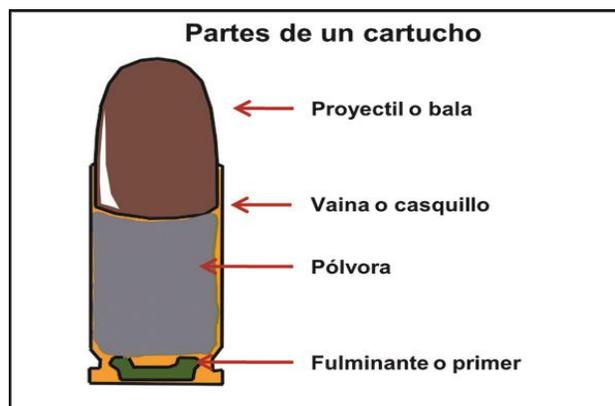


Figura N°6: Representación de partes de un cartucho

### 3.13.3 PROCESO DE DISPARO DE UN ARMA DE FUEGO <sup>(34)</sup>

Un disparo es un complejo fenómeno mecánico, químico, termodinámico y balístico que se desarrolla en apenas una fracción de tiempo después de que el tirador ha oprimido el gatillo del arma.

El diseño de los distintos elementos que forman un cartucho ha de ser óptimo para que el resultado sea el deseado, en conjunción con el arma en el que va a ser empleado.

Las fases del disparo se resumen en:

1. **Percusión.** El accionamiento del gatillo inicia un proceso mecánico en el arma que culmina cuando la aguja percutora incide sobre la cápsula iniciadora.
2. **Ignición.** La mezcla iniciadora se activa por el golpe de la aguja. La llama producida debe tener un volumen, longitud, temperatura y presión suficientes como para transmitirse a la carga de pólvora a través de los espacios entre los granos, provocando la ignición instantánea de la carga de pólvora.

**3. Combustión de la pólvora.** Cuando la superficie de los granos de pólvora se ha encendido, comienzan a producirse gases y altas presiones. La pólvora arde cada vez más aprisa y produce más gases y éstos hacen aumentar la temperatura y la presión, introduciéndose por todas partes y acelerándose la combustión de los granos en forma violenta.

Estos tres mecanismos o fases pueden observarse mejor en la siguiente figura:

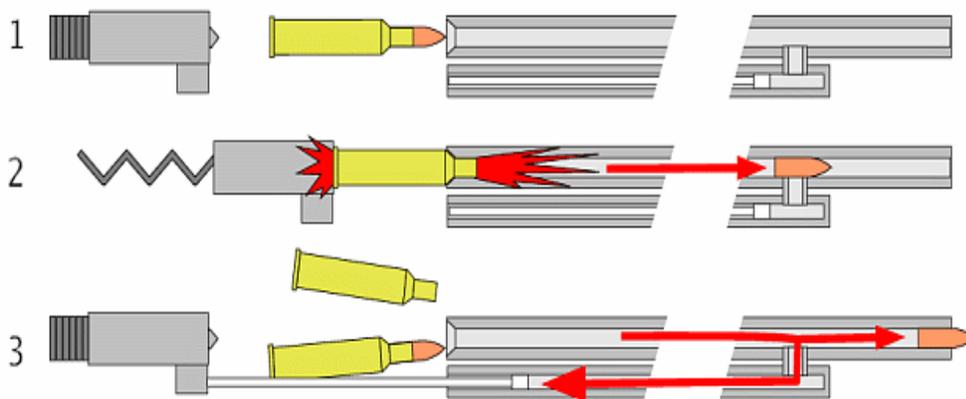


Figura N°7: Mecanismos de disparo en un arma de fuego

No sólo el proyectil sale expulsado del arma, sino que por todas las aperturas del arma va a salir una auténtica nube de productos gaseosos, incluyendo elementos que contiene la capsula iniciadora o fulminante, que hoy en día se constituye más que nada de estifnato de plomo u óxido de plomo, principalmente todo esto es expulsado de forma más ostensible por la boca de fuego del cañón.

El volumen de gases generados será directamente proporcional al calibre de la munición empleada por su mayor contenido en pólvora y mezcla iniciadora, estando su expulsión y dispersión condicionada a las características estructurales del arma.

Cuando un arma es accionada, emite gases que son expulsados por su cañón, arrastrando los residuos de disparo provenientes de la pólvora, el proyectil, la vaina y el fulminante.

Después de realizado el disparo, el proyectil sigue una trayectoria hasta llegar a su objetivo, la cual es representada de esta manera:

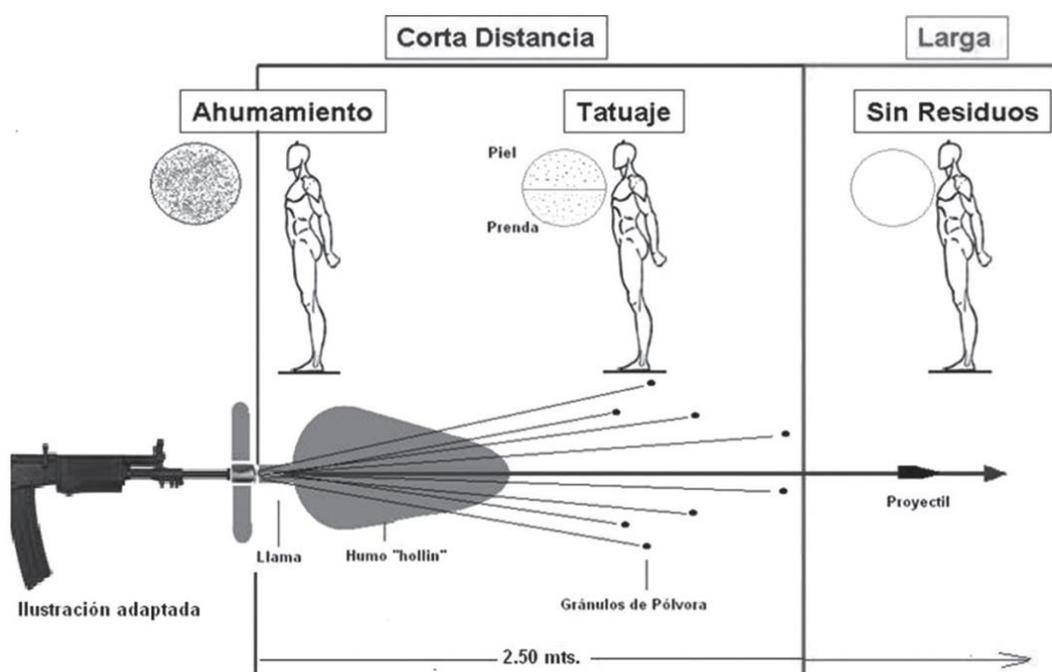


Figura N° 8: Trayectoria de un proyectil (33)

Al analizar la trayectoria que sigue el proyectil, se observa que las partículas de pólvora se esparcen a cierta distancia generando un residuo.

Los proyectiles para su análisis se recolectan haciendo uso de la prueba de cotejo de armas, la cual utiliza un tanque que abarca dimensiones similares a la trayectoria de un proyectil, asegurándose que este cae dentro y el residuo de pólvora puede ser recolectado y cuantificado.

### 3.14 PRUEBA DE COTEJO DE ARMAS (1)

Esta prueba se realiza con el propósito de recuperar los proyectiles muestra de forma intacta, se acondiciona un tanque con agua para evitar la alteración de los proyectiles.

El tanque recuperador de proyectiles es un equipo diseñado para uso en laboratorios forenses, en todo tipo de armas ligeras; tanto cortas como largas. Con cada arma, se hacen disparos al tanque para sostener el plomo y rescatar el casquillo. La razón es que en la parte interna del cañón de cada arma existen rasgos específicos. Los disparos los efectúa una misma persona y se realizan en dirección perpendicular a la superficie del agua a cierta distancia. Una vez efectuado el disparo, el proyectil pasa de un medio menos denso (aire) a uno de mayor densidad (agua) lo que origina resistencia y disminuye la velocidad del proyectil.

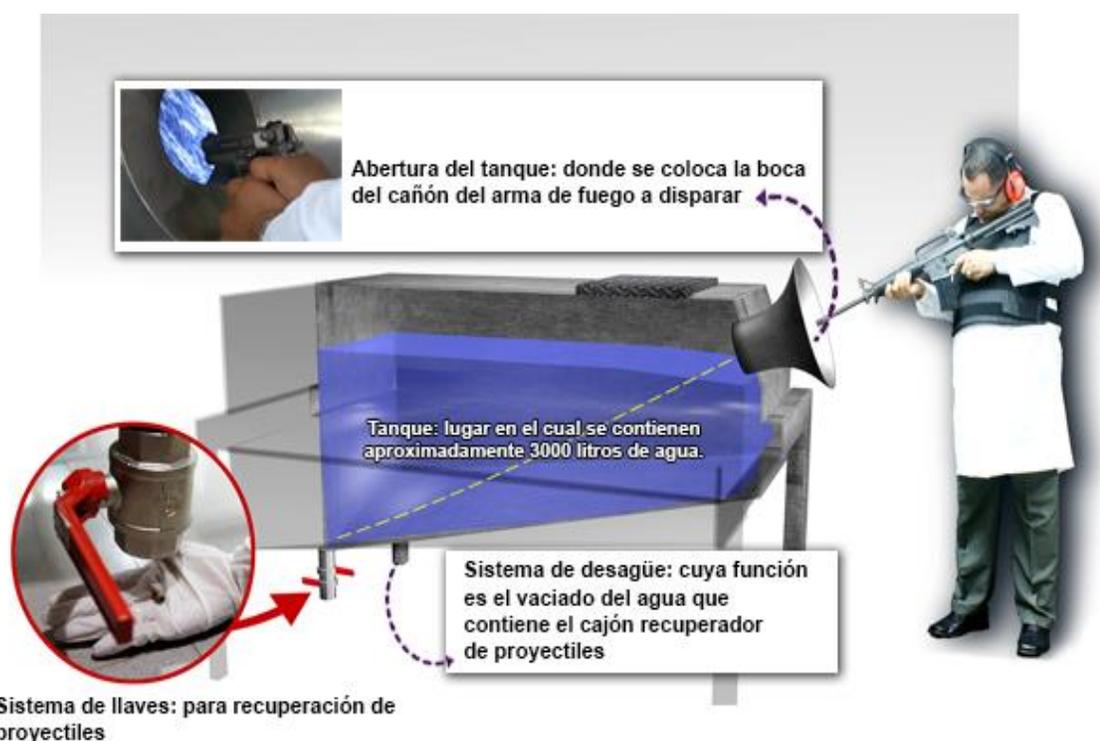


Figura N°9: Representación de tanque Recuperador de Proyectiles

**CAPÍTULO IV**  
**DISEÑO METODOLÓGICO**

## 4.0 DISEÑO METODOLOGICO

### 4.1 TIPO DE ESTUDIO

El estudio realizado es de tipo Experimental y Exploratorio

- **EXPERIMENTAL:** En la investigación se realizaron prácticas de laboratorio, en el Laboratorio Fisicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.
- **EXPLORATORIO:** Porque se indagó y se recopiló información sobre un tema poco estudiado, y así se definió concretamente para su estudio.

### 4.2 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó en las siguientes bibliotecas:

- "Dr. Benjamín Orozco" Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.
- Central de la Universidad de El Salvador (UES)
- Universidad Alberto Masferrer (USAM)
- Internet

### 4.3 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

La realización de la presente investigación, se tomaron muestras del tanque recuperador de proyectiles TB007 utilizado en el área AB001 localizada en la DPTC. Cada domingo por un período de dos meses y medio, que comprendió desde el 13 de mayo hasta el 22 de julio de 2018.

### **4.3.1 Universo**

El universo lo conformó el agua utilizada para llevar acabo la prueba de cotejo de armas en el tanque recuperador de proyectiles TB007.

### **4.3.2 Muestra**

Cada domingo, la muestra la conformó un litro de agua tomado de la boca del grifo utilizado para llenar el tanque TB007 y un litro de agua tomado de la boca donde se descarga el agua, haciendo un total de 20 muestras. El recipiente que se utilizó para recolectar las muestras fue un frasco de boca ancha de polietileno previamente tratado con 5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

### **4.3.3 Muestreo**

Se realizó de forma dirigida y puntual del grifo que abastece el tanque TB007 y del grifo que desecha el agua del mismo tanque, para lo cual, cada domingo comprendido desde el 13 de mayo hasta el 22 de julio de 2018 se tomó un litro de agua de llenado y un litro de agua de descarte.

Para determinar la cantidad de muestra de agua a tomar, se utilizó la NSO 13.49.01:09: Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor (Ver Anexo N° 4).

Se determinó que el muestreo se realizaría en 10 semana continuas, tomando el criterio de precisión: ya que según las guías de validación es la cantidad mínima necesaria para evaluar precisión de un método. (8), (27)

## **4.4 PARTE EXPERIMENTAL**

Para la toma de muestras de llenado se recolectó un litro de agua de forma puntual y directamente del grifo que abastece el tanque TB007 y para las muestras de vaciado se recolectó otro litro de agua de la boca del grifo de descarte del mismo tanque, todas las muestras se recolectaron en un recipiente de boca ancha de polietileno tratado previamente con 5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, el cual fue

etiquetado con su respectivo código y se transportó para su análisis al Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, por medio de una hielera conteniendo placas de congelación para preservarlas.

#### 4.4.1 TECNICA

Se utilizó la técnica especificada en el kit de plomo número 09717 marca MERCK. (Ver Anexo N° 1). El principio del método es que en solución alcalina los iones plomo (II) forman con la 4-(2-piridilazo)-resorcina (PAR) un complejo rojo que se determina espectrofotométricamente utilizando equipo SHIMADZU UV-1800 a una longitud de onda de 525 nm.

#### 4.4.2 PREPARACIÓN DE CURVA DE CALIBRACIÓN

##### 4.4.2.1 Cristalería y Equipo (Ver Anexos N° 5 y N° 6)

##### 4.4.2.2 Preparación de solución stock de plomo a 10 ppm

Para la realización de dicha solución se partió del estándar de plomo 1000 ppm (Ver Anexos N°7 y N°8)

- Tomar una alícuota de 1.0 mL de estándar de plomo 1000 ppm
- Agregar a un balón volumétrico de 100.0 mL y llevar a volumen con agua purificada.
- Rotular como solución stock



Figura N° 10: Diagrama de dilución de solución stock 10 ppm

#### 4.4.2.3 Preparación de estándares de trabajo a diferentes concentraciones

Todas estas concentraciones se prepararon a partir de la solución stock de 10 ppm.

##### -Preparación de solución estándar de concentración de 0.10 ppm de Pb

- Tomar una alícuota de 1.0 mL de solución stock de plomo 10 ppm y transferirlo a un balón volumétrico de 10.0 mL
- Llevar a volumen con agua ultra pura
- Tomar una alícuota de 1.0 mL de esta solución preparada y transferirla a un balón volumétrico de 10.0 mL
- Llevar a volumen con agua ultra pura
- Rotular el balón como "0.10 ppm"

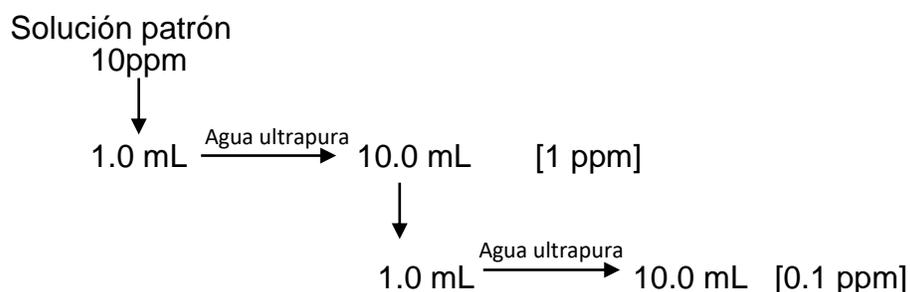


Figura N° 11: Diagrama de dilución de estándar 0.10 ppm

**NOTA:** Adicionar a una bureta con capacidad de 10 mL (serie 01) la solución stock de plomo 10 ppm para preparar las soluciones estándares restantes.

##### -Preparación de solución estándar de concentración de 0.70 ppm de Pb

- Adicionar 0.7 mL de solución stock de 10 ppm por medio de una bureta calibrada a un balón volumétrico de 10.0 mL
- Llevar a volumen con agua ultrapura
- Rotular este balón como "0.70 ppm"



Figura N° 12: Diagrama de dilución de estándar 0.70 ppm

De la misma manera se procedió a preparar las demás soluciones estándares a diferentes concentraciones, haciendo uso del siguiente cuadro.

Cuadro N° 3: Preparación de soluciones estándares restantes

Concentración de la solución	Alícuota a tomar
1.2 ppm	1.2 mL
1.7 ppm	1.7 mL
2.3 ppm	2.3 mL
2.8 ppm	2.8 mL
3.4 ppm	3.4 mL
3.9 ppm	3.9 mL
4.4 ppm	4.4 mL
5.0 ppm	5.0 mL

#### 4.4.3 PREPARACIÓN Y LECTURA DE BLANCO

##### Procedimiento:

- Añadir a un tubo de ensayo con tapa rosca 8.0 mL de agua ultrapura utilizando una bureta calibrada con capacidad de 10 mL.
- Con ayuda de una micropipeta, trasladar 500  $\mu$ L del reactivo Pb-1 en el tubo de ensayo.

- Añadir 500  $\mu\text{L}$  del reactivo Pb-2 con micropipeta al tubo de ensayo y mezclar durante 1 minuto (Usar cronómetro).
- Ambientar las dos cubetas de 1 cm con la solución preparada y homogenizada.
- Añadir el blanco a ambas cubetas.
- Colocar las cubetas en el espectrofotómetro.
- Proceder a la lectura a una longitud de onda de 525 nm (Ver Anexo N° 9 y N°10)

**NOTA:** Para cada día de lectura de muestra se preparó un blanco distinto.

#### **4.4.4 LECTURA DE PATRONES DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN**

**Procedimiento:**

- Añadir a un tubo de ensayo pequeño 8.0 mL de solución patrón utilizando una bureta calibrada con capacidad de 10 mL.
- Con ayuda de una micropipeta, trasladar 500  $\mu\text{L}$  del reactivo Pb-1 en el tubo de ensayo.
- Añadir 500  $\mu\text{L}$  del reactivo Pb-2 con micropipeta al tubo de ensayo y mezclar durante 1 minuto. (Usar cronómetro).
- Después del tiempo de reacción sacar la celda para muestra del equipo
- Ambientar la cubeta de 1 cm con la solución preparada y homogenizada.
- Añadir la solución patrón a la cubeta.
- Colocar cubeta con solución estándar en el compartimiento para muestra limpiando la misma con una tela suave.
- Proceder a la lectura a una longitud de onda de 525 nm. (Ver Anexo N° 9 y N°10)

- Anotar los valores de absorbancias obtenidas en tabla de resultados. (Ver Anexo N° 11)

**NOTA:** Se realizó para cada una de las soluciones estándares preparadas. (Ver Anexo N° 12)

#### **4.4.5 LECTURA DE LA MUESTRA**

##### **Procedimiento:**

- Comprobar el valor de pH de la muestra utilizando tiras de papel pH, el cual debe estar en un intervalo de 3 – 6. No se utiliza un pHmetro ya que la muestra debe estar solamente dentro del rango.
- En caso de ser necesario corregir el valor, añadir gota a gota solución diluida de ácido nítrico o de amoníaco según sea el caso. (Ver Anexo N° 13)
- Añadir a un tubo de ensayo pequeño 8.0 mL de muestra utilizando una bureta calibrada con capacidad de 10 mL.
- Con ayuda de una micropipeta, trasladar 500  $\mu$ L del reactivo Pb-1 en el tubo de ensayo.
- Añadir 500  $\mu$ L del reactivo Pb-2 con micropipeta al tubo de ensayo y mezclar durante 1 minuto.
- Sacar la celda del compartimiento para muestra.
- Ambientar la cubeta de 1 cm con la solución muestra homogenizada.
- Añadir la solución coloreada de la muestra a la cubeta.
- Colocar cubeta con blanco en el compartimiento para muestra.
- Colocar cubeta con solución muestra en su respectivo compartimiento limpiando la misma con una tela suave.

- Proceder a la lectura a una longitud de onda de 525 nm (Ver Anexo N° 9 y N°10)
- Anotar los valores de absorbancias obtenidas en tabla de resultados. (Ver Anexo N° 14)

**NOTA:** Se realizaron tres lecturas para cada muestra

#### **4.5 TRATAMIENTO ESTADISTICO**

- Evaluar los datos de la curva de calibración por el método de mínimos cuadrados para determinar su tendencia lineal.
- Cálculo de datos anómalos de los residuos por prueba de homocedasticidad.
- Análisis de muestras por espectrofotometría obteniendo concentraciones y absorbancias arrojadas directamente por el equipo SHIMADZU UV-1800.

#### **4.6 RESULTADOS ESPERADOS**

- Según el criterio establecido el valor del coeficiente de determinación debe ser menor o igual a 0.98.
- Los valores de los residuos estándares deben ser menores a 1.5.
- Según la norma NSO 13.49.01:09: Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor, se esperan niveles de plomo menores a 0.4 ppm.

-

**CAPÍTULO V**  
**RESULTADOS**

## 5.0 RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Para la realización del estudio se procedió a la toma de muestras de agua de llenado y de vaciado del tanque TB007 que se encuentra en el área AB001 de la DPTC, visitando la dependencia policial cada domingo comprendido entre 13 de mayo y el 22 de julio de 2018, haciendo un total de 10 muestras de llenado y 10 muestras de vaciado. (Ver Anexo N° 15, N° 16)

Se realizó la toma de muestra basándose en las guías establecidas en la norma ISO 5667, de las cuáles se utilizaron las partes: 1, 2, 3 y 10.

El recipiente utilizado para cada una de las muestras fue un frasco de boca ancha de polietileno previamente tratado con 5 mL  $H_2SO_4$ , el cual se etiquetó con su código respectivo para evitar confusiones (Ver Anexo N° 17). Ambas muestras fueron trasladadas al laboratorio fisicoquímico de aguas por medio de una hielera conteniendo placas de congelación para preservarlas.

Las muestras comprendidas del 13 de mayo al 3 de junio fueron tratadas con 2 mL de  $HNO_3$  concentrado para evitar la pérdida de plomo por volatilización ya que los análisis de las muestras no se realizaron inmediatamente.

El primer domingo de muestreo se tomó muestra de llenado del tanque con el fin de llevar un control y asegurar que el agua no estuviese contaminada de plomo antes de realizar los disparos de la semana en curso.

Los domingos comprendidos entre el 20 de mayo y el 15 de julio de 2018 se tomaron tanto muestra de llenado como de vaciado y el último domingo se procedió solamente con muestra de vaciado.

Así mismo se realizó una curva de calibración a diferentes concentraciones utilizando cristalería calibrada y certificada para evaluar la capacidad del

método analítico de obtener resultados que sean directamente proporcionales a la concentración de plomo en las muestras que se analizaron.

Esta curva de calibración fue realizada utilizando un estándar de plomo de 1000 ppm y el kit correspondiente al número 09717

Para facilitar la realización de las diluciones correspondientes, del estándar de 1000 ppm se preparó una solución stock de 10 ppm de concentración, siguiendo el diagrama correspondiente a la Figura N° 10 (página 60).

A partir de esta solución stock se realizaron soluciones estándares a las siguientes concentraciones (0.10, 0.70, 1.20, 1.70, 2.30, 2.80, 3.40, 3.90, 4.40, 5.00) ppm, siguiendo los diagramas respectivos para cada una de dichas concentraciones.

La dilución de 0.10 ppm se hizo de diferente manera puesto que es una concentración muy baja. Las alícuotas fueron tomadas con pipeta de 1.0 mL. (Ver Figura N° 11 en la página 61).

Las alícuotas de las siguientes soluciones estándares fueron tomadas de una bureta de 10 mL y se prepararon siguiendo el diagrama de dilución de la Figura N°12 (página 62)

De la misma manera se procedió a preparar las demás soluciones estándares a diferentes concentraciones (Ver Cuadro N° 3 en la página 62). Después de realizadas todas las diluciones se procedió a la preparación de un blanco y luego a la lectura de este.

Posterior a la lectura del blanco se leyeron por triplicado cada una de las muestras utilizando el espectrofotómetro Shimadzu UV-1800 a una longitud de onda de 525 nm.

Luego de la lectura se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla N°1.

Tabla N° 1: Lectura de curva de calibración de estándar de Plomo

Concentración estándar (mg/L)	Absorbancia
0.0	0.000
0.0	0.000
0.0	0.000
0.1	0.007
0.1	0.008
0.1	0.007
0.7	0.103
0.7	0.103
0.7	0.103
1.2	0.171
1.2	0.170
1.2	0.172
1.7	0.252
1.7	0.252
1.7	0.252
2.3	0.356
2.3	0.355
2.3	0.355
2.8	0.430
2.8	0.429
2.8	0.429
3.4	0.519
3.4	0.519
3.4	0.517
3.9	0.608
3.9	0.608
3.9	0.608
4.4	0.661
4.4	0.662
4.4	0.662
5.0	0.727
5.0	0.726
5.0	0.725

Se realizó una gráfica utilizando el programa EXCEL, para tener una mejor visualización de los datos que se obtuvieron para el plomo, ver figura N° 13:

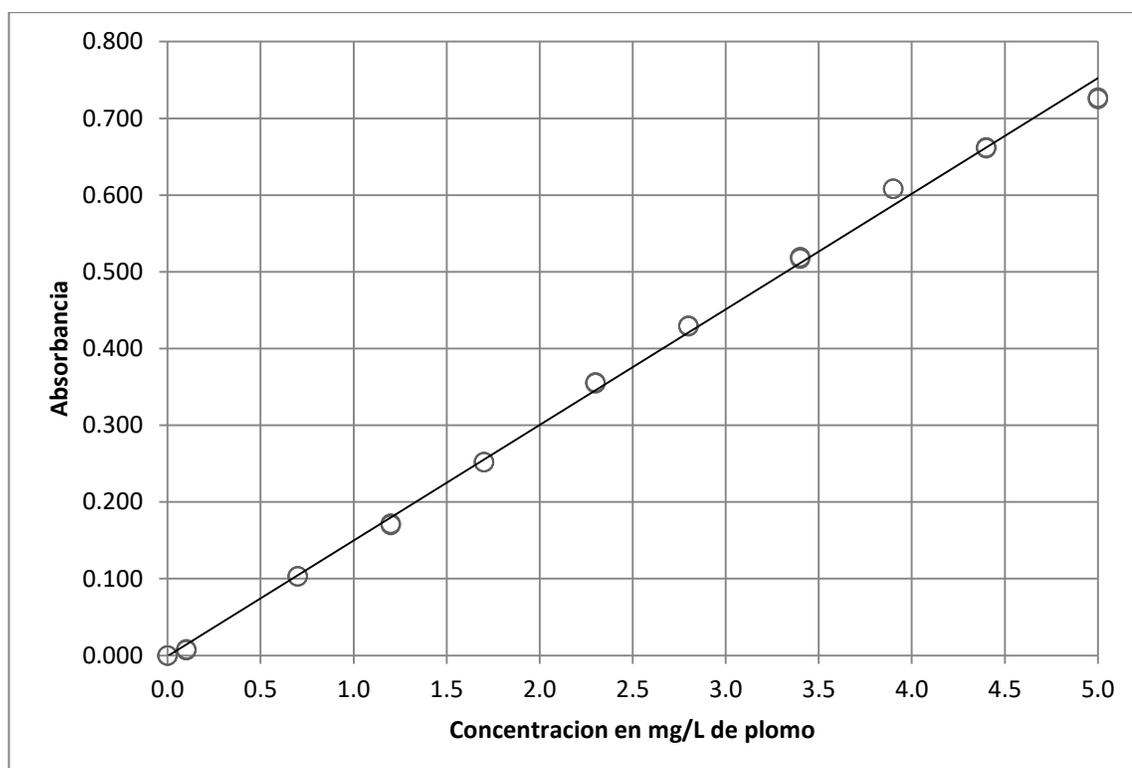


Figura N° 13: Gráfico de curva de calibración de plomo

En la figura N°13, se presenta que los puntos muestran una tendencia lineal. Sin embargo, para asegurar lo observado, se determinó esa tendencia lineal de la curva de calibración por medio de la técnica de mínimos cuadrados.

La técnica se usa comúnmente en el ajuste de las curvas de calibración, y para ello se utilizaron las siguientes funciones matemáticas.

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{N}$$

A partir de las funciones anteriores se procedió al cálculo de las siguientes ecuaciones <sup>(18)</sup>:

Pendiente de la recta  $m = S_{xy}/S_{xx}$

Ordenada en el origen  $b = \bar{y} - m\bar{x}$

Ecuación lineal  $y = mx + b$

Coeficiente de determinación  $r^2 = \frac{[n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)]^2}{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}$

La tabla N° 2 se utilizó para obtener valores que ayudaron al desarrollo de las funciones matemáticas.

Tabla N° 2: Resultados de método de mínimos cuadrados

N°	Concentración (PPM)	Absorbancia	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	$X_i * Y_i$
1	0.0	0.000	-2.3182	5.3740	-0.3484	0.1214	0.0000
2	0.0	0.000	-2.3182	5.3740	-0.3484	0.1214	0.0000
3	0.0	0.000	-2.3182	5.3740	-0.3484	0.1214	0.0000
4	0.1	0.007	-2.2182	4.9203	-0.3414	0.1165	0.0007
5	0.1	0.008	-2.2182	4.9203	-0.3404	0.1158	0.0008
6	0.1	0.007	-2.2182	4.9203	-0.3414	0.1165	0.0007
7	0.7	0.103	-1.6182	2.6185	-0.2454	0.0602	0.0721
8	0.7	0.103	-1.6182	2.6185	-0.2454	0.0602	0.0721
9	0.7	0.103	-1.6182	2.6185	-0.2454	0.0602	0.0721
10	1.2	0.171	-1.1182	1.2503	-0.1774	0.0315	0.2052
11	1.2	0.170	-1.1182	1.2503	-0.1784	0.0318	0.2040
12	1.2	0.172	-1.1182	1.2503	-0.1764	0.0311	0.2064
13	1.7	0.252	-0.6182	0.3821	-0.0964	0.0093	0.4284
14	1.7	0.252	-0.6182	0.3821	-0.0964	0.0093	0.4284
15	1.7	0.252	-0.6182	0.3821	-0.0964	0.0093	0.4284
16	2.3	0.356	-0.0182	0.0003	0.0076	0.0001	0.8188
17	2.3	0.355	-0.0182	0.0003	0.0066	0.0000	0.8165
18	2.3	0.355	-0.0182	0.0003	0.0066	0.0000	0.8165
19	2.8	0.430	0.4818	0.2321	0.0816	0.0067	1.2040
20	2.8	0.429	0.4818	0.2321	0.0806	0.0065	1.2012
21	2.8	0.429	0.4818	0.2321	0.0806	0.0065	1.2012

Tabla N° 2 continuación

22	3.4	0.519	1.0818	1.1703	0.1706	0.0291	1.7646
23	3.4	0.519	1.0818	1.1703	0.1706	0.0291	1.7646
24	3.4	0.517	1.0818	1.1703	0.1686	0.0284	1.7578
25	3.9	0.608	1.5818	2.5021	0.2596	0.0674	2.3712
26	3.9	0.608	1.5818	2.5021	0.2596	0.0674	2.3712
27	3.9	0.608	1.5818	2.5021	0.2596	0.0674	2.3712
28	4.4	0.661	2.0818	4.3340	0.3126	0.0977	2.9084
29	4.4	0.662	2.0818	4.3340	0.3136	0.0984	2.9128
30	4.4	0.662	2.0818	4.3340	0.3136	0.0984	2.9128
31	5.0	0.727	2.6818	7.1921	0.3786	0.1434	3.6350
32	5.0	0.726	2.6818	7.1921	0.3776	0.1426	3.6300
33	5.0	0.725	2.6818	7.1921	0.3766	0.1419	3.6250
$\Sigma$	76.5	11.496	0.0000	89.9291	0.0000	2.0468	40.2021
PROMEDIO	2.3182	0.3484					

Con los datos obtenidos se sustituyeron los valores en cada una de las funciones obteniendo los siguientes resultados:

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2 = 89.9291$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2 = 2.0468$$

$$S_{xy} = \sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{N} = 40.2021 - \frac{76.5 \times 11.496}{33} = 13.5523$$

$$m = S_{xy}/S_{xx} = \frac{13.5523}{89.9291} = 0.1507$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} = 0.3484 - (0.1507 \times 2.3182) = -0.0010$$

Cuadro N° 4: Valores obtenidos de método de mínimos cuadrados

<b>Función</b>	<b>Valor</b>
Sxx	89.9291
Syy	2.0468
Sxy	13.5523
M	0.1507
Ordenada	-0.0010

Obteniendo la siguiente ecuación lineal:

$$y = 0.1507x - 0.0010$$

Para proceder al cálculo del coeficiente de determinación se utilizó la tabla N° 3.

Tabla N° 3: Resultados para cálculo de coeficiente de determinación

N°	Concentración (PPM)	x <sup>2</sup>	Absorbancia	y <sup>2</sup>	xy
1	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000
2	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000
3	0.0	0.000	0.000	0.000	0.0000
4	0.1	0.010	0.007	0.000	0.0007
5	0.1	0.010	0.008	0.000	0.0008
6	0.1	0.010	0.007	0.000	0.0007
7	0.7	0.490	0.103	0.011	0.0721
8	0.7	0.490	0.103	0.011	0.0721
9	0.7	0.490	0.103	0.011	0.0721
10	1.2	1.440	0.171	0.029	0.2052
11	1.2	1.440	0.170	0.029	0.2040
12	1.2	1.440	0.172	0.030	0.2064
13	1.7	2.890	0.252	0.064	0.4284
14	1.7	2.890	0.252	0.064	0.4284
15	1.7	2.890	0.252	0.064	0.4284
16	2.3	5.290	0.356	0.127	0.8188
17	2.3	5.290	0.355	0.126	0.8165
18	2.3	5.290	0.355	0.126	0.8165
19	2.8	7.840	0.430	0.185	1.2040
20	2.8	7.840	0.429	0.184	1.2012
21	2.8	7.840	0.429	0.184	1.2012
22	3.4	11.560	0.519	0.269	1.7646
23	3.4	11.560	0.519	0.269	1.7646
24	3.4	11.560	0.517	0.267	1.7578
25	3.9	15.210	0.608	0.370	2.3712
26	3.9	15.210	0.608	0.370	2.3712
27	3.9	15.210	0.608	0.370	2.3712
28	4.4	19.360	0.661	0.437	2.9084
29	4.4	19.360	0.662	0.438	2.9128
30	4.4	19.360	0.662	0.438	2.9128
31	5.0	25.000	0.727	0.529	3.6350
32	5.0	25.000	0.726	0.527	3.6300
33	5.0	25.000	0.725	0.526	3.6250
SUMA	76.500	267.270	11.496	6.052	40.202
$\Sigma^2$	5852.250		132.158		

Con los datos obtenidos en la tabla N°3 se sustituyeron los valores en la ecuación del coeficiente de determinación

$$r^2 = \frac{[n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)]^2}{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}$$

$$r^2 = \frac{[33(40.202) - (76.500)(11.496)]^2}{[33(267.270) - (5852.250)][33(6.052) - (132.158)]}$$

$$r^2 = 0.9978$$

El criterio de aceptación para el coeficiente de determinación es  $r^2 > 0.98$  por lo tanto el resultado obtenido nos indica que efectivamente la curva de calibración tiene tendencia lineal y se adecua al propósito del método, es decir a la cuantificación del analito buscado.

Haciendo uso de la ecuación lineal antes obtenida se realizaron los cálculos de las nuevas concentraciones.

$$y = 0.1507x - 0.0010$$

Despejando x obtenemos la siguiente ecuación:

$$x = \frac{y + 0.0010}{0.1507}$$

En la cual el valor de (y) se sustituye con los datos de las absorbancias obtenidos. Estas nuevas concentraciones fueron utilizadas para el análisis de datos anómalos aplicando los principios de homocedasticidad, esto con el fin de descartar cualquier fuente de error posible.

Para dicho análisis se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Pronóstico para } y = 0.1507x - 0.0010$$

$$\text{Residuos} = (y_i - \hat{y}_i).$$

$$\text{Residuo estándar} = \left| \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{s} \right|$$

Tabla N° 4: Análisis de Residuos

Dato	Concentración	Pronóstico para (y)	Residuo	Residuo estándar
1	0.0	-0.0010	0.0010	0.0829
2	0.0	-0.0010	0.0010	0.0829
3	0.0	-0.0010	0.0010	0.0829
4	0.1	0.0141	-0.0071	-0.5959
5	0.1	0.0141	-0.0061	-0.5117
6	0.1	0.0141	-0.0071	-0.5959
7	0.7	0.1045	-0.0015	-0.1265
8	0.7	0.1045	-0.0015	-0.1265
9	0.7	0.1045	-0.0015	-0.1265
10	1.2	0.1799	-0.0089	-0.7447
11	1.2	0.1799	-0.0099	-0.8288
12	1.2	0.1799	-0.0079	-0.6606
13	1.7	0.2552	-0.0032	-0.2695
14	1.7	0.2552	-0.0032	-0.2695
15	1.7	0.2552	-0.0032	-0.2695
16	2.3	0.3456	0.0104	0.8727
17	2.3	0.3456	0.0094	0.7886
18	2.3	0.3456	0.0094	0.7886
19	2.8	0.4210	0.0090	0.7592
20	2.8	0.4210	0.0080	0.6751
21	2.8	0.4210	0.0080	0.6751
22	3.4	0.5114	0.0076	0.6398
23	3.4	0.5114	0.0076	0.6398
24	3.4	0.5114	0.0056	0.4716
25	3.9	0.5867	0.0213	1.7879
26	3.9	0.5867	0.0213	1.7879
27	3.9	0.5867	0.0213	1.7879
28	4.4	0.6621	-0.0011	-0.0919
29	4.4	0.6621	-0.0001	-0.0078
30	4.4	0.6621	-0.0001	-0.0078
31	5.0	0.7525	-0.0255	-2.1458
32	5.0	0.7525	-0.0265	-2.2299
33	5.0	0.7525	-0.0275	-2.3140

De igual forma que para el método de los mínimos cuadrados se hicieron los cálculos necesarios para la obtención de dichos valores.

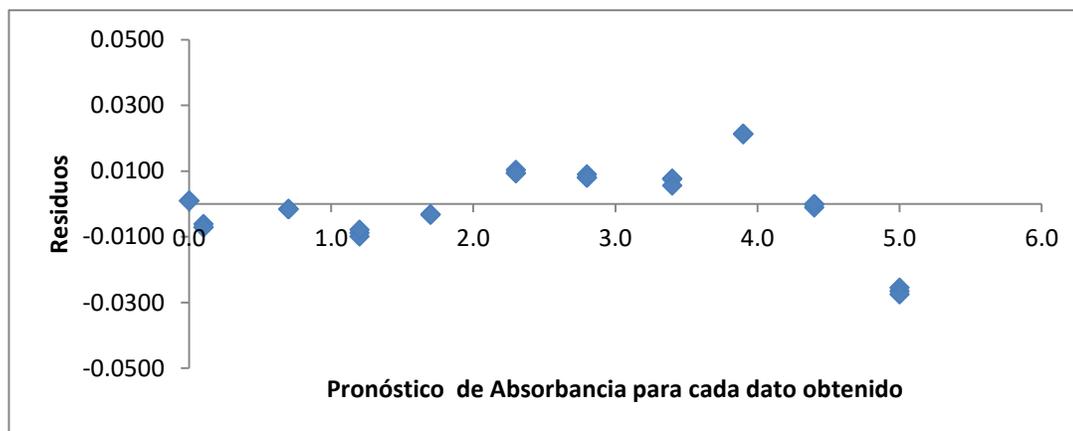


Figura N° 14: Gráfico de distribución de residuos

En la gráfica N°14 se observa que los datos obtenidos se encuentran distribuidos alrededor de la linealidad y no sobrepasa el criterio establecido de 1.5 por lo que todos los valores son aceptados.

Después de realizar los cálculos a la curva de calibración se procedió a cuantificar la cantidad de plomo contenida en las diferentes muestras tomadas de agua, utilizando un Espectrofotómetro SHIMADZU UV-1800. Como se puede observar en las tablas N°5 y N°6, las mediciones se realizaron por triplicado y las concentraciones de plomo varían por semana, esto dependiendo de la cantidad de disparos que se realizaron a lo largo de cada una de ellas.

Ya que todas las muestras analizadas se encontraban dentro del rango de pH de 3-6, no fue necesario el uso de ningún reactivo para su ajuste.

Posterior a la lectura de todas las muestras se tabularon los valores de plomo contenidos en cada una de ellas.

Tabla N° 5: Concentración en mg/L de plomo en las muestras de llenado

Muestra	Concentración (ppm)	Absorbancia
LP01	NO DETECTADO	
LP01		
LP01		
LP02	NO DETECTADO	
LP02		
LP02		
LP03	0.092	0.013
LP03	0.093	0.013
LP03	0.094	0.013
LP04	0.057	0.008
LP04	0.059	0.008
LP04	0.059	0.008
LP05	0.052	0.007
LP05	0.050	0.007
LP05	0.052	0.007
LP06	NO DETECTADO	
LP06		
LP06		
LP07	NO DETECTADO	
LP07		
LP07		
LP08	NO DETECTADO	
LP08		
LP08		
LP09	NO DETECTADO	
LP09		
LP09		
LP10	NO DETECTADO	
LP10		
LP10		

Tabla N° 6: Concentración en mg/L de plomo en las muestras de vaciado

Muestra	Concentración (ppm)	Absorbancia
VP01	0.135	0.019
VP01	0.144	0.021
VP01	0.151	0.022
VP02	0.144	0.021
VP02	0.145	0.021
VP02	0.147	0.021
VP03	0.186	0.027
VP03	0.185	0.027
VP03	0.184	0.027
VP04	0.156	0.022
VP04	0.159	0.023
VP04	0.160	0.023
VP05	0.162	0.023
VP05	0.159	0.023
VP05	0.158	0.023
VP06	0.143	0.021
VP06	0.143	0.021
VP06	0.142	0.020
VP07	0.009	0.000
VP07	0.010	0.000
VP07	0.011	0.001
VP08	NO DETECTADO	
VP08		
VP08		
VP09	NO DETECTADO	
VP09		
VP09		
VP10	NO DETECTADO	
VP10		
VP10		

El término "NO DETECTADO" se coloca como un criterio técnico para todos aquellos datos en los cuales los valores fueron negativos o cero.

Luego se procedió a calcular el promedio de muestras de llenado y vaciado por semana haciendo un total de 10 datos, tal como lo muestra la tabla N°7.

Tabla N°7: Concentración de mg/L de plomo de llenado y vaciado por semana

Semana	Concentración en ppm de plomo en muestras de llenado	Concentración en ppm de plomo en muestras de vaciado	Porcentaje (%) de aporte de plomo de la pólvora
1	0.000	0.143	<b>100</b>
2	0.000	0.145	<b>100</b>
3	0.093	0.185	<b>49.73</b>
4	0.058	0.158	<b>63.29</b>
5	0.051	0.160	<b>68.13</b>
6	0.000	0.143	<b>100</b>
7	0.000	0.010	<b>100</b>
8	0.000	0	<b>0</b>
9	0.000	0	<b>0</b>
10	0.000	0	<b>0</b>

En la tabla N°7 se puede observar que el aporte de plomo proviene de la pólvora contenida en el arma.

Se realiza un gráfico representado en la figura N° 15, utilizando el programa EXCEL para tener una mejor visualización de la variación de los niveles de concentración de plomo por muestra de llenado y vaciado, para hacer el gráfico

se utilizó el promedio de los valores de concentración obtenidos por semana, haciendo un total de 10 datos.

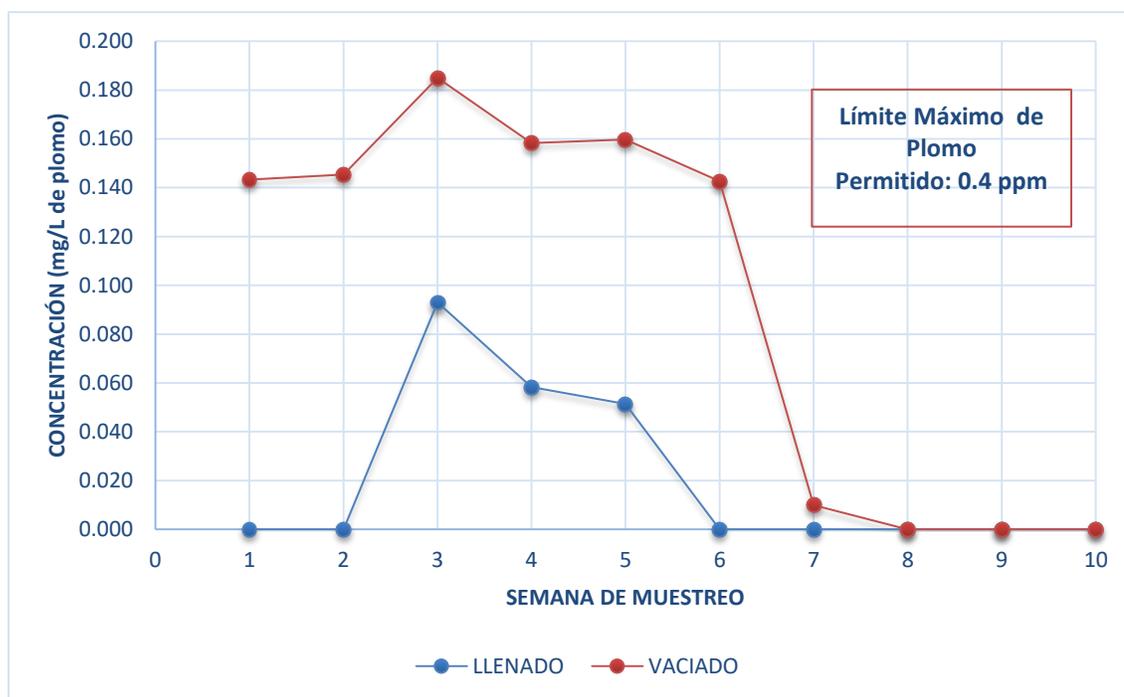


Figura N° 15: Gráfico de los valores de plomo obtenidos en las muestras

En la figura N° 15 se puede observar que en la primera y segunda semana el agua de llenado no posee concentración de plomo, en la semana 3, 4 y 5 el agua de llenado incrementa un poco la concentración de plomo sin exceder el límite máximo permitido que es de 0.4 ppm de plomo; en las semanas restantes no hay presencia de plomo en el agua de llenado.

Con respecto al agua de vaciado se observa que de la semana 1 a la semana 7 hay presencia de concentración de plomo mayores a las que se encontraron en el agua de llenado pero no sobrepasan los límites que se establecen en la

norma NSO 13.49.01:09 Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor, de 0.4 ppm.

Sin embargo, aunque el plomo se encuentre en pequeñas concentraciones siempre puede afectar el medio ambiente; en la semana 8, 9 y 10 se puede observar que no hay presencia de plomo, estas variaciones de concentración en el agua de vaciado dependerán de la cantidad de disparos que se realicen por semana, al tanque en estudio.

Debido a que los resultados obtenidos muestran valores cercanos a cero se procedió a calcular el límite de detección (LOD) ya que este nos permite conocer la concentración más baja del analito que puede ser detectado por el método, sin embargo, este límite no es preciso ni exacto por lo que también se calculó el límite de cuantificación (LOQ) para determinar el valor más bajo que el método es capaz de leer, este límite si es preciso y exacto.

Se calcularon ambos límites debido a que permiten determinar la sensibilidad del método.

Para el cálculo de ambos límites se utilizan los valores de los blancos obtenidos en las distintas lecturas, tanto de curva de calibración como de muestras analizadas., utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{LOD} = 3.29 \times S_0$$

$$\text{LOQ} = 10 \times S_0$$

Cabe destacar que para cada día de análisis se utilizó un blanco distinto, los cuales presentaron los valores que se muestran en la tabla N°8.

Tabla N° 8: Valores de blancos obtenidos

Número	Fecha de determinación	Absorbancia
1	11/jun/18	0.000
2		0.000
3		0.001
4	12/jun/18	0.000
5		0.000
6		0.000
7	18/jun/18	0.000
8		0.000
9		0.001
10	25/jun/18	-0.000
11		-0.001
12		-0.001
13	02/jul/18	0.000
14		0.000
15		0.000
16	09/jul/18	0.000
17		0.000
18		0.000
19	16/jul/18	0.001
20		0.001
21		0.001
22	23/jul/18	0.000
23		0.000
24		0.000

Donde:

$$S_0=0.0005$$

Sustituyendo el  $S_0$  en la fórmula se obtuvieron los siguientes valores:

$$LOD = 3.29 \times S_0 = 3.29 \times 0.0005 = 0.0016 \text{ ppm}$$

$$LOQ = 10 \times S_0 = 10 \times 0.0005 = 0.0050 \text{ ppm}$$

Esto indica que la concentración más baja del analito que puede ser detectada es de 0.0016 ppm y que el nivel más bajo para que el desempeño sea aceptable es de 0.0050 ppm, esto quiere decir que concentraciones menores

pueden detectarse, pero no cuantificarse. Por lo que todos los valores obtenidos cumplen con lo antes descrito.

Posteriormente, se entregó a las autoridades de la DPTC (Ver Anexo N° 18) un informe escrito (Ver Anexo N° 19), con el fin de informarles sobre los resultados obtenidos y darles las respectivas recomendaciones.

**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES**

## 6.0 CONCLUSIONES

1. La curva de calibración posee linealidad y se adecua al propósito del método.
2. Se descarta fuentes de errores posibles ya que los valores de los residuos estándares se encuentran correctamente distribuidos alrededor de la linealidad de forma aleatoria, todos los datos obtenidos de la curva de calibración son aceptados.
3. Los valores de plomo tanto de muestras de agua de llenado como vaciado del tanque TB007 no sobrepasan los límites máximos permitidos por la norma salvadoreña vigente NSO 13.49.01:09: Aguas Residuales descargadas a un Cuerpo Receptor, el cual es de 0.4 ppm de plomo.
4. Los valores cuantificados por el método son confiables, ya que están por encima del límite de cuantificación calculado.
5. Si la población entra en contacto con el agua desechada, esta podría causar graves daños a su salud, a pesar que los niveles de concentración sean bajos, debido a que el plomo se acumula y afecta a diversos sistemas del cuerpo, actualmente ya se ha presentado el caso de un paciente con intoxicación por plomo y antecedentes de haber estado en contacto con este metal.
6. La salud del personal que manipula las armas al momento de realizar la prueba puede verse perjudicada, al igual que aquellas personas encargadas de llenar y vaciar el tanque debido a que tienen contacto directo con el plomo de la pólvora y puede absorberse más fácilmente.

**CAPÍTULO VII**  
**RECOMENDACIONES**

## 6.0 RECOMENDACIONES

1. A la dirección de la DPTC, buscar alternativas para no eliminar el agua del tanque TB007 directamente a las alcantarillas, debido a que el plomo contenido, aunque sea en mínimas cantidades, puede afectar el medio ambiente y la salud humana.
2. A la dirección de la DPTC, adaptar un filtro PD-5-934 en la entrada de agua que abastece el tanque TB007 debido a que no confiere ninguna característica que pueda interferir en la prueba de balística, así mismo es ideal para el pretratamiento básico de agua ya que retiene partículas de 5 micrones.
3. A la dirección de la DPTC, adaptar en la tubería de salida del agua un filtro CBR2-10, este emplea carbón activo en polvo (PAC) con un medio absorbente, reduce el plomo disuelto y las partículas del metal tan pequeñas como el tamaño de 0,5 micrones. De esta manera se estaría evitando que ni una mínima cantidad de plomo llegue al medio ambiente y lo contamine.
4. A la dirección de la DPTC, realizar análisis periódicamente para medir los niveles de plomo que se están descargando para mantener un control adecuado, asegurando que estos no vayan a aumentar según normativa.
5. A la dirección de la DPTC, gestionar la implementación de un programa de control que incluya un análisis completo de todos los parámetros exigidos en la norma NSO 13.49.01:09: Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor, con el fin de verificar que estos estén dentro de los límites establecidos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Academia de policía. Balística. Recuperado el 26 de enero de 2018 de [http://www.policiacanaria.com/sites/default/files/balistica\\_0.pdf](http://www.policiacanaria.com/sites/default/files/balistica_0.pdf).
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007). ToxFAQs™ sobre el plomo. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts13.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.pdf)
3. American Bar Association. (2016). Portafolio de Servicios Institucionales, DPTC. Primera Edición. Washington, Estados Unidos.
4. APHA-AWWA-WPCF (1992). Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid, España: Díaz de Santos.
5. Araujo, C.I. (2010) Cuantificación de Plomo, Mercurio y Cadmio en Agua de consumo Humano de cinco comunidades de El Salvador por espectrofotometría de absorción atómica. Facultad de Química y Farmacia (Tesis de pregrado) Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
6. Ayala, D. Hernández, E. (2014) Evaluación de parámetros de desempeño para la determinación de mercurio por método de ión selectivo en agua potable en el laboratorio fisicoquímico de aguas de la Facultad de Química y Farmacia. (Tesis de pregrado) Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
7. Borja Pérez, J. (1995). Glosario de las partes o piezas de las armas de fuego portátiles. Revista de Cultura Militar, 7. Recuperado el 11 de

mayo de 2018 de [https://revistas.ucm.es/index.php/MILT/article/viewFile/MILT959511\\_0113A/3427](https://revistas.ucm.es/index.php/MILT/article/viewFile/MILT959511_0113A/3427).

8. Carbajal Azcona, A. Y González Fernández, M. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. En M.P. Vaquero y L. Toxqui, (Eds.), Agua para la salud: pasado, presente y futuro (pp. 63-78). Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
9. Caviedes, D.I. Muñoz, R.A. (2015) Tratamiento para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. Revista ingeniería y región, 13(1), 73-90.
10. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. NSO 13.49.01:09. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. 2009.
11. Cooperación Técnica República Federal de Alemania (1989) Módulos de Formación y perfeccionamiento del personal de las plantas de tratamiento de agua residuales, USA, GTZ.
12. Domínguez Tamayo, I. (2014). Selección y dimensionamiento de la nueva línea de tratamiento de lodos de las Edars de Chiclana de la Frontera. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de: <http://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/17451>
13. Dosal, M.A. y Villanueva, M. (2008). Introducción a la Metrología Química: Curvas de Calibración en los Métodos Analíticos. Recuperado el 21 de febrero de 2018 de: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CURVASDECALIBRACION\\_23498.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CURVASDECALIBRACION_23498.pdf)

14. Espigares García, M. y PÉREZ LÓPEZ, J.A. (2015). Aguas Residuales Composición. Recuperado el 19 de febrero de 2018, de: [cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/.../Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/.../Aguas_Residuales_composicion.pdf)
15. Félez Santafé, M. (2009). Capítulo 1: El Agua Recurso Natural Recuperado el 19 de febrero de 2018 de: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6263/03\\_Memòria.pdf?seque](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6263/03_Memòria.pdf?seque)
16. González, K. (2017) Partes de un arma de fuego [Material de Clase]. Colombia.
17. Heard, B.J. (2008). Handbook of Firearms and Ballistics. (2da ed). West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd.
18. Hernández, H. (2018). Espectroscopia UV-VIS [Material de Clase]. Análisis Instrumental. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
19. INCONTEC (1995) Calidad del agua, Muestreo Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales [pdf] Bogotá, Colombia.
20. INCONTEC (1995) Calidad del agua, Muestreo Parte 2: Guía para las técnicas de muestreo. [pdf] Bogotá, Colombia.
21. INCONTEC (1995) Calidad del agua, Muestreo, Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo. [pdf] Bogotá, Colombia.

22. INCONTEC (2014) Calidad del agua, Muestreo Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras. [pdf] Bogotá, Colombia.
23. Laínez, K. Trejo, W. (2012) Evaluación de la calidad microbiológica del agua de pozos de la colonia La Carmenza, Municipio de San Miguel, Departamento de San Miguel. (Tesis de pregrado) Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
24. Matorras, M. (2009). Nuestro planeta y la Salud. Recuperado el 22 de febrero de 2018, de: <http://planetaysalud.blogspot.com/2009/08/el-agu.html>
25. Mora, S. Q. (2007). Espectroscopía, Manual de experimentos de laboratorio para bioquímica (pp 9-10). San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia. Recuperado de : <https://books.google.com.sv/books?id=8SAtkthrFEkC&pg=PR24&dq=espectrofotometr%C3%ADa&hl=es>
26. Muñoz Cruz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
27. OSA, Organismo Salvadoreño de Acreditación (2013) Guía técnica 9.6: Validación de Métodos Analíticos Físicoquímicos. Disponible: [http://www.osa.gob.sv/index.php?option=com\\_jdownloads&Itemid=214&view=viewcategory&catid=1](http://www.osa.gob.sv/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=214&view=viewcategory&catid=1)
28. Pentair Residencial Filtration (2017) PENTEK serie CBR2 cartucho de multimedios de bloque de carbón. Recuperado el 15 de agosto de

2018, de :<http://waterpurification.pentair.com/Files/KnowledgeBase/ItemDownload/en/310080-s-pentek-cbr2series-rev-g-fe17.pdf>

29. -Pentair Residencial Filtration (2017) PENTEK serie de polydepth cartuchos de polipropileno. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de: <http://waterpurification.pentair.com/Files/KnowledgeBase/ItemDownload/en/310094-s-pentek-polydepthseries-rev-d-se16.pdf>
30. Policía Nacional de Nicaragua (2013) Manual de Balística Forense: División Policía Técnica y Científica Recuperado el 26 de enero de 2018 de <http://es.calameo.com/read/004047169da4286e34e19>.
31. Romero, J.A (1999) Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización, Tercera Edición, México: Alfaomega.
32. Salmerón, W. T. Sánchez, C.I. (2017) Análisis espectral en el rango ultravioleta visible e infrarrojo de los exudados de *Eucalyptus globulus Labill*, *Corymbia citriodora Hook*, *Araucaria heterophylla*, *Mangifera indica L.*, *Hymenaea courbaril L* que se encuentran dentro del campus central de la Universidad de El Salvador. Facultad de Química y Farmacia (Tesis de pregrado) Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
33. Zambrano, J. N., Espinosa Blanco, N. E., Romero Anturi, L. E. (2014). Distancia de disparo y su interpretación frente a la conducción de hostilidades en el conflicto armado colombiano. Rev. Cient. Gen. José María Córdova, 12(13). 291-320

34. [<http://consultas-abogados.es/criminalistica-proceso-disparo/>]  
[Consultado el 13 de junio de 2018.]
  
35. [<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>]  
[Consultado el 22 de febrero de 2018]
  
36. [[http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/154\)plomo.pdf](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/154)plomo.pdf)] [Consultado el 19 de febrero de 2018]
  
37. [<https://elementos.org.es/plomo>] [Consultado el 23 de febrero de 2018]

## **ANEXOS**

# ANEXO N° 1:

## KIT PARA TEST DE PLOMO

Febrero 2017

1.09717.0001

### Spectroquant® Test Plomo

#### 1. Método

En solución alcalina los iones plomo(II) forman con 4-(2-piridilazo)-resorcina (PAR) un complejo rojo que se determina fotométricamente.

#### 2. Intervalo de medida y número de determinaciones

Cubeta mm	Intervalo de medida mg/l de Pb	Número de determinaciones
50	0,010 - 1,000	50
20	0,05 - 2,50	
10	0,10 - 5,00	

Datos de programación para determinados fotómetros / espectrofotómetros, ver [www.service-test-kits.com](http://www.service-test-kits.com).

#### 3. Campo de aplicaciones

El test determina solamente iones plomo(II). Para la determinación del plomo no disuelto o unido en forma de complejo, es necesaria una disgregación de la muestra (ver apartado 6).

##### Material de las muestras:

Aguas subterráneas y superficiales

Aguas potables y minerales

Aguas industriales

Aguas residuales y de infiltración

Lodos de clarificación

Suelos tras preparación apropiada de la muestra

El test **no es adecuado** para agua de mar.

#### 6. Preparación

- Analizar las muestras inmediatamente después de la toma de muestras. En otro caso conservar con ácido nítrico al 65 % (1 ml de ácido nítrico para 1 l de solución de la muestra).
- El plomo no disuelto o unido en forma de complejo puede determinarse después de la preparación de la muestra con uno de los Crack Sets Spectroquant®.
- Las muestras con más de 5,00 mg/l de Pb deben diluirse con agua destilada antes de la disgregación.
- El valor del pH debe encontrarse en el intervalo 3 - 6.  
Si es necesario, ajustar con solución diluida de amoníaco o con ácido nítrico.
- Filtrar las muestras turbias.

#### 7. Técnica

¡Atención! ¡El reactivo Pb-1 contiene cianuro potásico! ¡Observar estrictamente el orden de dosificación indicado!		
Reactivo Pb-1	0,50 ml	Pipetear en un tubo de ensayo.
Reactivo Pb-2	0,50 ml	Añadir con pipeta y mezclar.
Muestra preparada (10 - 40 °C)	8,0 ml	Añadir con pipeta y mezclar.
Introducir la muestra de medición en la cubeta y medir en el fotómetro.		

##### Notas sobre la medición:

- **Ciertos fotómetros exigen una muestra en blanco** (preparación como la muestra de medición, pero con agua destilada en lugar de la muestra).
- **En caso de utilizarse la cubeta de 50 mm** se recomienda medir contra una muestra en blanco de preparación propia (preparación como la muestra de medición, pero con agua destilada en lugar de la muestra) para aumentar de esta manera la exactitud. Configurar el fotómetro para medición de muestra en blanco.  
Configurar el fotómetro para la medición del blanco.
- Para la medición fotométrica las cubetas deben estar limpias.  
Si es necesario, limpiarlas con un paño seco y limpio.
- Las turbideces después de acabada la reacción dan como resultado valores falsamente elevados.
- El valor del pH de la solución de medición debe encontrarse en el intervalo 8,0 - 8,3.
- El color de la solución de medición permanece estable como mínimo 60 minutos.

**ANEXO N°2:**  
**NORMA SALVADOREÑA OFICIAL**

---

**AGUA.**

**AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR.**

---

**CORRESPONDENCIA:** Esta norma es una adaptación de la Propuesta de Norma de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor. Ministerio de Salud, El Salvador. Octubre de 1996.

ICS 13.060

---

Editada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, Colonia Médica, Avenida Dr. Emilio Álvarez, Pasaje Dr. Guillermo Rodríguez Pacas, # 51, San Salvador, El Salvador, Centro América. Teléfonos: 2234-8400, 2225-6222; Fax. 2225-6255; e-mail: [info@ns.conacyt.gob.sv](mailto:info@ns.conacyt.gob.sv).

---

**Derechos Reservados.**

**Continuación...**

**Tabla 3. Parámetros Complementarios sobre Valores Permisibles para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor**

<b>Parámetros</b>		<b>Valores máximos permisibles</b>
Plomo (Pb)	mg/l	0,4

**ANEXO N° 3:**  
**NORMA ISO 5667**

ISO  
5667-1

1995-05-10

---

**GESTIÓN AMBIENTAL. CALIDAD DEL AGUA.  
MUESTREO. DIRECTRICES PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS DE MUESTREO**

**E: ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. WATER QUALITY. SAMPLING. GUIDANCE ON  
THE DESIGN OF SAMPLING PROGRAMMES**

---

**CORRESPONDENCIA:** esta norma es idéntica a la ISO 5667/1

---

**DESCRIPTORES:** gestión ambiental, agua, muestreo, control estadístico.

---

de las instalaciones de la fábrica. A veces puede ser necesario tomar muestras desde bocas de entrada profundas y, en tales casos, se requiere equipo diseñado especialmente. Con muestreo de cajas compactas de inspección (manhole), por razones de seguridad es preferible que dicha caja de inspección se diseñe de tal modo que se pueda efectuar el muestreo sin entrar.

También se debe considerar la posibilidad de que la muestra contenga aguas residuales domésticas procedentes de la fábrica; en este caso, el sitio se debe seleccionar de tal modo que se excluyan tales desechos, si es necesario.

Si la descarga del efluente es a un lago o tanque de depósito, entonces la situación de muestreo viene a ser similar a la correspondiente a lagos.

## 11.2 NATURALEZA DEL EFLUENTE

En algunas situaciones industriales (por ejemplo descargas de plantas individuales antes de la dilución adicional), las concentraciones de ciertos constituyentes pueden presentar dificultades especiales que exijan una consideración en particular. Son ejemplos la presencia de aceite o grasa, elevada presencia de sólidos en sus pensión, afluentes altamente ácidos y líquidos o gases inflamables.

Cuando los efluentes de una diversidad de procesos se descargan en una cañería principal, para obtener una muestra satisfactoria se requiere un mezclado adecuado.

## 11.3 AGUA INDUSTRIAL Y LODOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES

En el tratamiento industrial de aguas se puede producir una amplia variedad de lodos químicos, por ejemplo los lodos pueden contener metales tóxicos o materiales radiactivos, y es posible que también se necesite tomar muestras de los lodos biológicos procedentes de las plantas de tratamiento de afluentes (véase el numeral 12.1.2). Al tomar muestras de esos lodos, se deben aplicar precauciones de seguridad adecuadas, incluyendo las regulaciones de seguridad nacional.

## 12. AGUAS RESIDUALES Y EFLUENTES DE AGUAS RESIDUALES

Se deben tomar muestras cuando en una planta de tratamiento entran aguas residuales y también después de diversas etapas de tratamiento, incluyendo las muestras del efluente tratado.

### 12.1 SELECCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO

#### 12.1.1 Efluentes líquidos

En cada etapa del proceso se debe seleccionar cuidadosamente el sitio del muestreo, particularmente en el caso de aguas residuales crudas, cuya composición puede presentar una variación considerable con el paso del tiempo. Es posible que las aguas residuales estén contenidas en alcantarillas de gran sección transversal y su composición puede variar con la profundidad y a través del diámetro de la alcantarilla. También puede haber un mezclado incompleto de aguas residuales procedentes de diferentes fuentes, y a tasas de flujo bajas el material en suspensión se puede sedimentar. Antes de seleccionar un sitio de muestreo, se debe efectuar un programa preliminar de muestreo para establecer estas variaciones y la localización del punto de muestreo de rutina se debe establecer a partir de la información obtenida. En muchos casos será necesario tomar dos o tres muestras de rutina en puntos diferentes y mezclar éstos para dar una muestra compuesta.

Del material flotante, tal como aceite o grasa, no se pueden tomar muestras representativas en forma rutinaria; en este caso, las muestras generalmente se deben tomar debajo de la superficie.

Las muestras de aguas residuales crudas a menudo se toman después de la selección preliminar y los procesos de pulverización para así evitar la inclusión accidental de partículas grandes en la muestra. Sin embargo, en los casos en que se usen muestreadores automáticos, éstos se puede situar más arriba de los procesos preliminares, siempre que en la entrada del muestreador se agregue un tamiz o un pequeño macedador con el fin de evitar los bloqueos.

Al seleccionar un sitio de muestreo para aguas residuales crudas en la planta de tratamiento, se debe considerar la inclusión de fluidos recirculados dentro de la planta. De preferencia, es posible que se necesiten dos muestras: una que incluya todos los fluidos que representen la carga total de la planta, y una que excluya los fluidos recirculados para dar una medida de la carga procedente de fuentes externas. Si no es factible la recolección de cualquiera de estas muestras, quizás sea posible calcular la composición de las aguas residuales mediante muestreo por separado y análisis de los fluidos.

#### 12.1.2 Lodos de tratamiento de aguas residuales domiciliarias

En ciertos tanques puede ser necesario tomar muestras de los lodos, por ejemplo en tanques de sedimentación o en tanques de asimilación, en lagos, o en lechos de secado.

Si se han de tomar muestras de lodos primarios y asimilados, se puede experimentar considerable dificultad por la falta de homogeneidad y también por la presencia de partículas grandes.

Si el muestreo va a ser de una tubería, el conducto del muestreo debe tener al menos 50 mm de diámetro para así garantizar que la ocurrencia de bloqueos sea mínima, y las muestras se deben tomar a intervalos de tiempo frecuentes. Cuando el muestreo sea de tanques, lagos, o capas de secado, es posible que se necesite un gran número de muestras procedentes de diferentes profundidades y posiciones. Es posible que el acceso a los puntos de muestreo sea difícil y que se necesiten estructuras especiales.

**ISO  
5667-2**

1995-06-21

---

**GESTIÓN AMBIENTAL.  
CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS  
GENERALES DE MUESTREO**

E: ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. WATER QUALITY.  
SAMPLING. GUIDANCE ON SAMPLING TECHNIQUES.

---

CORRESPONDENCIA: esta norma es idéntica con la ISO  
5667-2

---

DESCRIPTORES: calidad de agua; agua residual;  
muestreo.

---

**3.1** Muestra compuesta: dos o más muestras o submuestras, mezcladas en proporciones conocidas apropiadas (bien sea en forma discreta o continua), a partir de las cuales se puede obtener el resultado promedio de una característica deseada. Las proporciones generalmente se basan en mediciones de tiempo o de flujo.

**3.2** Muestra instantánea; muestra en el sitio; muestra de cucharón: una muestra discreta tomada aleatoriamente (con relación al tiempo y/o al lugar) en una masa de agua.

**3.3** Tomamuestra: un dispositivo utilizado para obtener una muestra de agua, bien sea en forma discreta o continua, para el propósito de examen de diversas características definidas.

**3.4** Muestreo: el proceso de sacar una porción, procurando que sea representativa, de una masa de agua con el propósito de examinar diversas características definidas.

## **4. TIPOS DE MUESTRA**

### **4.1 GENERALIDADES**

Es posible que se requieran datos analíticos para indicar la calidad del agua, mediante la determinación de parámetros, tales como las concentraciones de material inorgánico, minerales o productos químicos disueltos, gases disueltos, material orgánico disuelto, y materia suspendida en el agua o en los sedimentos del fondo en una localización y tiempo específicos o en algún intervalo de tiempo específico en una localización particular.

Ciertos parámetros, tales como la concentración de gases disueltos, se deben medir en el sitio, si es posible, para obtener resultados precisos. Conviene anotar que se deben realizar procedimientos de preservación de la muestra en casos apropiados (véase la norma NTC-ISO 5667-3).

Se recomienda utilizar muestras separadas para análisis químico, microbiológico y biológico y una muestra de control para la entidad ambiental, porque los procedimientos y el equipo para la recolección y el manejo son diferentes.

Las técnicas de muestreo variarán de acuerdo con la situación específica. En el numeral 5 se describen los diferentes tipos de muestreo. Para la planificación de los programas de muestreo se debe hacer referencia a la norma NTC-ISO 5667-1.

Es necesario distinguir entre muestreo en aguas lénticas o estancadas, o en aguas lólicas o corrientes y aguas máximas. Las muestras en el sitio (véase el numeral 4.2) y las muestras compuestas (véase el numeral 4.6) son aplicables a tres tipos de agua. El muestreo periódico (véase el numeral 4.3), el muestreo continuo (véase el numeral 4.4) y el muestreo en serie (véase el numeral 4.5), son aplicables a los tipos de aguas mencionadas anteriormente.

### **4.2 MUESTRAS EN EL SITIO**

Las muestras en el sitio son muestras discretas; generalmente se recogen manualmente, pero también se pueden recoger automáticamente, para aguas en la superficie, en profundidades específicas y en el fondo.

Generalmente, cada muestra será representativa de la calidad del agua, únicamente en el tiempo y en el lugar en el cual se toma. El muestreo automático es equivalente a una serie de tales muestras tomadas en un tiempo preseleccionado o con base en el intervalo de flujo.

cartuchos ordenados en paralelo, y usando colectores de entrada y de salida provistos de grifos. Inicialmente, el flujo del muestreo se debe dirigir a través de un filtro o cartucho, sin que los otros reciban el flujo, y cuando la velocidad del flujo disminuya significativamente, entonces el flujo se debe desviar hacia un filtro o cartucho fresco. Si hay peligro de que el filtro o el cartucho se sobrecarguen, entonces se debe conectar un filtro o cartucho nuevo en línea secuencial, antes de que el original se agote; el flujo hacia él se detiene entonces. Cuando se utilice más de un filtro o cartucho, se deben tratar en forma conjunta y se deben considerar como una muestra compuesta. Si el agua desperdiciada procedente de ese régimen de muestreo se devuelve a la masa de agua de la cual se están tomando muestras, entonces es esencial que se retorne a un lugar suficientemente distante del punto de muestreo, de tal modo que no pueda afectar al agua de la cual se estén tomando muestras.

## **5. TIPOS DE MUESTREO**

Hay muchas situaciones de muestreo, algunas de las cuales se pueden satisfacer tomando muestras sencillas en el sitio, mientras que otras pueden requerir equipo complejo para muestreo instrumental.

En la norma ISO 5667-4 se examinan con algún detalle los diversos tipos de muestreo; siempre que sea posible se debe hacer referencia a estas partes de la norma ISO 5667.

## **6. EQUIPO DE MUESTREO**

### **6.1 MATERIALES**

#### **6.1.1 Generalidades**

Para situaciones de muestreo específicas, se debe hacer referencia a la norma NTC-ISO 5667-3; las directrices dadas aquí se proponen ayudar en la selección de materiales para aplicación general. Los constituyentes químicos (factores determinantes) en el agua, que se analizan para evaluar la calidad del agua, varían en su concentración desde cantidades de microgramo o cantidades traza, hasta cantidades grandes. Los problemas más frecuentes consisten en la adsorción sobre las paredes del dispositivo de toma de muestra o del recipiente de la muestra; contaminación antes del muestreo, ocasionada por limpieza inadecuada del dispositivo de toma de muestra o del recipiente de la muestra, y contaminación de la muestra por el material constitutivo del dispositivo de toma de muestra o del recipiente de la muestra.

El recipiente de la muestra tiene que preservar la composición de la muestra con respecto a pérdidas debidas a la adsorción y la volatilización, o a la contaminación por sustancias extrañas.

El recipiente de la muestra usado para recolectar y almacenar la muestra se debe elegir después de considerar, por ejemplo, la resistencia a las temperaturas extremas, la resistencia al rompimiento, la facilidad de buen sellado y de reapertura, el tamaño, la forma, la masa, la disponibilidad, el costo, el potencial en relación con limpieza y reutilización, etc.

Se deben tomar precauciones para evitar que las muestras se congelen, especialmente cuando se utilicen recipientes de vidrio para la muestra. Se recomienda el polietileno de alta densidad para determinaciones en el agua de sílice, sodio, alcalinidad total, cloruro, conductancia específica, pH, y dureza. Para materiales sensibles a la luz se debe usar vidrio absorbente de la luz. Para muestras de temperatura y/o presión altas, o cuando se tomen muestras en relación con concentraciones traza de material orgánico, se debe usar acero inoxidable.

**ISO  
5667-3**

2004-11-03

---

**CALIDAD DEL AGUA.  
MUESTREO. PARTE 3: DIRECTRICES PARA LA  
PRESERVACIÓN Y MANEJO DE LAS MUESTRAS**

E: WATER QUALITY – SAMPLING – PART 3: GUIDANCE ON  
THE PRESERVATION AND HANDLING OF SAMPLES

---

CORRESPONDENCIA: esta norma es una adopción modificada  
(MOD) de la norma ISO 5667-3:2003  
Water Quality – Sampling – Part 3:  
Guidance on the Preservation and  
Handling of Samples

---

DESCRIPTORES: calidad del agua-muestreo; calidad  
del agua-manejo de muestras; calidad  
del agua-preservación de muestras.

---

---

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-ISO 5667-3 (Primera actualización)**

---

ISO 5667-14:1988, Water Quality – Sampling – Part 14: Guidance on the Quality Assurance of Environmental Water Sampling and Handling. (NTC-ISO 5667-14)

ISO 5667-16:1993, Water Quality – Sampling – Part 16: Guidance on the Bio Testing of Samples. (NTC-ISO 5667-16)

ISO Guide 34:2000, General Requirements for the Competence of Reference Material Procedures.

### **3. PRESERVACIÓN DE MUESTRAS**

#### **3.1 CONSIDERACIONES GENERALES**

Las aguas, en particular las aguas de superficie y las aguas residuales, son susceptibles de cambio como resultado de reacciones físicas, químicas o biológicas que pueden ocurrir entre el tiempo del muestreo y el análisis. La naturaleza y velocidad de estas reacciones son tales que, si no se toman las precauciones necesarias durante el muestreo, el transporte y el almacenamiento, para determinantes específicos, las concentraciones determinadas serán diferentes de las que existían en el momento del muestreo.

La extensión de estos cambios depende de la naturaleza química y biológica de la muestra, su temperatura, exposición a la luz, la naturaleza del recipiente en el que se encuentra, el tiempo entre el muestreo y el análisis, las condiciones a las cuales se ha sometido, por ejemplo, la agitación durante el transporte. Algunas causas más específicas de las variaciones son:

- Las bacterias, algas y otros organismos pueden consumir algunos componentes presentes en las muestras; también pueden modificar la naturaleza de los componentes para producir otros nuevos. Esta actividad biológica incide, por ejemplo, en el contenido de oxígeno disuelto, dióxido de carbono disuelto, compuestos de nitrógeno, fósforo y algunas veces silicio.
- Algunos compuestos se pueden oxidar por el oxígeno disuelto contenido en las muestras o por el oxígeno atmosférico [por ejemplo, compuestos orgánicos, hierro(II), sulfuros].
- Algunas sustancias [por ejemplo, carbonato de calcio o compuestos metálicos tales como  $Al(OH)_3$ ,  $Mg_3(PO_4)_2$ ] se pueden precipitar. Adicionalmente, algunos componentes volátiles (por ejemplo: oxígeno, ácido cianhídrico, o mercurio), pueden escapar o entrar en la muestra directamente a través del plástico o si las tapas no están bien selladas. La conductividad, el pH, el contenido de dióxido de carbono, etc., se pueden modificar mediante el intercambio de dióxido de carbono con el aire.
- Los compuestos metálicos, disueltos o en estado coloidal, así como algunos compuestos orgánicos, pueden ser adsorbidos o absorbidos irreversiblemente sobre la superficie de los recipientes o los materiales sólidos contenidos en las muestras.
- Los productos polimerizados se pueden despolimerizar; a la inversa, los compuestos simples se pueden polimerizar.

---

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-ISO 5667-3 (Primera actualización)**

---

De esto se deduce que las variaciones relativas a un componente particular varían tanto en grado como en velocidad, no únicamente en función del tipo de agua, sino también, para el mismo tipo, en función de las condiciones ambientales.

Además, se debe enfatizar en que estas variaciones son a menudo suficientemente rápidas como para modificar la muestra considerablemente en el término de varias horas. Por lo tanto, es esencial en todos los casos tomar las precauciones necesarias para minimizar estas reacciones, y en el caso de muchos parámetros, analizar la muestra con un mínimo de retraso.

Puesto que las variaciones que ocurren en las muestras de agua se deben en gran medida a procesos biológicos, generalmente es necesario seleccionar entre varios métodos posibles de preservación, un método que no introduzca contaminación.

Las aguas superficiales y las aguas subterráneas se pueden almacenar más eficazmente. En el caso de aguas potables, el problema del almacenamiento se puede resolver más fácilmente, porque estas aguas son menos susceptibles a las reacciones biológicas y químicas.

En general, si las muestras se analizan en un lapso de 24 h, es suficiente la técnica de preservación con enfriamiento de 1 °C - 5 °C. Las muestras de agua de las plantas de alcantarillado municipales e industriales siempre se deberían preservar después del muestreo, debido a la actividad biológica en ellas.

A pesar de las numerosas investigaciones [1] que se han efectuado para recomendar métodos que permitan almacenar muestras de agua sin que su composición se modifique, es imposible dar reglas absolutas que cubran todos los casos y situaciones. Los detalles que se dan en este documento acerca de la preservación de muestras reemplaza los detalles correspondientes que se dan en las normas de análisis, a menos que la norma de ensayo explícitamente excluya la aplicabilidad de esta parte de la ISO 5667 (NTC-ISO 5667).

## **3.2 PRECAUCIONES QUE DEBEN TOMARSE**

### **3.2.1 Selección del recipiente**

La escogencia del recipiente es de gran importancia y la norma ISO 5667-2 (NTC ISO 5667-2) suministra algunas orientaciones sobre este tema. Los detalles sobre el tipo de recipiente que se debe usar para la recolección y el almacenamiento de las muestras se encuentran en las Tablas desde la 1 a la 4. Las mismas consideraciones proporcionadas en esta selección de materiales adecuados de recipientes también se debe tener en cuenta para los materiales de los revestimientos de las tapas. Las orientaciones dadas en esta norma son para ayudar a la selección de recipientes para uso general.

Los recipientes usados para recolectar y almacenar las muestras se debería seleccionar después de tomar en cuenta los siguientes criterios predominantes (especialmente cuando los analitos estén presentes en cantidades traza).

- a) Minimizar la contaminación de la muestra proveniente del material de recipiente o de la tapa, por ejemplo, la disolución de constituyentes orgánicos desde el vidrio (especialmente vidrio sódico) y compuestos orgánicos y metales desde los plásticos. Algunas tapas coloreadas pueden contener niveles significativos de metales pesados.
- b) Que puedan limpiarse y tratarse las paredes del recipiente para reducir la contaminación de la superficie por constituyentes traza tales como metales pesados o radionúclidos.

---

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-ISO 5667-3 (Primera actualización)**

---

Como ya se indicó en el numeral 3.1, es imposible dar reglas absolutas para las técnicas de preservación ni el tiempo de duración del almacenamiento ni la naturaleza del recipiente. La eficiencia del proceso de preservación depende no solamente de los componentes que requieren análisis y de sus niveles (de concentración), sino también de la naturaleza de la muestra.

En todos los casos, es esencial que el método de almacenamiento sea compatible con las técnicas analíticas que se usarán. Uno de los propósitos de las Tablas de la 1 a la 4 es describir las técnicas de preservación de uso más común y de aplicación por muchos usuarios de esta norma.

Sin embargo, no debería haber diferencia estadística significativa entre los resultados de una determinación realizada inmediatamente y el resultado después de preservación. Los resultados se deberían verificar, teniendo en cuenta particularmente el método de análisis que se va a usar y las orientaciones suministradas en esta norma.

Los volúmenes de muestras considerados en la Tabla 1 representan los volúmenes típicos requeridos para realizar una sola determinación sobre la muestra. Cuando hay disponible más de un método para un determinante particular, los volúmenes de muestras son apropiados al método que requiere el máximo volumen de muestra. Por tanto, en algunos casos, puede ser posible tomar un volumen de muestra menor; sin embargo, esto sólo se debería hacer después de consultar con los funcionarios del laboratorio.

Para una muestra que requiere la determinación de más de un parámetro, algunas veces es necesario tomar varias submuestras para cumplir los requisitos de preservación de la muestra. Es esencial que se pueda tomar un cuidado extremo para evitar la contaminación cruzada que puede ocurrir, por ejemplo, cuando se preserva con ácido nítrico una submuestra metálica que contaminaría la submuestra tomada para el análisis de nitrato.

## **5. IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS**

Los recipientes que contengan las muestras deberían ir marcados en forma clara, precisa y durable.

Adicionalmente, en el momento de efectuar el muestreo, generalmente es necesario observar numerosos detalles que permitirán una interpretación correcta de la información obtenida (por ejemplo, fecha y hora de la toma de muestras, nombre de la persona que realiza el muestreo, naturaleza y cantidad de los preservantes agregados, etc.). Estos dos objetivos se pueden lograr en forma práctica mediante diversos procesos (etiquetas o rótulos, formatos, etc.).

Las muestras especiales de materiales anómalos deberían ser claramente marcadas y acompañadas por una descripción de la anomalía observada. Es esencial que las muestras que contengan materiales peligrosos o potencialmente peligrosos, por ejemplo ácidos, sean claramente identificadas como tales.

## **6. TRANSPORTE DE MUESTRAS**

Los recipientes que contengan las muestras se deberían proteger y sellar en tal forma que no se deterioren, ni su contenido sufra ninguna pérdida durante el transporte. El material del empaque debería proteger los recipientes de una posible contaminación externa y ruptura, en especial cerca de la abertura, y él mismo no debería ser fuente de contaminación. Durante el transporte, es conveniente almacenar las muestras de acuerdo con las orientaciones de las Tablas de la 1 a la 4. En casos donde el tiempo de almacenamiento y transporte exceda del máximo tiempo de preservación recomendado antes de comenzar el análisis, si las muestras deberían o no ser analizadas, debería verificarse con el cliente, y si es así, debería registrarse el tiempo entre la toma de muestras y el análisis.

**ISO  
5667-10**

1995-06-21

---

**GESTIÓN AMBIENTAL.  
CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. MUESTREO DE  
AGUAS RESIDUALES**

**E: ENVIRONMENTAL. MANAGEMENT. WATER QUALITY.  
SAMPLING. GUIDANCE ON SAMPLING OF WASTE  
WATERS**

---

**CORRESPONDENCIA:** es idéntica a la ISO 5667-10

---

**DESCRIPTORES:** agua; calidad de agua; muestreo.

---

---

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-ISO 5667-10**

---

ISO 5667-5 Water quality. Sampling. Part 5: Guidance on Sampling of Drinking Water and Water Used for Food and Beverage Processing.

### **3. DEFINICIONES**

Para los propósitos de esta norma se aplican las siguientes definiciones, tomadas de la NTC 3650-2.

**3.1** Muestra compuesta: dos o más muestras o submuestras mezcladas en proporciones apropiadas conocidas (ya sea de forma discreta o continua), a partir de las cuales se puede obtener el resultado promedio de una característica deseada. Por lo general, las proporciones están basadas en mediciones de tiempo y de flujo.

**3.2** Línea de muestreo: conducto que va de la sonda de muestreo al punto de entrega de la muestra o al equipo de análisis.

**3.3** Punto de muestreo: posición precisa donde se toman las muestras, dentro de un lugar de muestreo.

**3.4** Muestra puntual: muestra discreta tomada aleatoriamente (con relación a tiempo y/o ubicación) de un cuerpo de agua.

### **4. EQUIPO DE MUESTREO**

#### **4.1 CONTENEDORES DE MUESTRAS**

Se debe consultar al laboratorio responsable del análisis de muestras, acerca del tipo de contenedor que se debería utilizar para recolección, almacenamiento y transporte de muestras.

Las normas NTC-ISO 5667-2 y NTC-ISO 5667-3 contienen información detallada sobre la selección de recipientes para muestras.

El contenedor para muestras debe evitar pérdidas causadas por adsorción, volatilización y contaminación por sustancias extrañas.

Los factores convenientes que se deben considerar al seleccionar los contenedores para muestras, son:

- Alta resistencia a la rotura
- Sellado eficiente
- Facilidad de abertura
- Buena resistencia a temperaturas extremas
- Tamaño, forma y masa que resulten prácticos
- Buen potencial para limpieza y reutilización
- Disponibilidad y costo.

---

## NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-ISO 5667-10

---

emplear, y consultar al laboratorio receptor, con el fin de aplicar las medidas de conservación correctas. Las NTC-ISO 5667-3 y el numeral 5.4 proporcionan mayores detalles sobre la conservación y almacenamiento de las muestras.

### 5.3 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MUESTREO

#### 5.3.1 Tipos de muestras

Es común distinguir entre dos tipos de muestras:

- a) Muestras puntuales.
- b) Muestras compuestas.

**5.3.1.1 Muestras puntuales.** En una muestra puntual se toma de una vez todo el volumen de la muestra. Las muestras puntuales son útiles para determinar la composición de las aguas residuales en un momento determinado, en los casos en que con pequeñas variaciones en el volumen y composición de las corrientes residuales, una muestra puntual puede ser representativa de la composición durante un período de tiempo mayor.

Las muestras puntuales son esenciales cuando el objetivo de un programa de muestreo es evaluar la conformidad con normas no relacionadas con calidad promedio. En los casos en que la conformidad con la calidad se juzga con base en la calidad promedio de los efluentes, se deben utilizar siempre muestras compuestas.

Para algunas determinaciones sólo se pueden utilizar muestras puntuales. Por ejemplo, esto sucede con el aceite y la grasa, el oxígeno disuelto, el cloro y el sulfuro. Aquí el resultado será diferente si los análisis no se realizan (o comienzan) inmediatamente después de la recolección de la muestra, y si no se va a utilizar de una vez todo el volumen de la muestra. Por lo general, las muestras puntuales se toman manualmente, aunque también se puede utilizar equipo para muestreo automático.

**5.3.1.2 Muestras compuestas.** Las muestras compuestas se preparan mezclando varias muestras puntuales o mediante la recolección de una fracción continua de la corriente de aguas residuales. Existen dos tipos de muestras compuestas:

- a) Muestras medidas por peso.
- b) Muestras medidas por flujo.

Las muestras compuestas medidas por tiempo están conformadas por muestras puntuales de igual volumen, tomadas a intervalos constantes durante el período de muestreo.

Las muestras compuestas medidas por tiempo son apropiadas cuando es importante la calidad promedio de las aguas residuales o efluentes (por ejemplo, cuando se determina el cumplimiento con una norma con base en la calidad promedio, o cuando se determina el grado de concentración promedio de las aguas residuales para propósitos de diseño, y en los casos en que el flujo de aguas residuales es constante).

## ANEXO N° 4:

**Tabla N°1: Cantidad de muestra a tomar** <sup>(3)</sup>

PARÁMETRO	RECIPIENTE	PRESERVANTE	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO	VOLUMEN MÍNIMO DE MUESTRA
Plomo	polietileno	2 ml de HNO <sub>3</sub> Concentrado para 1 litro de muestra	6 meses	1000 ml

## **ANEXO N° 5:**

### **CRISTALERIA Y EQUIPO A UTILIZAR EN EL ANÁLISIS ESPECTROFOTOMÉTRICO**

#### **-Cristalería calibrada y certificada**

- 11 balones volumétricos de 10.0 mL serie 01
- 1 balón volumétrico de 100.0 mL serie CV-034/07
- 1 bureta de 10 mL serie 01
- 1 pipeta volumétrica de 1.0 mL serie 01
- 1 beaker de 500 mL
- 1 micropipeta con puntas

#### **-Equipo**

- Espectrofotómetro Shimadzu UV-1800
- Celda de plástico de 1 cm

**ANEXO N° 6:**  
**CERTIFICADOS DE CALIBRACION DE CRISTALERIA**



**SERVICIOS DE CALIBRACIÓN, S.A. DE C.V.**

# CERTIFICADO DE CALIBRACION

Según el Alcance de Acreditación disponible en [www.osa.gob.sv](http://www.osa.gob.sv) Certificado No. VOL01161202FF

Equipo: Frasco Volumétrico (Balón)	Volumen
Marca: Silber Brand	Volumen
Modelo: S/N	(ml)

Serie: S/N

Código : 01

Intervalo: 10 ml

Intervalo de Calibración: 10 ml

Resolución: N/A

Ubicación: Laboratorio Físicoquímico de Aguas

Fecha de Recepción: 2016-12-01

Fecha de calibración: 2016-12-02

Próxima calibración: Definida por cliente

Empresa solicitante: **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

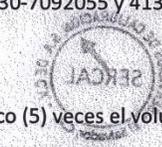
Dirección: Ciudad Universitaria, Final 25 Av. Norte, San Salvador, El Salvador

**TRAZABILIDAD:** SERCAL asegura la trazabilidad del patrón con certificado No. IPP01160319FF de SERCAL, 6530-7092055 y 4132-7210807 de Control Company

**PROCEDIMIENTO No.:** PT-15

**METODO:** Gravimétrico; pesar cinco (5) veces el volumen contenido de agua purificada.

Laboratorio de Calibración acreditado por el OSA. Registro No. LCA-01:15



PT-10:FT-01 Pág. 1/2

# CERTIFICADO DE CALIBRACION

Certificado No. VOL01161202FF

## RESULTADOS OBTENIDOS:

Volumen Nominal ( ml )	Volumen a 20 °C ( ml )	Corrección ( ml )	Incertidumbre Expandida ( ml )
10	10	0	0,03

La incertidumbre expandida está calculada usando un factor de cobertura  $k=2$ , para un intervalo de confianza de aproximadamente el 95 %

Condiciones ambientales: 21 °C, 63 % HR

Los resultados obtenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y para los ítems identificados en este certificado.

Este documento no podrá ser reproducido de forma parcial, sin la autorización de SERCAL

**SERCAL:** No se responsabiliza por daños que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

Francisco Funes  
Técnico



FIN DEL CERTIFICADO

Mauricio Chinchilla  
Aprobó

Pág. 2/2



SERVICIOS DE CALIBRACIÓN, S.A. DE C.V.

# CERTIFICADO DE CALIBRACION

Según el Alcance de Acreditación disponible en [www.osa.gob.sv](http://www.osa.gob.sv) Certificado No. VOL04161202FF

Equipo: Frasco Volumétrico (Balón)		
Marca: PYREX		
Modelo: S/N		

Serie: 5642

Código: CV-034/07

Intervalo: 100 ml

Intervalo de Calibración: 100 ml

Resolución: N/A

Ubicación: Laboratorio Físicoquímico de Aguas

Fecha de Recepción: 2016-12-01

Fecha de calibración: 2016-12-02

Próxima calibración: Definida por cliente

Empresa solicitante: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

Dirección: Ciudad Universitaria, Final 25 Av. Norte, San Salvador, El Salvador

TRAZABILIDAD: SERCAL asegura la trazabilidad del patrón con certificado No. IPP01160319FF de SERCAL, 6530-7092055 y 4132-7210807 de Control Company

PROCEDIMIENTO No.: PT-15

METODO: Gravimétrico; pesar cinco (5) veces el volumen contenido de agua purificada.

FIN DEL CERTIFICADO

PT-10:FT-01 Pág. 1/2

Laboratorio de Calibración acreditado por el OSA. Registro No. LCA-01:15

# CERTIFICADO DE CALIBRACION

Certificado No. VOL04161202FF

## RESULTADOS OBTENIDOS:

Volumen Nominal ( ml )	Volumen a 20 °C ( ml )	Corrección ( ml )	Incertidumbre Expandida ( ml )
100	100	0	0,27

La incertidumbre expandida está calculada usando un factor de cobertura  $k=2$ , para un intervalo de confianza de aproximadamente el 95 %

Condiciones ambientales: 21 °C, 60 % HR

Los resultados obtenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y para los items identificados en este certificado.

Este documento no podrá ser reproducido de forma parcial, sin la autorización de SERCAL

**SERCAL:** No se responsabiliza por daños que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

Francisco Funes  
Técnico



Mauricio Chinchilla  
Aprobó

Pág. 2/2

FIN DEL CERTIFICADO



SERVICIOS DE CALIBRACIÓN, S.A. DE C.V.

# CERTIFICADO DE CALIBRACION

Según el Alcance de Acreditación disponible en [www.osa.gob.sv](http://www.osa.gob.sv) Certificado No. VOL08161202FF

Equipo: Bureta		
Marca: PYREX		
Modelo: S/N		
Serie: 2103		

Código: 01

Intervalo: 0 ml a 10 ml

Intervalo de Calibración: 3,2 ml a 10 ml

Resolución: N/A

Ubicación: Laboratorio Físicoquímico de Aguas

Fecha de Recepción: 2016-12-01

Fecha de calibración: 2016-12-02

Próxima calibración: Definida por cliente

Empresa solicitante: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

Dirección: Ciudad Universitaria, Final 25 Av. Norte, San Salvador, El Salvador

TRAZABILIDAD: SERCAL asegura la trazabilidad del patrón con certificado No. IPP01160319FF de SERCAL, 6530-7092055 y 4132-7210807 de Control Company

PROCEDIMIENTO No.: PT-15

METODO: Gravimétrico; pesar cinco (5) veces el volumen contenido de agua purificada.

PT-10:FT-01 Pág. 1/2

Laboratorio de Calibración acreditado por el OSA. Registro No. LCA-01:15

# CERTIFICADO DE CALIBRACION

Certificado No. VOL08161202FF

## RESULTADOS OBTENIDOS:

Volumen Nominal ( ml )	Volumen a 20 °C ( ml )	Corrección ( ml )	Incertidumbre Expandida ( ml )
3,2	3,2	0	0,01
8	8	0	0,01
10	10	0	0,03

La incertidumbre expandida está calculada usando un factor de cobertura  $k=2$ , para un intervalo de confianza de aproximadamente el 95 %

Condiciones ambientales: 22 °C, 59 % HR

Los resultados obtenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y para los ítems identificados en este certificado.

Este documento no podrá ser reproducido de forma parcial, sin la autorización de SERCAL

**SERCAL:** No se responsabiliza por daños que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

Francisco Funes  
Técnico



Mauricio Chinchilla  
Aprobó

FIN DEL CERTIFICADO

Pág. 2/2



**SERVICIOS DE CALIBRACIÓN, S.A. DE C.V.**

## CERTIFICADO DE CALIBRACION

Según el Alcance de Acreditación disponible en [www.osa.gob.sv](http://www.osa.gob.sv) Certificado No. VOL07161202FF

Equipo: Pipeta

Marca: KIMAX

Modelo: 37000

Serie: S/N

Código : 01

Intervalo: 1 ml

Intervalo de Calibración: 1 ml

Resolución: N/A

Ubicación: Laboratorio Físicoquímico de Aguas

Fecha de Recepción: 2016-12-01

Fecha de calibración: 2016-12-02

Próxima calibración: Definida por cliente

Empresa solicitante: **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

Dirección: Ciudad Universitaria, Final 25 Av. Norte, San Salvador, El Salvador

**TRAZABILIDAD:** SERCAL asegura la trazabilidad del patrón con certificado No. IPP01160319FF de SERCAL, 6530-7092055 y 4132-7210807 de Control Company

**PROCEDIMIENTO No.:** PT-15

**METODO:** Gravimétrico; pesar cinco (5) veces el volumen contenido de agua purificada.

PT-10:FT-01 Pág. 1/2

Laboratorio de Calibración acreditado por el OSA. Registro No. LCA-01:15

# CERTIFICADO DE CALIBRACION

Certificado No. VOL07161202FF

## RESULTADOS OBTENIDOS:

Volumen Nominal ( ml )	Volumen a 20 °C ( ml )	Corrección ( ml )	Incertidumbre Expandida ( ml )
1	1	0	0,01

La incertidumbre expandida está calculada usando un factor de cobertura  $k=2$ , para un intervalo de confianza de aproximadamente el 95 %

Condiciones ambientales: 21 °C, 62 % HR

Los resultados obtenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y para los ítems identificados en este certificado.

Este documento no podrá ser reproducido de forma parcial, sin la autorización de SERCAL

**SERCAL:** No se responsabiliza por daños que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

Francisco Funes  
Técnico



Mauricio Chinchilla  
Aprobó

FIN DEL CERTIFICADO

Pág. 2/2

## ANEXO N° 7:

### CERTIFICADO DE ESTANDAR DE PLOMO



## Certificate of Analysis

### Certipur® Certified Reference Material

<b>Producer:</b>	Merck KGaA, Frankfurter Str. 250, 64293 Darmstadt, Germany.
<b>Accreditation:</b>	Merck KGaA, Darmstadt, Germany is accredited as calibration Laboratory according to DIN EN ISO/IEC 17025.
<b>Description of CRM:</b>	<b>Lead standard solution 1000 mg/l Pb</b>
<b>Ord. No.:</b>	1.19776.0500
<b>Lot No.:</b>	HC60096976
<b>Composition:</b>	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> in HNO <sub>3</sub> Suprapur® 0.5 mol/l
<b>Certified value and uncertainty:</b>	<b>986 mg/kg Pb ± 4 mg/kg Pb</b> <b>Mass fraction (w/w) ± expanded measurement uncertainty</b> The expanded measurement uncertainty $U$ is calculated as $U = k \cdot U_{\text{characterisation}}$ , where $k = 2$ is the coverage factor for a 95% coverage probability and $U_{\text{characterisation}}$ is the combined measurement uncertainty in accordance to DIN EN ISO/IEC 17025.
<b>Density:</b>	The density of the standard solution is 1.0127 g/cm <sup>3</sup> at 20°C.
<b>Calculated mass concentration:</b>	<b>998 mg/l Pb</b>
<b>Method of Analysis:</b>	Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES).
<b>Traceability:</b>	This reference material has been measured applying high precision ICP-OES and is directly traceable to the corresponding <b>NIST SRM® 3128, lot 101026</b> . <i>NIST: National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA.</i>
<b>Storage:</b>	Store at +15°C to +25°C tightly closed in the original container.
<b>Application and correct use:</b>	This reference material is intended for use as calibration standard for atomic absorption spectrometry, spectrophotometry and other analytical techniques. Shake well before use and never pipet directly from the original container.
<b>Date of release:</b>	2016/09/16
<b>Minimum shelf life:</b>	2019/08/31
<b>Certificate Version:</b>	1 issued on 2016/09/16

*A. Yildirim*

Dipl.-Ing. Ayfer Yildirim  
(Laboratory Manager)

Merck KGaA · Frankfurter Straße 250, 64293 Darmstadt, Germany: +49 6151 72-0

EMD Millipore Corp. · 290 Concord Road, Billerica, MA 01821, USA: +1-781-533-6000

## ANEXO N° 8:

### CERTIFICADO DE KIT DE PLOMO



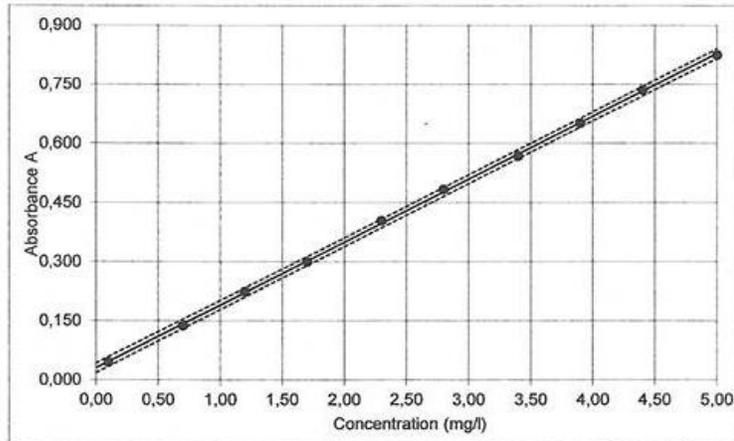
#### Lot Certificate

#### Chargenzertifikat / Certificado del lote

#### Spectroquant® Lead Test

#### Spectroquant® Blei-Test / Spectroquant® Test Plomo

Cat.No. / Art.Nr. / Art. Nro.		n = 10	
Measuring Range / Messbereich / Intervalo de medida	0,10 - 5,00 mg/l Pb	Conc. / Konz. (Standard / Patrón) mg/l Pb	Absorbance Extinction Extinción
Lot no./ Charge-Nr. / Lote nro.	HCT20959	0,10	0,044
Expiry date / Verwendbarkeit / Fecha de caducidad	2020/04/30	0,70	0,137
Standard / Standard / Patrón	Lead standard 1.19776 Lot HC43285076	1,20	0,224
Photometer / Photometer / Fotómetro	Reference / Referenz / Referencia	1,70	0,300
Wavelength / Wellenlänge / Longitud de onda	525 nm	2,30	0,404
Cell / Küvette / Cubeta	10 mm	2,80	0,483
Tester / Prüfer / Verificador	Fr. Brandner	3,40	0,568
Date / Datum / Fecha	2017/04/26	3,90	0,651
File / Datei / Fichero	1097170001_HCT20959_EN	4,40	0,735
		5,00	0,824
Calibration Function / Kalibrierfunktion / Función de calibración ISO 8466-1 / DIN 38402 A51		Target value Sollwert Valor nominal	Lot value Chargenwert Valor del lote
Slope / Steigung / Pendiente	Tolerance +/- / Tolerancia	0,160 ± 0,005	0,160 ✓
Ordinate segment / Ordinatenabschnitt / Intersección en ordenadas		0,020 ± 0,015 A	0,030 ✓
Reagent blank / Reag.blindwert / Valor en blanco del reactivo	Tolerance +/- / Tolerancia		0,028 A ✓
Confidential interval (P=95%) Vertrauensbereich (95% Wahrscheinlichkeit) / Intervalo de confianza (95 % de probabilidad)		± 0,10 mg/l	± 0,07 mg/l ✓
Standard Deviation of the Method Verfahrensstandardabweichung / Desviación estándar del procedimiento			± 0,029 mg/l ✓
Variation Coefficient of the Method Verfahrensvariationskoeffizient / Coeficiente de variación del procedimiento		± 2,5 %	± 1,1% ✓



Merck KGaA

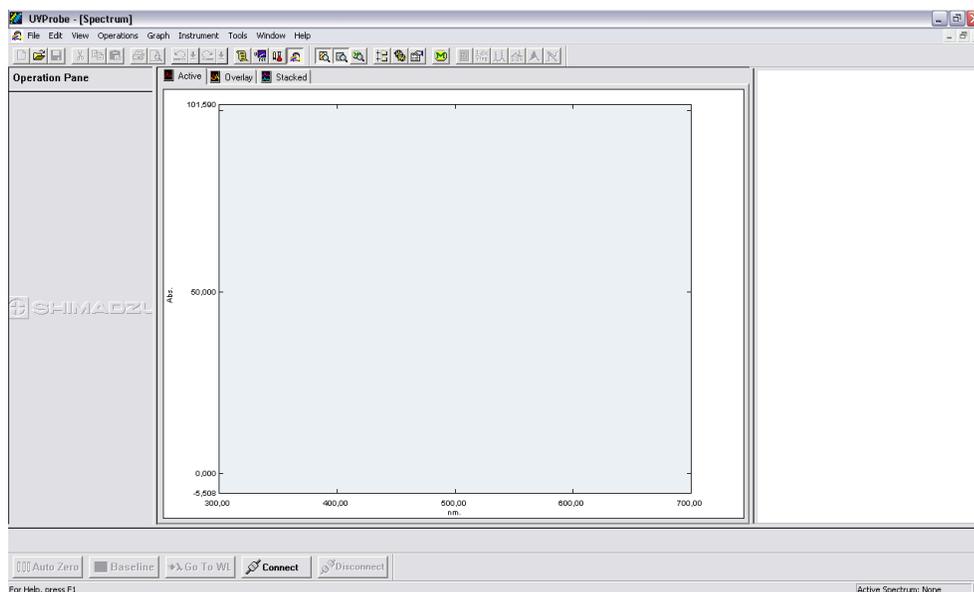
Quality control  
Qualitätskontrolle / Control de calidad

Head of Lab./ Laborleiter /  
Jefe de laboratorio

**ANEXO N° 9:**  
**OPERACIÓN DEL ESPECTROFOTÓMETRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE**  
**SHIMADZU UV1800**

## -USO DEL SOFTWARE UVPROBE EN MODO FOTOMETRICO

1. Encender el UPS
2. Encender espectrofotómetro UV Visible UV-1800 Shimadzu
3. Encender CPU
4. Inicializar Programa UV PROBE
5. Conectar equipo uv-visible a la computadora:
  - a. Presionar **F4**, para generar el enlace del espectrofotómetro a la PC.
  - b. En la pantalla de inicio del programa UV-Probe presionar la función de trabajo (Espectro, Fotométrico, Cinético, ect.) y luego el comando **Connect** de la barra inferior del programa, esto acepta el enlace del UV con el PC. (ver indicador en figura siguiente)



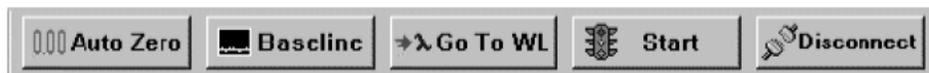
## -Conexión al espectrofotómetro

1. Selecciones Window(Ventana)> Spectrum(espectro), kinetics(Cinética) o Photometric (Fotómetro). Un módulo debe de estar activo antes de que se pueda conectar el espectrofotómetro.
2. En la barra de instrumentos, seleccione el botón de instrumentos, cuando solo esté instalado un instrumento, este se selecciona automáticamente.
3. Asegúrese de que el espectrofotómetro está encendido y haga clic en el botón connect. (Conectar)

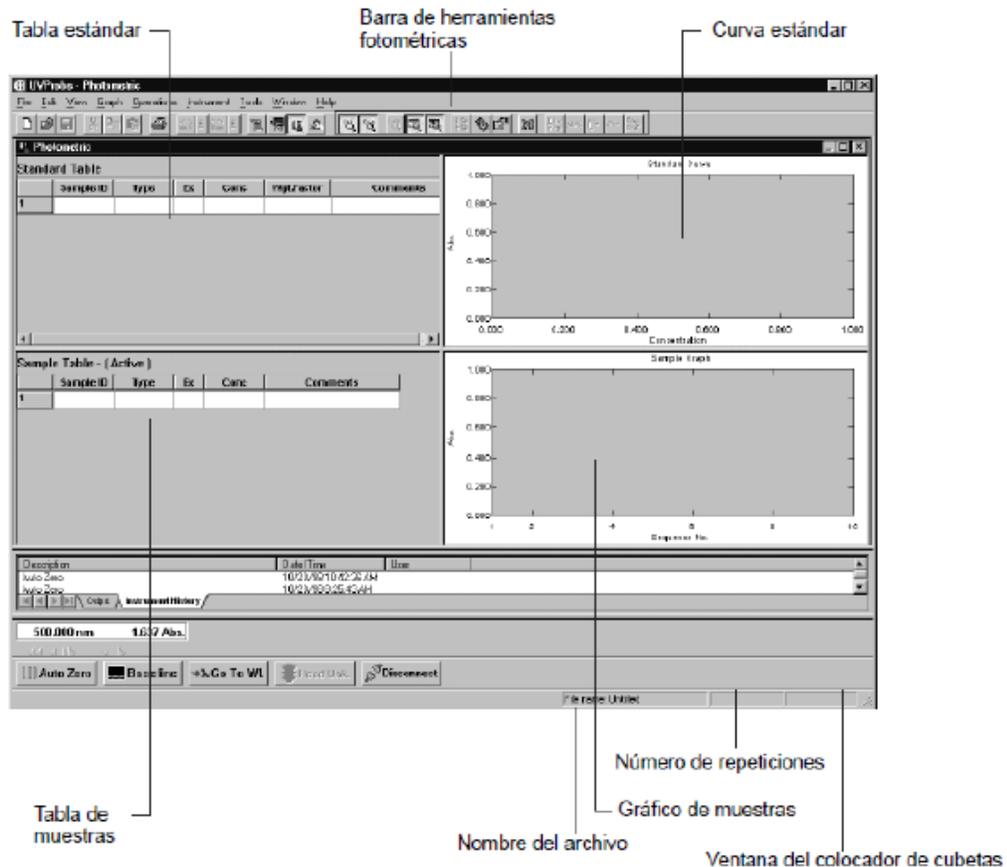


Cuando está conectado al instrumento, el botón connect (conectar) cambia a start (iniciar) y los botones del fotómetro se activan, tal y como se muestra en la ilustración siguiente.

En ese momento, cree un método de recogida de datos para un módulo y comience a tomar lecturas.



En el método fotométrico la ventana a observar es la siguiente:

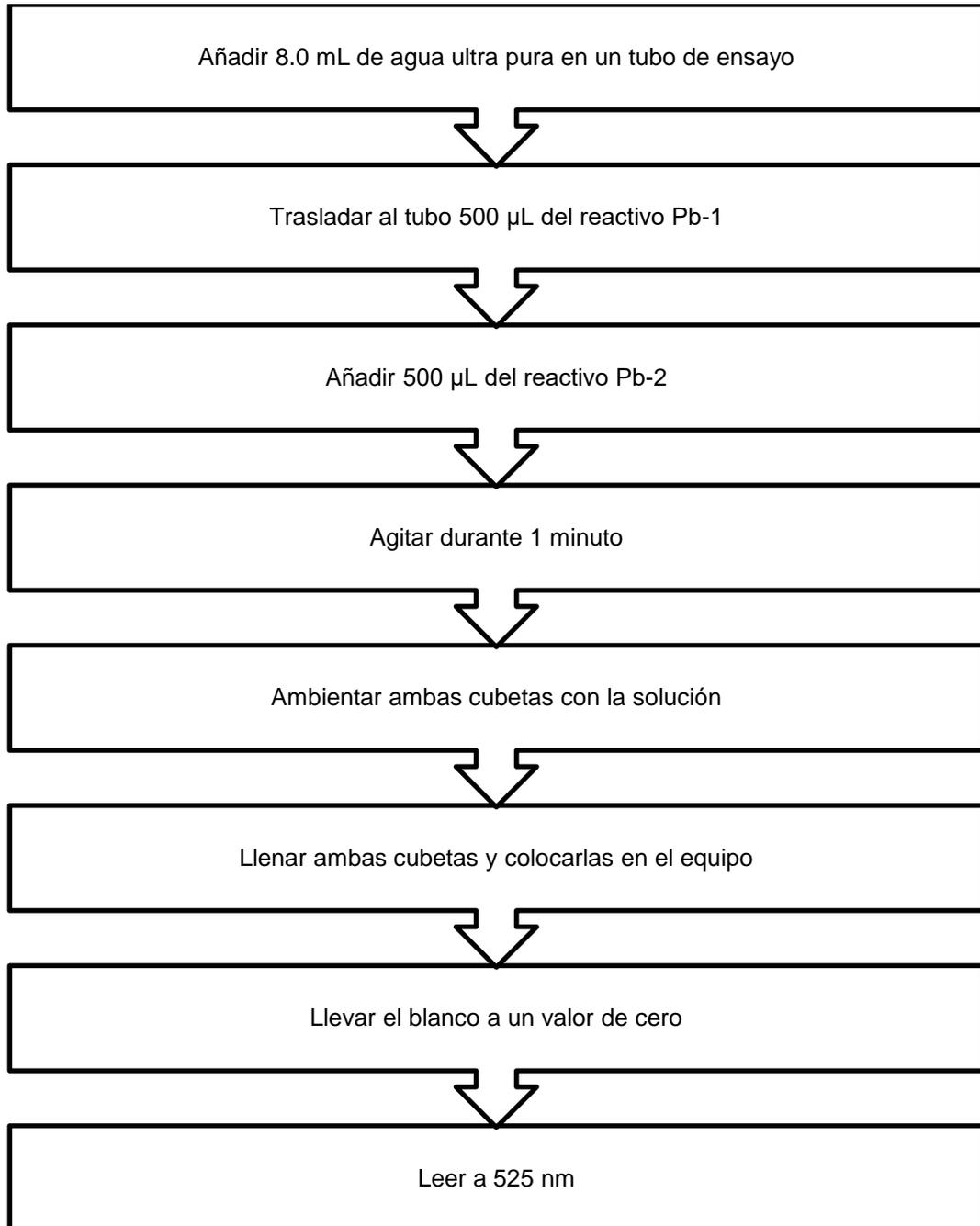


## -Crear un nuevo método de medición

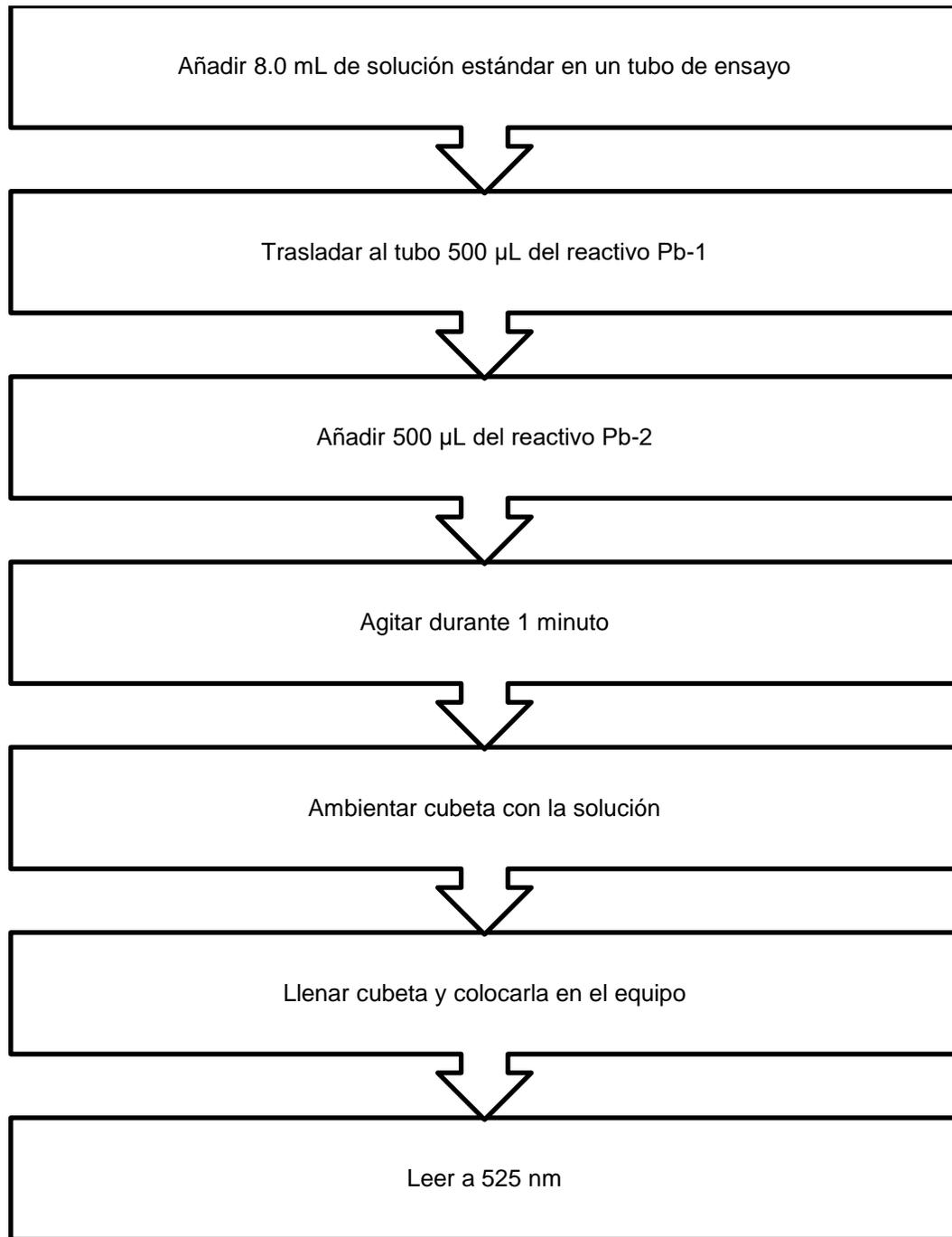
Cuando se cree un nuevo método fotométrico, se inicia el asistente de dicho método. Complete el método de medición de acuerdo a las instrucciones del asistente.

1. Cuando la ventana fotométrica no se abra, seleccione Photometric (Fotométrico) en el menú de la ventana para activar el módulo fotométrico
2. Seleccione File(Archivo)>New(Nuevo)
3. Seleccione Edit(Edición)> Method(método)

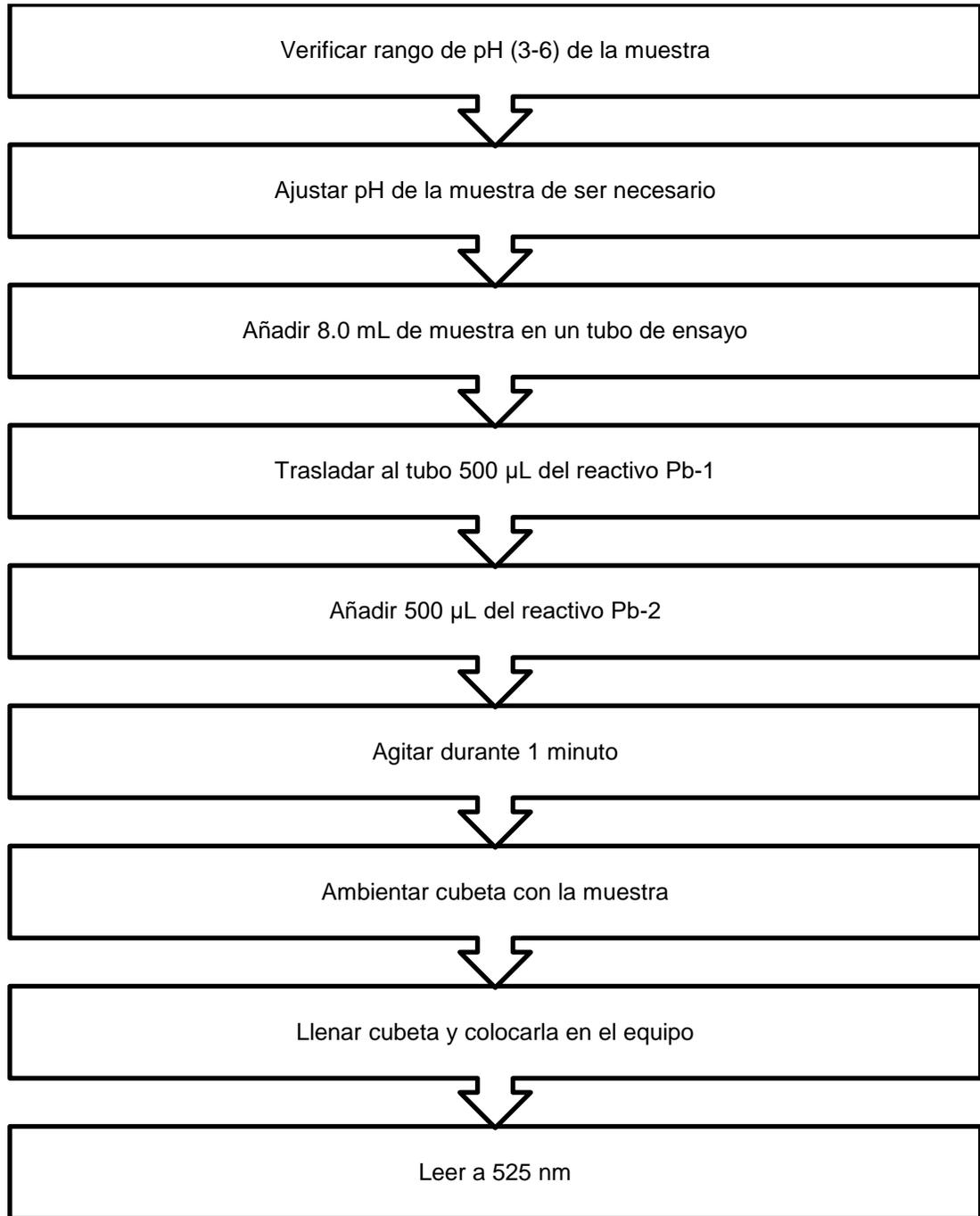
**ANEXO N° 10:**  
**DIAGRAMAS PARA LECTURAS DE: BLANCOS, CURVA DE**  
**CALIBRACIÓN Y MUESTRAS**



**Figura N°1: Diagrama para lectura de blancos**



**Figura N°2: Diagrama para lectura de curva de calibración**



**Figura N°3: Diagrama para lectura de muestras**

**ANEXO N° 11:**  
**FORMATO PARA RESULTADOS DE CURVA DE CALIBRACIÓN**

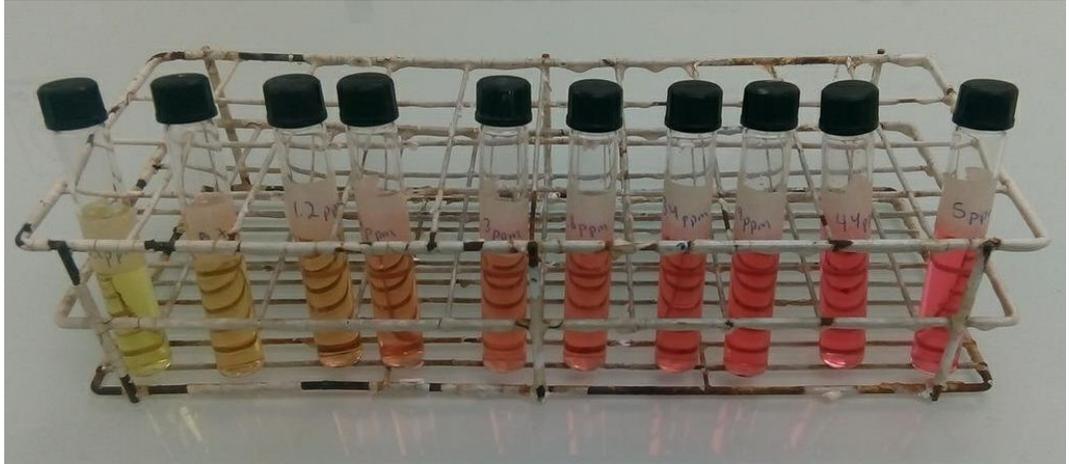
**Tabla N° 2: Formato de resultados para curva de calibración**

<b>NÚMERO</b>	<b>CONCENTRACIÓN (PPM)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>
1	0.1	
2		
3		
4	0.7	
5		
6		
7	1.2	
8		
9		
10	1.7	
11		
12		
13	2.3	
14		
15		
16	2.8	
17		
18		
19	3.4	
20		
21		
22	3.9	
23		
24		
25	4.4	
26		
27		
28	5.0	
29		
30		

**Tabla N° 3: Formato de resultados para lectura de blancos**

<b>NÚMERO</b>	<b>FECHA DE DETERMINACIÓN</b>	<b>ABSORBANCIA</b>
1	11/jun/18	
2		
3		
4	12/jun/18	
5		
6		
7	18/jun/18	
8		
9		
10	25/jun/18	
11		
12		
13	02/jul/18	
14		
15		
16	09/jul/18	
17		
18		
19	16/jul/18	
20		
21		
22	23/jul/18	
23		
24		

## ANEXO N° 12:



**Figura N° 4: Soluciones estándares para curva de calibración**

**ANEXO N° 13:**  
**CRISTALERÍA, CÁLCULOS Y REACTIVOS**

## PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DILUIDA DE HIDRÓXIDO DE AMONIO

### Cristalería

- Balón Volumétrico de 25.0 mL
- Bureta volumétrica de 10.0 mL
- Beaker de 25 mL
- Beaker de 30 mL

### Reactivos

- Agua ultrapura
- Solución de Hidróxido de amonio

### Cálculos Respectivos

#### Datos:

- Concentración de hidróxido de amonio en el laboratorio: 29.5 %
- Concentración final: 10 %
- Volumen final: 25.0 mL
- Volumen inicial: A determinar

Fórmula a utilizar:

$$C_1V_1=C_2V_2$$

#### Despejando:

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$
$$V_1 = \frac{(10\%)(25mL)}{(29.5\%)} = 8.5 mL$$

Cantidad a tomar de hidróxido de amonio para 25.0 mL de solución

**Procedimiento de preparación de Hidróxido de amonio diluido:**

1. Agregar aproximadamente 15 mL de solución de hidróxido de amonio a un Beaker de 25 mL.
2. Agregar la solución anterior a una bureta volumétrica de 10.0 mL.
3. Trasladar 8.5 mL de solución de hidróxido de amonio a un balón volumétrico de 25.0 mL, con ayuda de la bureta volumétrica de 10.0 mL.
4. Llevar a volumen con agua ultrapura, homogenizar.
5. Trasegar a un envase adecuado.
6. Rotular como "Solución Diluida de Hidróxido de amonio".

## PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DILUIDA DE ÁCIDO NÍTRICO

### Cristalería

- Balón Volumétrico de 25.0 mL
- Bureta volumétrica de 10.0 mL
- Beaker de 25 mL
- Beaker de 30 mL

### Reactivos

- Agua ultrapura
- Ácido nítrico concentrado

### Cálculos Respectivos

#### Datos:

- Concentración de ácido nítrico en el laboratorio: 69 %
- Concentración final: 10 %
- Volumen final: 25.0 mL
- Volumen inicial: A determinar

Fórmula a utilizar:

$$C_1V_1=C_2V_2$$

#### Despejando:

$$V_1 = \frac{c_2V_2}{c_1}$$

$$V_1 = \frac{(10\%)(25mL)}{(69\%)} = 3.6$$

Cantidad a tomar de ácido nítrico concentrado para 25.0 mL de solución

**Procedimiento de preparación de ácido nítrico diluido:**

1. Agregar aproximadamente 10 mL de solución ácido nítrico concentrado a un Beaker de 25 mL.
2. Agregar la solución anterior a una bureta volumétrica de 10.0 mL.
3. Trasladar aproximadamente 5 mL de agua ultrapura a un balón volumétrico de 25.0 mL.
4. Añadir 3.6 mL de ácido nítrico por las paredes del balón volumétrico de 25.0 mL, con ayuda de la bureta volumétrica de 10.0 mL.
5. Llevar a volumen con agua ultrapura, homogenizar.
6. Trasegar a un envase adecuado.
7. Rotular como "Ácido nítrico 10%".

**ANEXO N° 14:**  
**FORMATO PARA RESULTADOS DE MUESTRAS**

**Tabla N° 4: Formato para muestras de llenado**

<b>CÓDIGO DE MUESTRA</b>	<b>CONCENTRACIÓN (PPM)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>
LP01		
LP02		
LP03		
LP04		
LP05		
LP06		
LP07		
LP08		
LP09		
LP10		

**Tabla N° 5: Formato para muestras de vaciado**

<b>CÓDIGO DE MUESTRA</b>	<b>CONCENTRACIÓN (PPM)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>
VP01		
VP02		
VP03		
VP04		
VP05		
VP06		
VP07		
VP08		
VP09		
VP10		

## ANEXO N° 15:

# SOLICITUD PARA REALIZACIÓN DE MUESTREO EN LA DPTC



FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



Ciudad Universitaria, 23 de marzo de 2018

Subcomisionado  
Jesús Molina Aguiluz  
Jefe de División Policía Técnica y Científica PNC  
Presente

Respetable Subcomisionado Durán:

Reciba un afectuoso saludo en nombre de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, y el mayor deseo de éxitos en el desarrollo de sus funciones diarias.

En esta ocasión me dirijo a usted, para hacer de su conocimiento que las bachilleres: Candy Guadalupe Aguilar Renderos, Carné: AR13015 y Sofía Margarita Melara Calderón, Carné: MC13028, son estudiantes egresadas de nuestra Facultad, que optan el grado de LICENCIADA EN QUÍMICA Y FARMACIA; y realizan su trabajo de graduación denominado: " CUANTIFICACIÓN DE PLOMO EN AGUAS RESIDUALES DEL TANQUE RECUPERADOR DE PROYECTILES DE LA SECCIÓN DE BALÍSTICA FORENSE DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL"; por tal motivo, muy respetuosamente, solicito su amable colaboración y apoyo, en el sentido de interponer sus buenos oficios para que las estudiantes en mención, puedan realizar su investigación para el desarrollo del referido trabajo, en las instalaciones del Laboratorio de la PNC que tan dignamente Usted dirige.

No omito manifestar, que de ser posible su respuesta, las estudiantes realizarán dicho trabajo durante el período de tres meses a partir de la aprobación de la realización de la investigación, contando con el Docente Asesor, que dirige la investigación adhonoren: Licenciado Henry Alfredo Hernández.

Esperando poder contar con tan valioso apoyo, envío de antemano mis más sinceros agradecimientos, por contribuir siempre con la formación de los futuros profesionales Químicos Farmacéuticos del Alma Máter.

A sus apreciables órdenes, me suscribo cordialmente.

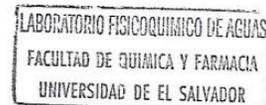
*"Hacia la Libertad por la Cultura"*

12-04-2018

MSc. Cecilia Haydee Gallardo de Velásquez  
Directora General de Procesos de Graduación



Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras  
Docente Asesor



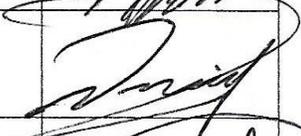
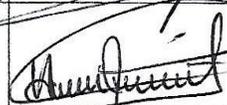
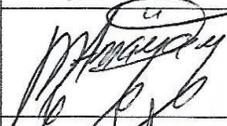
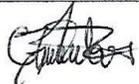
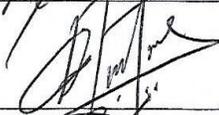
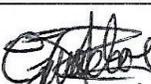
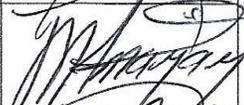
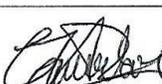
Teléfono 2531-2948

aeh\*

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A. Apdo. Postal 3026  
Telefax: (503) 2225-1645 Teléfonos: (503) 2225-4967, (503) 2225-2326, (503) 2225-1500 Extensiones 4900 y 4902

## ANEXO N° 16

### BITÁCORA DE ASISTENCIA A MUESTREO

FECHA DE MUESTREO	FIRMA CANDY AGUILAR	FIRMA SOFÍA MELARA	FIRMA SUPERVISOR ENCARGADO
13-05-2018			
20-05-2018			
27-05-2018			
03-06-2018			
10-06-2018			
17-06-2018			
24-06-2018			
01-07-2018			
08-07-2018			
15-07-2018			
22-07-2018			

**ANEXO N° 17:**

**MUESTRAS**



Figura N° 5: Muestras de llenado tomadas



Figura N° 6: Muestras de vaciado tomadas

## ANEXO N° 18:

### CARTA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA DPTC



FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



Ciudad Universitaria, 29 de octubre de 2018

Subcomisionado  
Jesús Molina Aguiluz  
Jefe de División Policía Técnica y Científica PNC  
Presente

Respetable Subcomisionado Durán:

Reciba por este medio un afectuoso saludo y el mayor deseo de éxitos en el desarrollo de sus funciones diarias.

En esta ocasión nos dirigimos a usted para hacer de su conocimiento de los resultados obtenidos del trabajo de graduación denominado "CUANTIFICACIÓN DE PLOMO EN AGUAS RESIDUALES DE UN TANQUE PARA PUEBAS DE BALÍSTICA", realizado en las instalaciones del Laboratorio de la PNC, por los bachilleres: Candy Guadalupe Aguilar Renderos, Carné: AR13015 y Sofía Margarita Melara Calderón, Carné: MC13028, estudiantes egresadas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.

El informe correspondiente a dicho trabajo se adjunta a esta carta.

Agradeciendo su colaboración prestada, y esperando que la información sea de utilidad.

Muy atentamente,

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"

  
Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras  
Docente Asesor



  
Candy Guadalupe Aguilar Renderos

  
Sofía Margarita Melara Calderón

  
Amalia de Bohanes  
05-11-18

**ANEXO N° 19:**  
**INFORME DE RESULTADOS ENTREGADO A LA DPTC**



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA**



INFORME DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE  
PLOMO EN AGUAS RESIDUALES DEL TANQUE PARA  
PRUEBA DE BALÍSTICA "TB007"

CUANTIFICACION DE PLOMO EN AGUAS RESIDUALES DE UN  
TANQUE PARA PRUEBA DE BALISTICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIADA EN QUIMICA Y FARMACIA

PRESENTADO POR:

CANDY GUADALUPE AGUILAR RENDEROS

SOFIA MARGARITA MELARA CALDERON

SAN SALVADOR, 29 OCTUBRE DE 2018

## **RESUMEN**

En el presente estudio se cuantificó plomo en el agua residual contenida en el tanque recuperador de proyectiles TB007 ubicado en la sección AB001 de la División Policía Técnica y Científica de la Policía Nacional Civil.

El proceso de muestreo se llevó a cabo, cada domingo durante el periodo que comprendió entre el 13 de mayo y el 22 de julio de 2018, se tomó un litro de muestra del agua que abastece el tanque y un litro de muestra del agua contenida en el tanque luego de efectuar los disparos, haciendo un total de 20 muestras. Estas muestras de agua tuvieron que cumplir ciertos requisitos para poder ser válidas y someterse al estudio pertinente. Por lo que se hizo uso de la norma ISO 5667: Calidad de agua-muestreo, que proporciona una guía para el tratamiento y transporte de las muestras. El recipiente utilizado para cada una de las muestras fue un frasco de boca ancha de polietileno previamente tratado con 5 mL  $H_2SO_4$ , el cual era etiquetado con su código respectivo para evitar confusiones. Ambas muestras fueron trasladadas al laboratorio fisicoquímico de aguas por medio de una hielera conteniendo placas de congelación para preservarlas.

Para el análisis de estas muestras se utilizó el equipo SHIMADZU UV-1800, con el respectivo kit de plomo N° 09717 que especifica la técnica conocida como 4-(2-piridilazo)-resorcina (PAR) cuyo principio es que en solución alcalina los iones plomo (II) forman con el PAR un complejo rojo que se determina espectrofotométricamente a una longitud de onda de 525 nm.

Toda la parte experimental de la investigación se realizó en los meses de junio y julio del año 2018 en el Laboratorio Fisicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador. Los resultados obtenidos se compararon con la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09: Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.

## I. RESULTADOS

Tabla N°1: Concentración de plomo en las muestras de llenado

MUESTRA	CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA
LP01	NO DETECTADO	
LP01		
LP01		
LP02	NO DETECTADO	
LP02		
LP02		
LP03	0.092	0.013
LP03	0.093	0.013
LP03	0.094	0.013
LP04	0.057	0.008
LP04	0.059	0.008
LP04	0.059	0.008
LP05	0.052	0.007
LP05	0.050	0.007
LP05	0.052	0.007
LP06	NO DETECTADO	
LP06		
LP06		
LP07	NO DETECTADO	
LP07		
LP07		
LP08	NO DETECTADO	
LP08		
LP08		
LP09	NO DETECTADO	
LP09		
LP09		
LP10	NO DETECTADO	
LP10		
LP10		

Tabla N°2: Concentración de plomo en las muestras de vaciado

MUESTRA	CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA
VP01	0.135	0.019
VP01	0.144	0.021
VP01	0.151	0.022
VP02	0.144	0.021
VP02	0.145	0.021
VP02	0.147	0.021
VP03	0.186	0.027
VP03	0.185	0.027
VP03	0.184	0.027
VP04	0.156	0.022
VP04	0.159	0.023
VP04	0.160	0.023
VP05	0.162	0.023
VP05	0.159	0.023
VP05	0.158	0.023
VP06	0.143	0.021
VP06	0.143	0.021
VP06	0.142	0.020
VP07	0.009	0.000
VP07	0.010	0.000
VP07	0.011	0.001
VP08	NO DETECTADO	
VP08		
VP08		
VP09	NO DETECTADO	
VP09		
VP09		
VP10	NO DETECTADO	
VP10		
VP10		

El término "NO DETECTADO" se coloca como un criterio técnico para todos aquellos datos en los cuales los valores fueron negativos o cero.

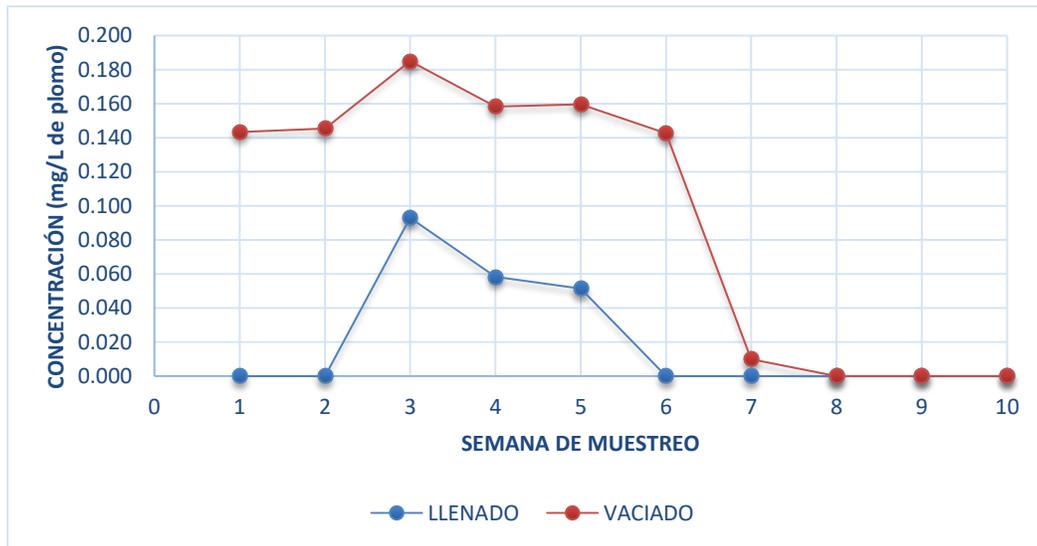


Figura N°1: Gráfico de los valores de plomo obtenidos en las muestras

Como se puede observar en cada una de las tablas; y verificando con la gráfica, los valores de plomo encontrados no sobrepasan los límites establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09 de 0.4 ppm. En el caso de la figura N° 1 se puede observar la variación de los niveles de concentración de plomo, por muestra de vaciado y llenado, hay un total de 10 muestras, pues se tomó el promedio por semana de las concentraciones de plomo encontradas

Debido a que los resultados obtenidos mostraron valores bajos se procedió a calcular el límite de detección (LOD) para conocer la concentración más baja del analito que puede ser detectado por el método y el límite de cuantificación (LOQ) para determinar el nivel más bajo en el cual el desempeño es aceptable.

Se calcularon ambos ya que el límite de cuantificación es un término cuantitativo mientras que el límite de detección es cualitativo.

Para el cálculo de ambos límites se utilizan los valores de los blancos obtenidos en las distintas lecturas, de muestras analizadas., utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{LOD} = 3.29 \times S_0$$

$$\text{LOQ} = 10 \times S_0$$

Cabe destacar que para cada día de análisis se utilizó un blanco distinto, los cuales presentaron los valores que se muestran a continuación.

Tabla N°3: Valores de blancos obtenidos

Número	Concentración (ppm)	Absorbancia
1	0.0	0.000
2		0.000
3		0.001
4	0.0	0.000
5		0.000
6		0.000
7	0.0	0.000
8		0.000
9		0.001
10	0.0	-0.000
11		-0.001
12		-0.001
13	0.0	0.000
14		0.000
15		0.000

Tabla N°3: continuación

16	0.0	0.000
17		0.000
18		0.000
19	0.0	0.001
20		0.001
21		0.001
22	0.0	0.000
23		0.000
24		0.000

Al igual que los cálculos anteriores, se hizo uso de EXCEL para obtener los valores a utilizar.

Donde:

$$S_0=0.0005$$

Sustituyendo el  $S_0$  en la fórmula se obtuvieron los siguientes valores:

$$LOD = 3.29 \times S_0 = 3.29 \times 0.0005 = 0.0016$$

$$LOQ = 10 \times S_0 = 10 \times 0.0005 = 0.0050$$

Esto indica que la concentración más baja del analito que puede ser detectada es de 0.0016 ppm y que el nivel más bajo para que el desempeño sea aceptable es de 0.0050 ppm, esto quiere decir que concentraciones menores pueden detectarse, pero no cuantificarse.

## **II. RECOMENDACIONES**

1. A la dirección de la DPTC, buscar alternativas para no eliminar el agua del tanque TB007 directamente a las alcantarillas, debido a que el plomo contenido, aunque sea en mínimas cantidades, puede afectar el medio ambiente y la salud humana.
2. A la dirección de la DPTC, adaptar un filtro PD-5-934 en la entrada de agua que abastece el tanque TB007 debido a que no confiere ninguna característica que pueda interferir en la prueba de balística, así mismo es ideal para el pretratamiento básico de agua ya que retiene partículas de 5 micrones.
3. A la dirección de la DPTC, adaptar en la tubería de salida del agua un filtro CBR2-10, este se fabrica empleando carbón activo en polvo (PAC) con un medio absorbente, reduce el plomo disuelto y las partículas del metal tan pequeñas como el tamaño de 0,5 micrones. De esta manera se estaría evitando que ni una mínima cantidad de plomo llegue al medio ambiente y lo contamine.
4. A la dirección de la DPTC, realizar análisis periódicamente sobre los niveles de plomo que se están descargando para mantener un control adecuado, asegurando que estos no vayan a aumentar según normativa.
5. A la dirección de la DPTC, gestionar la implementación de un programa de control que incluya un análisis completo de todos los parámetros exigidos en la norma NSO 13.49.01:09: Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor, con el fin de verificar que estos estén dentro de los límites establecidos.

## BIBLIOGRAFIA

1. Carbajal Azcona, A. Y González Fernández, M. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. En M.P. Vaquero y L. Toxqui, (Eds.), Agua para la salud: pasado, presente y futuro (pp. 63-78). Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
2. Caviedes, D.I. Muñoz, R.A. (2015) Tratamiento para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. Revista ingeniería y región, 13(1), 73-90.
3. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. NSO 13.49.01:09. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. 2009.
4. Dosal, M.A. y Villanueva, M. (2008). Introducción a la Metrología Química: Curvas de Calibración en los Métodos Analíticos. Recuperado el 21 de febrero de 2018 de: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CURVASDECALIBRACION\\_23498.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CURVASDECALIBRACION_23498.pdf)
5. Hernández, H. (2018). Espectroscopia UV-VIS [Material de Clase]. Análisis Instrumental. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
6. Laínez, K. Trejo, W. (2012) Evaluación de la calidad microbiológica del agua de pozos de la colonia La Carmenza, Municipio de San Miguel, Departamento de San Miguel. (Tesis de pregrado) Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
7. Matorras, M. (2009). Nuestro planeta y la Salud. Recuperado el 22 de febrero de 2018, de: <http://planetaysalud.blogspot.com/2009/08/el-agu.html>
8. OSA, Organismo Salvadoreño de Acreditación (2013) Guía técnica 9.6: Validación de Métodos Analíticos Físicoquímicos. Disponible: [http://www.osa.gob.sv/index.php?option=com\\_jdownloads&Itemid=214&view=viewcategory&catid=1](http://www.osa.gob.sv/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=214&view=viewcategory&catid=1)

9. -Pentair Residencial Filtration (2017) PENTEK serie CBR2 cartucho de multimedios de bloque de carbón. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de:<http://waterpurification.pentair.com/Files/KnowledgeBase/ItemDownload/en/310080-s-pentek-cbr2series-rev-g-fe17.pdf>
- 10.-Pentair Residencial Filtration (2017) PENTEK serie de polydepth cartuchos de polipropileno. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de:<http://waterpurification.pentair.com/Files/KnowledgeBase/ItemDownload/en/310094-s-pentek-polydepthseries-rev-d-se16.pdf>

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**INFORME DE RESULTADOS DE MUESTRAS DE LLENADO**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



INFORME DE RESULTADOS				
Nombre y dirección: División Policía Técnica y Científica, Avenida Las Bugambilias, #17-7, Colonia San Francisco, San Salvador, El Salvador.				Pág. 1 de 3
Descripción de muestra: Líquido incoloro transparente			N° DE MUESTRAS: 10	
Lugar de toma de muestra: División Policía Técnica y Científica, área AB001, grifo de abastecimiento tanque TB007				
Fecha de elaboración del informe: 24 de agosto de 2018				
Fecha de recepción de muestra: Domingos, del 13 de mayo al 22 de julio de 2018			Fecha de Análisis: Lunes, del 11 de junio al 23 de julio de 2018	
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra	Resultados (PPM)	Norma Salvadoreña
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP01	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP01	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP01	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP02	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP02	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP02	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP03	0.092	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP03	0.093	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09

No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP03	0.094	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP04	0.057	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP04	0.059	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP04	0.059	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP05	0.052	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP05	0.050	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP05	0.052	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP06	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP06	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP06	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP07	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP07	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP07	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP08	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09

*Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin autorización*

No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP08	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP08	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP09	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP09	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP09	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP10	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP10	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	LP10	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
Observaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La toma de muestra estuvo a cargo de: Candy Guadalupe Aguilar Renderos y Sofía Margarita Melara Calderón.</li> <li>- Estos resultados pertenecen a las muestras de agua de llenado del tanque TB007.</li> <li>- Cada muestra se analizó por triplicado.</li> </ul>				

**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**FECHA DE ENTREGA:** 29 de octubre de 2018



*Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.*

*Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin autorización*

**ANEXO 2**  
**INFORME DE RESULTADOS DE MUESTRAS DE VACIADO**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



INFORME DE RESULTADOS				
Nombre y dirección: División Policía Técnica y Científica, Avenida Las Bugambilias, #17-7, Colonia San Francisco, San Salvador, El Salvador.				Pág. 1 de 3
Descripción de muestra: Líquido incoloro transparente, con poco precipitado color grisáceo.				N° DE MUESTRAS: 10
Lugar de toma de muestra: División Policía Técnica y Científica, área AB001, válvula de salida de agua del tanque TB007				
Fecha de elaboración del informe: 24 de agosto de 2018				
Fecha de recepción de muestra: Domingos, del 13 de mayo al 22 de julio de 2018			Fecha de Análisis: Lunes, del 11 de junio al 23 de julio de 2018	
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra	Resultados (PPM)	Norma Salvadoreña
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP01	0.135	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP01	0.144	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP01	0.151	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP02	0.144	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP02	0.145	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP02	0.147	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP03	0.186	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP03	0.185	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09

No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP03	0.184	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP04	0.156	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP04	0.159	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP04	0.160	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP05	0.162	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP05	0.159	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP05	0.158	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP06	0.143	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP06	0.143	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP06	0.142	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP07	0.009	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP07	0.010	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP07	0.011	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP08	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09

*Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin autorización*

No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP08	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP08	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP09	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP09	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP09	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP10	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP10	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
No mayor a 0.4 ppm	ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	VP10	No Detectado	Norma Salvadoreña Obligatoria 13.49.01:09
<b>Observaciones:</b> – La toma de muestra estuvo a cargo de: Candy Guadalupe Aguilar Renderos y Sofía Margarita Melara Calderón. – Estos resultados pertenecen a las muestras de agua de vaciado del tanque TB007. – Cada muestra se analizó por triplicado.				

**Advertencia:** Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

**FECHA DE ENTREGA:** 29 de octubre de 2018.



**Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.**

**Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin autorización**