



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS DE ENJUAGUE MEDIANTE
LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL PROCESO DE LAVADO
DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES EN LA ELM S. A.**

Jaquelinne Sofía López Martínez

Asesorado por el Ing. Keny Abdón López Salazar

Guatemala, mayo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS DE ENJUAGUE MEDIANTE
LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL PROCESO DE LAVADO
DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES EN LA ELM S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JAQUELINNE SOFÍA LÓPEZ MARTÍNEZ
ASESORADO POR EL ING. KENY ABDÓN LÓPEZ SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADORA	Inga. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez (a. i.)

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS DE ENJUAGUE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL PROCESO DE LAVADO DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES EN LA ELM S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 08 de abril de 2015.



Jaquelinne Sofía López Martínez



Guatemala, 18 de enero de 2016

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Carlos Wong:

Por medio de la presente hago constar que he revisado y APROBADO el informe final de EPS titulado: "EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS DE ENJUAGUE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL PROCESO DE LAVADO DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES EN LA ELM S. A.", de la estudiante Jaqueline Sofía López Martínez de la carrera de Ingeniería Química, quien se identifica con carné 201020155.

Sin otro particular, me sujeto a usted.

Atentamente,

Keny Abdón López Salazar
Coordinador de Calidad
Embotelladora La Mariposa S. A.
Asesor

Keny López
Ingeniero Químico
Colegiado 1,474

cbc
ASEGURAMIENTO
DE CALIDAD
ACEPTADO



Guatemala, 08 de febrero de 2016.
Ref.EPS.DOC.72.02.16.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Rodríguez Serrano:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Jaqueline Sofia López Martínez** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **201020155**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS DE ENJUAGUE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL PROCESO DE LAVADO DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES EN LA ELM S.A."**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

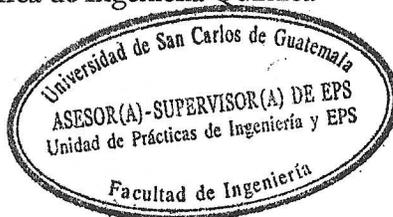
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Sergio Alejandro Recinos
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
SAR/ra





Guatemala, 08 de febrero de 2016.
Ref.EPS.D.65.02.16.

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Wong Davi.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS DE ENJUAGUE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL PROCESO DE LAVADO DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES EN LA ELM S.A."** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Jaqueline Sofía López Martínez, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Sergio Alejandro Recinos.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



Guatemala, 01 de abril de 2016.
Ref. EIQ.TG-IF.018.2016.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo 006-2015 le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Jaquelinne Sofía López Martínez.**
Identificada con número de carné: **2010-20155.**
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS DE ENJUAGUE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL PROCESO DE LAVADO DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES EN LA ELM S. A.

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Keny Abdón López Salazar.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑADA A TODOS"

Ing. Gerardo Ordoñez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.027.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la estudiante **JAQUELINNE SOFÍA LÓPEZ MARTÍNEZ** titulado: **"EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS DE ENJUAGUE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL PROCESO DE LAVADO DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES EN LA ELM S.A."** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo de 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale



Asociación Centroamericana de Asociaciones de Ingenieros y Arquitectos de América Latina y el Caribe

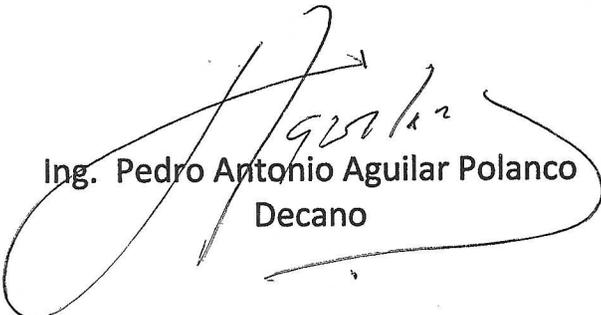




DTG. 220.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS ADITIVOS DE ENJUAGUE MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL PROCESO DE LAVADO DE BOTELLAS DE VIDRIO RETORNABLES EN LA ELM S. A.**, presentado por la estudiante universitaria: **Jaqueline Sofía López Martínez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser mi padre, quien me da la fuerza, el amor y el apoyo incondicional para seguir adelante, además, porque todos los días me demuestra su misericordia; a Él sean la gloria y la honra.

Mi madre y abuela

Elvia Margarita Martínez y a mi abuela materna Audelina Fulvia Martínez Samayoa (q. e. p. d.). Por ser padre y madre, quienes me enseñaron a ser una persona fuerte y perseverante, y mi modelo a seguir.

Mis hermanas

Por apoyarme en cada etapa de mi vida y por ser mi motivación.

Mis tíos

Sandra, Yolanda y Pedro Herrera, Juana y Carlos López, quienes al apoyar a mi familia, permitieron que pudiera culminar mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y por haberme dado la oportunidad de ser una persona profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme el apoyo y los conocimientos adquiridos para mi formación como profesional.
Madre	Elvia Margarita Martínez, por su apoyo incondicional y por su lucha constante.
Embotelladora La Mariposa, S. A.	Por brindarme la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado en sus instalaciones.
Asesor técnico	Ing. Keny López, gracias por brindarme su apoyo durante la realización de Ejercicio Profesional Supervisado.
Asesor supervisor de EPS	Ing. Miguel Lemus e Ing. Sergio Recinos, por su apoyo incondicional y dedicación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Metales pesados	3
2.1.1. Plomo	3
2.1.1.1. Propiedades físicas del plomo.....	4
2.1.1.2. Principales usos Industriales	4
2.1.2. Cadmio	5
2.1.2.1. Propiedades físicas	5
2.1.2.2. Principales usos industriales.....	5
2.2. Pintura	6
2.2.1. Pigmentos.....	6
2.2.1.1. Pigmentos blancos	7
2.2.1.2. Pigmentos rojos	7
2.3. Proceso de lavado de botellas de vidrio	8
2.3.1. Descripción del proceso de lavado de botellas.....	8
2.3.2. Principios de operación	9

2.3.3.	Componentes del detergente	10
2.3.3.1.	Soda cáustica	11
2.3.4.	Componentes de enjuague	11
2.4.	Métodos de identificación y cuantificación de metales pesados.....	11
2.4.1.	Gravimetría por precipitación química.....	12
2.4.2.	Espectroscopía de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES).....	12
2.4.3.	Volumetría complejométrica	12
2.4.3.1.	Complejo	13
2.4.3.2.	Etilendiaminotetracético (EDTA)	13
2.4.3.2.1.	Ventajas de usar EDTA	14
2.4.3.3.	Efecto quelato	15
2.4.3.4.	Efectos termodinámicos	15
2.4.3.5.	Efecto del pH.....	16
2.4.3.6.	Efecto del indicador.....	16
2.5.	Análisis beneficio costo	17
2.5.1.	Indicadores económicos.....	17
2.5.1.1.	Valor actual neto (VAN).....	17
2.5.1.2.	Tasa interna de retorno (TIR).....	17
2.5.1.3.	Índice de beneficio costo (B/C).....	18
2.5.1.4.	Periodo de recuperación de la inversión (PRI).....	19
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Variables	21
3.1.1.	Variables independientes	21
3.1.2.	Variables dependientes	22

3.2.	Delimitación del campo de estudio	23
3.2.1.	Recursos humanos disponibles	23
3.2.2.	Recursos materiales disponibles	24
3.3.	Técnica cualitativa o cuantitativa	25
3.4.	Recolección y ordenamiento de la información	26
3.5.	Técnica de muestreo	26
3.6.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	28
3.7.	Análisis estadístico	31
4.	RESULTADOS	33
4.1.	Evaluación económica de los aditivos de enjuague al retirarlos del proceso de lavado de botellas de vidrio	33
4.2.	Determinación de plomo y cadmio en el agua de lavado de botellas de vidrio retornables	37
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
6.	LOGROS OBTENIDOS	43
	CONCLUSIONES	45
	RECOMENDACIONES	47
	BIBLIOGRAFÍA	49
	APÉNDICES	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema del proceso de lavado de botellas en lavadora	8
2.	Estructura química del ácido etilendiaminotetracético (EDTA).....	13
3.	Reacciones y constantes de disociación del EDTA	14
4.	Consumo de aditivos de enjuague en función del volumen de botellas lavadas	33
5.	Costo de los aditivos de enjuague en función del volumen de producción de botellas lavadas	34
6.	Costo de aditivos de enjuague en función del consumo	35

TABLAS

I.	Principios de operación para el lavado de botellas de vidrio retornables	9
II.	Variables independientes del análisis gravimétrico	21
III.	Variables independientes del análisis volumétrico	22
IV.	Variables dependientes del análisis gravimétrico.....	22
V.	Variables dependientes del análisis volumétrico	22
VI.	Muestra y reactivos	24
VII.	Equipo y cristalería.....	24
VIII.	Recursos generales	25
IX.	Monitoreo del consumo de aditivos.....	26
X.	Plan de muestreo	27
XI.	Datos originales del análisis gravimétrico	28

XII.	Datos originales del análisis de volumetría complejométrica	29
XIII.	Resultados de las concentraciones de plomo	31
XIV.	Análisis de varianza	32
XV.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del consumo	34
XVI.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del costo	35
XVII.	Modelo matemático y coeficiente de correlación del costo y consumo	36
XVIII.	Flujo de caja	36
XIX.	Indicadores económicos	36
XX.	Análisis gravimétrico por precipitación química	37
XXI.	Análisis de volumetría complejométrica para plomo	37
XXII.	Resultados del análisis ICP-OES.....	38

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
R	Coeficiente de correlatividad
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit
g	Gramos
h	Hora
L	Litros
mg	Miligramos
mL	Mililitros
mol	Mol
núm	Número
ppm	Partes por millón
Q	Quetzal (moneda de Guatemala)
vol	Volumen

GLOSARIO

Aditivos de enjuague	Sustancias adicionadas durante el pre-enjuague para arrastrar con ellas los metales pesados y la soda cáustica que pueda quedar dentro de las botellas.
Agente precipitante	Molécula o ión que reacciona de forma específica o selectiva con el analito.
Agente quelante	Anión o molécula que se une a un átomo de un metal para formar un ion complejo.
Analito	Elemento o compuesto de interés en la muestra.
Atomizar	Dividir en partes muy pequeñas, pulverizar.
Complejo	Combinación de un ión metálico con un grupo donador de par de electrones.
Indicador	Sustancia que puede reaccionar con uno de los participantes en la reacción volumétrica, de modo que produzca un cambio observable del aspecto de la solución.
Ionización	Fenómeno químico que consiste en producir iones de un átomo o de una molécula.

Metal pesado	Metal cuya densidad es mayor a la densidad del agua; al estar a concentraciones considerables en el ambiente, pueden afectar la salud de las personas.
Pigmento	Sustancia química pulverizable, insoluble en agua y en aceite, generalmente coloreada, que se usa en la fabricación de pinturas.
Precipitado	Sólido que se produce en una disolución por efecto de cristalización o de una reacción química.
Producto iónico	Producto de la concentración molar de sus iones en una disolución saturada, donde cada una de ellas se encuentra elevada a un exponente.
Punto de equivalencia	Punto teórico que indica cuando la cantidad de titulante añadido es químicamente equivalente a la cantidad de analito en la muestra.
Solubilidad	Capacidad de una sustancia para disolverse en otra.
Titulante	Reactivo añadido a la solución que contiene el analito, el cual reacciona completamente con este, y cuyo volumen permite el cálculo de la concentración.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo realizar una evaluación económica de los aditivos de enjuague mediante la determinación de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en el agua de lavado durante el proceso de lavado de botellas de vidrio retornables, con el fin de considerar el retiro de los aditivos de enjuague A y B del proceso, los cuales actúan como agentes secuestrantes de metales pesados, asimismo, descartar la posible fuente de arrastre por desprendimiento de dichos metales de la tinta elaborada con pigmentos que contengan plomo y cadmio en el logotipo durante el proceso de lavado.

Se monitoreó el consumo de aditivos durante las producciones de lavado de botellas de vidrio, presentación medio litro, la cual se eligió porque tiene mayor demanda y es una de las más antiguas que retornan del mercado. A partir del consumo se determinó el costo por mes de los aditivos de enjuague. Luego se realizó el cálculo de los indicadores económicos, los cuales demuestran que el retiro de los aditivos de enjuague del proceso de lavado de botellas es rentable.

Para la determinación de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en el agua de lavado de botellas de vidrio se analizó esta, sin aditivos de enjuague durante tres horas a cada hora, se tomó una muestra del tanque núm.5. Los tres métodos químicos utilizados fueron: gravimetría por precipitación química, volumetría complejométrica y espectroscopía de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES, por sus siglas en inglés). Esto se hizo una vez al mes durante tres meses.

En el análisis de gravimetría por precipitación química se utilizó yoduro de potasio (KI), como agente precipitante, y para la precipitación de cadmio se utilizó hidróxido de calcio (Ca(OH)_2). Para el método de volumetría complejométrica se empleó el agente quelante EDTA y el negro de eriocromo T como indicador; en ambos métodos se hicieron tres corridas por cada hora. La espectroscopía de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo se hizo en un laboratorio externo debido a que no se cuenta con el equipo en el laboratorio de la empresa.

La cuantificación de plomo y cadmio en los primeros dos meses fue menor a las concentraciones mínimas detectables de los tres métodos, en el último mes se llegó a cuantificar plomo a una concentración promedio de 0,004 ppm durante las tres horas de lavado sin aditivos a través del método ICP-OES. La concentración de plomo cuantificada está por debajo del límite máximo permisible para el agua potable que establece la Norma COGUANOR 29 001:99. Según los resultados obtenidos no hay desprendimiento de dichos metales del logotipo del envase durante el lavado de las botellas.

La empresa tendrá un ahorro mayor al costo de análisis de los metales pesados para su control el cual puede ser utilizado para mejoras en el proceso de lavado de botellas de vidrio.

OBJETIVOS

General

Realizar una evaluación económica de los aditivos de enjuague mediante la determinación de plomo y cadmio en el agua de lavado de botellas de vidrio retornables.

Específicos

1. Determinar la relación entre el consumo de aditivos de enjuague en función de la cantidad de botellas lavadas.
2. Determinar la relación del costo en función del consumo de aditivos de enjuague.
3. Realizar un análisis gravimétrico por precipitación química y una espectroscopia de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES), para la identificación de plomo y cadmio en el agua del proceso de lavado de botellas de vidrio retornables sin aditivos de enjuague.
4. Determinar la concentración de plomo por volumetría complejométrica con EDTA en el agua de proceso de lavado de botellas de vidrio retornables sin aditivos.

Hipótesis

Es factible el retiro de los aditivos de enjuague al no encontrar concentraciones de plomo y cadmio en el agua de lavado de botellas de vidrio retornables.

Hipótesis nula

1. Es posible cuantificar las concentraciones de plomo y cadmio en el agua de lavado por los tres métodos químicos.

Hipótesis alternativa

2. Es posible no cuantificar las concentraciones de plomo y cadmio en el agua de lavado por los tres métodos químicos.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados se han utilizado ampliamente en la industria para la elaboración de varios productos, tales como: pintura, baterías, municiones, entre otros. Existen metales pesados esenciales y no esenciales para el ser vivo. Se conoce como metales pesados esenciales al hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co) y molibdeno (Mo). Los metales no esenciales son: cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) y arsénico (As).

Un metal pesado no esencial es considerado un elemento tóxico según las cantidades a las que puede estar expuesto el ser vivo. Por esta razón ha decrecido en volumen la utilización de plomo y cadmio en la fabricación de pinturas con pigmentos rojo y blanco, los cuales han sido elaborados con los metales antes mencionados.

Por considerarse elementos tóxicos, estos deben ser controlados, para ello se debe reducir la concentración o eliminar la presencia de los mismos. En la industria de alimentos se deben controlar las posibles fuentes de contaminación, por lo cual se utilizan aditivos de enjuague en el proceso de lavado de botellas, con el objetivo de arrastrar los metales pesados que pueden ser desprendidos del logotipo del envase durante el proceso de lavado.

Para identificar y cuantificar los metales pesados en el agua, existen los análisis químicos cualitativos, cuantitativos e instrumentales, para cada uno se puede utilizar diferentes técnicas, con las que se busca precisión en los resultados a un bajo costo.

Los análisis que se realizaron en el presente trabajo son los siguientes: gravimetría por precipitación química, volumetría complejométrica y espectroscopia de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES).

El análisis gravimétrico por precipitación química se basa en la medida de masa del precipitado, el cual se forma al adicionar un agente precipitante, para luego ser filtrado, secado y pesado.

La volumetría complejométrica consiste en determinar la concentración de plomo, a partir del volumen gastado del titulante. Asimismo, es de gran importancia el indicador a utilizar, ya que este debe cambiar de color cuando se está cerca del punto de equivalencia, para este método es necesario tomar en cuenta la relación estequiométrica entre el titulante y el analito.

El análisis ICP-OES se basa en los espectros de emisión atómica de los analitos atomizados e ionizados, los espectros son dispersados por la red de difracción y el detector sensible a la luz se encarga de medir las intensidades de las líneas. La información es procesada por el sistema informático.

Asimismo, se presenta un análisis de costo beneficio sobre el retiro de los aditivos, en el cual se exponen los beneficios económicos y los costos de esta acción en un año de vida útil del proyecto. Además se determinaron los indicadores económicos que definen la rentabilidad del proyecto sobre los cuales se toma la decisión si el proyecto se aprueba o se rechaza.

1. ANTECEDENTES

Estudios sobre plomo y cadmio en la pigmentación de botellas de vidrio no se han realizado específicamente; sin embargo, como las concentraciones de plomo y cadmio afectan la salud humana y existe variedad de fuentes contaminantes, se han desarrollado métodos para la identificación y cuantificación de estos, por lo cual existen varios estudios sobre la determinación de plomo y cadmio, entre otros metales pesados, mediante el ICP-OES.

El estudio de Miriam Elba Cano Vega tenía como objetivo realizar un análisis para determinar los residuos de disparo de arma de fuego (GSR), mediante la cuantificación de plomo (Pb), bario (Ba) y antimonio (Sb) al utilizar la espectroscopía de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES).

El trabajo de investigación de Manuel Jesús Gázquez González, titulado *Caracterización y valorización de residuos generados en la industria de producción de dióxido de titanio*, hace uso del análisis ICP-OES para determinar los elementos mayoritarios de las muestras líquidas recogidas en los muestreos llevados a cabo.

La investigación limnológica y extracción de sedimentos del lago Petén Itzá (Guatemala); realizada por Liseth Pérez, Gabriela Alfaro, Margarita Palmieri y Margaret Dix, consiste en determinar aniones en muestras de agua por medio del método de ICP-OES.

La investigación de Juana Obregón para optar por el título de especialidad en química analítica, titulado *Análisis de adulteración en gasolinas automotrices en base al contenido de plomo*, consistió en comparar diferentes métodos analíticos enfocados en la determinación de plomo en gasolinas automotrices; uno de los métodos fue la gravimetría por precipitación química, ya que puede resultar confiable y de fácil aplicación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Metales pesados

Son aquellos metales que se encuentran en la tabla periódica con pesos específicos mayores a 6 g/cm³, excluyendo generalmente a los metales alcalinos y alcalinotérreos. También son llamados “metales tóxicos” o “elementos trazas”, y son considerados como metales venenosos.

Entre los metales pesados existen los esenciales y no esenciales para el ser vivo. Normalmente, se conocen como metales pesados esenciales al hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co) y molibdeno (Mo). Como metales pesados no esenciales se encuentra el cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) y arsénico (As).

Los metales pesados se distinguen por no ser biodegradables y por bioacumularse en los organismos, provocando patologías y en ocasiones la muerte.

2.1.1. Plomo

Elemento químico que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, siendo el sulfuro de plomo o galena su forma más frecuente de presentación.

Es un metal resistente a la acción del ácido sulfúrico, pero se disuelve con facilidad en el ácido nítrico y en los ácidos orgánicos (cítrico, acético), dando lugar a sales solubles.

2.1.1.1. Propiedades físicas del plomo

Medidas de las características propias del metal que no alteran su composición química.

- Fórmula: Pb
- Peso fórmula: 207,21 g/mol
- Densidad relativa: 11,37 ^{20°/30° C}
- Punto de fusión: 327,5 °C
- Punto de ebullición: 1 650 °C
- Solubilidad: HNO₃

2.1.1.2. Principales usos Industriales

El empleo industrial del plomo, así como sus aleaciones con el antimonio y estaño, se remonta a los tiempos antiguos. Algunas actividades industriales más importantes del plomo son:

- Aleaciones (fundición de plomo y cinc)
- Fabricación de óxidos de plomo
- Fabricación y utilización de pinturas, esmaltes, masillas y colorantes que contengan plomo
- Industria de cristalería, cerámica y alfarería industrial
- Trabajos de imprenta en los que utilicen plomo
- Revestimiento con plomo

2.1.2. Cadmio

Elemento químico denominado metal pesado, debido a que su densidad es ocho veces mayor a la densidad del agua. Asimismo, se encuentra en el grupo de metales no esenciales para el ser vivo por bioacumularse en el organismo.

El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza, la *greenockita* (sulfuro de cadmio), único mineral de cadmio, no es una fuente comercial de metal. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y finamiento de los minerales de cinc.

2.1.2.1. Propiedades físicas

Características propias del metal que pueden ser medidas sin alterar su composición química.

- Formula: Cd
- Peso formula: 112,41 g/mol
- Densidad relativa: 8,65 ^{20 °C}
- Punto de fusión: 320,9 °C
- Punto de ebullición: 767 °C
- Solubilidad: HNO₃ y HCl

2.1.2.2. Principales usos industriales

Las propiedades físicas y químicas del cadmio hacen que el metal sea muy resistente a la corrosión y se utiliza para:

- Electrodeposición en otros metales, especialmente en acero y el hierro
- Los compuestos de cadmio se utilizan como pigmentos amarillo y rojo en plásticos y tintes
- Como estabilizadores térmicos de plásticos y aleaciones
- El cloruro de cadmio como fungicida
- El óxido de cadmio se utiliza en galvanoplastia, como materia prima para los estabilizadores térmicos del PVC

2.2. Pintura

El uso del plomo en pigmentos ha sido muy importante, pero está decreciendo en volumen. El pigmento que se utiliza más, en que interviene este elemento, es el blanco de plomo $[\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2]$; otros pigmentos importantes son el sulfato básico de plomo y los cromatos de plomo.

2.2.1. Pigmentos

Una gran cantidad de colorantes y pigmentos se consumen porque ciertos productos requieren una elección particular de materiales que den una máxima cobertura, economía, opacidad, color, durabilidad y capacidad de reflejo deseada. Alguna vez los pigmentos más utilizados fueron el plomo blanco, el óxido de cinc y el litopón; los pigmentos colorantes eran el azul de Prusia, los cromatos de plomo, varios óxidos de hierro y algunos colores de laca.

Actualmente, el óxido de titanio es casi el único pigmento blanco que se emplea, ya que los pigmentos de plomo, utilizados inicialmente en gran escala, ahora están prohibidos por la ley para muchos usos.

Los pigmentos de cadmio fueron utilizados con moderación debido a la escasez de metales de cadmio, y por lo tanto su costo era alto. La gama de pigmentos de cadmio, rojo, amarillo y naranja, son básicamente sulfuro de cadmio.

2.2.1.1. Pigmentos blancos

El más antiguo de los pigmentos blancos y el más importante inicialmente es plomo blanco, que actualmente se prohíbe como componente de la mayoría de las pinturas. El óxido de cinc, otro pigmento blanco muy utilizado al inicio, es ahora solo de menor importancia.

2.2.1.2. Pigmentos rojos

El plomo rojo (Pb_3O_4) tiene un color rojo naranja brillante, es muy resistente a la luz y tiene gran uso como cubierta inicial para estructuras de acero por sus propiedades para inhibir la corrosión. El plomo rojo o minio se fabrica por proceso normal de oxidar plomo en presencia de aire para formar litargirio (PbO), y por una oxidación posterior de litargirio a plomo rojo.

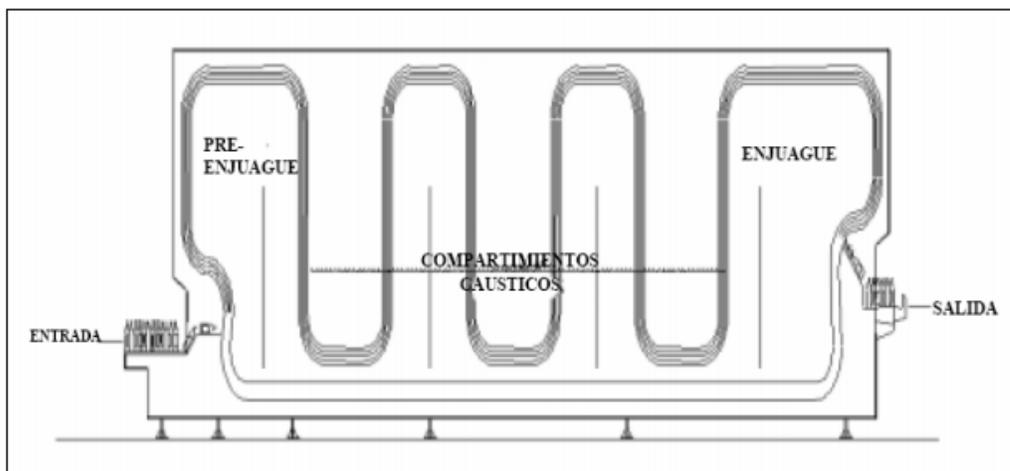
El cromato de plomo básico $PbCrO_4 \cdot Pb(OH)_2$ se puede utilizar como un pigmento rojo-naranja, es un excelente inhibidor de la corrosión. Se prepara al hacer ebullición de plomo blanco con una solución de dicromato de sodio.

El sulfuro de cadmio y seleniuro de cadmio (CdS , $CdSe$) son los compuestos que dan el pigmento color rojo, conocido como rojo de cadmio, estos son resistentes a la luz, pero sensibles a los ácidos minerales.

2.3. Proceso de lavado de botellas de vidrio

La lavadora de botellas de vidrio es una máquina automática que se encarga de lavar botellas de manera continua, por medio de una serie de tanques, para dicho proceso se utilizan soluciones químicas alcalinas, asimismo, las botellas son lavadas por inmersión e inyección. Por otro lado, posee múltiples compartimientos, una zona de enjuague y otra de preenjuague, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Esquema del proceso de lavado de botellas en lavadora



Fuente: MACERO AVIS, Yaneska. *Propuesta de un sistema de control automatizado de agua y soda caustica agregados a los tanques de una lavadora de botellas de vidrio retornable de una planta productora de refresco.* p.32.

2.3.1. Descripción del proceso de lavado de botellas

Las botellas son ingresadas a la lavadora para un prelavado con agua caliente y soda cáustica a mínimas concentraciones, períodos de inmersión en soda cáustica caliente y una serie de lavados interiores y exteriores con agua

suave, para enviar una botella limpia y sanitaria al transportador que alimenta la llenadora.

Controlando la concentración cáustica y la temperatura de la solución se optimizan la limpieza y la condición sanitaria de la botella. Las concentraciones y temperaturas cáusticas para cada compartimiento son especificadas por el fabricante de la lavadora. Para el vidrio, al menos uno de sus tanques contendrá una concentración cáustica de 2-3 % con una temperatura de 66 °C (150 °F) mientras que la lavadora garantice un tiempo de inmersión de 7,5 minutos.

2.3.2. Principios de operación

Para realizar un lavado efectivo de botellas de vidrio, se debe ejecutar los siguientes principios.

Tabla I. **Principios de operación para el lavado de botellas de vidrio retornables**

No.	Principios de operación
1	Clasificación de botellas por grupos
2	Enjuague primario, para remover todos los residuos de bebidas, materiales extraños y cualquier líquido o suciedad
3	Limpieza y saneamiento: las botellas deben ser sumergidas e inyectadas con soluciones cáusticas muy concentradas

Continuación de la tabla I.

No.	Principios de operación
4	Concentración de soda cáustica: 2-3 % Temperatura: 66 °C (150 °F) Tiempo: 7-8 minutos La temperatura adecuada y concentraciones cáusticas determinarán la limpieza y esterilidad de la botella al salir de la lavadora de botellas
5	Pre enjuague y de enjuague final, en los cuales se utiliza agua limpia y son agregados los aditivos como agentes quelantes para secuestrar trazas de metales pesados
6	Es necesario minimizar los cambios rápidos y drásticos de temperaturas, que pueden romper las botellas. El diferencial de temperaturas de una etapa de la lavadora a otra no debe exceder en ningún momento los 50 °F / 28 °C
7	Todas las botellas de vidrio retornables deben ser inspeccionadas después de lavarlas

Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Componentes del detergente

La composición química de los detergentes contiene diferentes componentes, los cuales pueden ser:

Soda cáustica: utilizada para esterilizar, aflojar y eliminar el sucio.

Gluconato de sodio: se emplea para reducir la formación de costra en la sección de la lavadora donde se usa el detergente.

Carbonato de sodio: utilizado para ayudar al escurrimiento del detergente en la botella.

2.3.3.1. Soda cáustica

Es el componente principal usado para el lavado de las botellas (soda cáustica), éste facilita:

- Eliminar el sucio
- Remueve los aceites
- Elimina las bacterias

2.3.4. Componentes de enjuague

Los componentes de enjuague son utilizados con el fin de mejorar el enjuague final del lavado de botellas de vidrio, su composición química es una mezcla de varias sustancias, la cual contiene un componente activo.

- Divo LE: aditivo auxiliar del lavado de botellas de vidrio para tratamiento del pre-enjuague final
- Divo AI: aditivo auxiliar del lavado de botellas de vidrio para tratamiento del arrastre cáustico en el pre enjuague final

2.4. Métodos de identificación y cuantificación de metales pesados

Para la identificación de metales pesados existe diversidad de métodos químicos cualitativos y cuantitativos. A continuación se describen los métodos empleados para cuantificar plomo y cadmio en el agua de lavado de botellas de vidrio.

2.4.1. Gravimetría por precipitación química

La gravimetría por precipitación consiste en agregar un agente químico a la solución donde se encuentra el compuesto a analizar, para llevar a cabo una reacción en la que se forme un compuesto poco soluble (precipitado), el cual se separa de la solución, se filtra, se seca o calcina, para luego ser pesado y así calcular la cantidad de analito buscado.

2.4.2. Espectroscopía de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES)

El método consiste en llevar la muestra a un sistema de nebulización donde los analitos son atomizados, para luego ser transportados al plasma por medio del gas argón. El plasma inductivo puede llegar a alcanzar temperaturas elevadas, debido a estas condiciones los analitos son ionizados, estos al regresar a su estado basal emiten una radiación característica de cada elemento la cual puede ser detectada y medida.

2.4.3. Volumetría complejométrica

Es un método de análisis químico cuantitativo, el cual se consiste en hacer reaccionar el analito con un volumen preciso de reactivo de concentración conocida formando un complejo.

Los requisitos fundamentales de un método volumétrico:

- La reacción debe ser completa y verificarse rápidamente, de tal forma, que la titulación pueda efectuarse en un tiempo razonable.
- La reacción no debe ser ambigua, para poder detectar un punto de equivalencia definido.

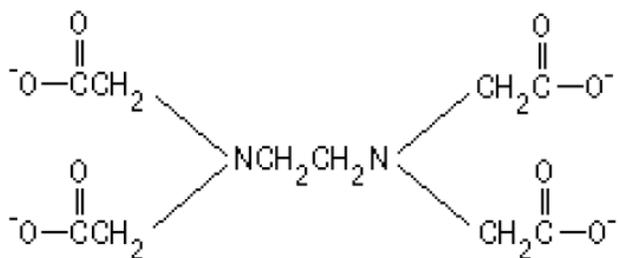
2.4.3.1. Complejo

Es una molécula formada por un ion o átomo central rodeado por un conjunto de ligantes, donde el ligante o ligando es cualquier átomo o molécula capaz de actuar como donante en uno o más enlaces coordinados y puede existir independientemente¹.

2.4.3.2. Etilendiaminotetracético (EDTA)

El ácido etilendiaminotetracético (EDTA) es un agente quelante que forma iones complejos con iones metálicos. El EDTA posee cuatro grupos carboxilos y dos átomos neutros de nitrógeno, actuando como un ligante cuadri, penta y hexadentado. Para representar la forma acida del EDTA se escribe H₄Y².

Figura 2. Estructura química del ácido etilendiaminotetracético (EDTA)



Fuente: SKOOG, Douglas A.; WEST Donald M.; HOLLER F. James. *Fundamentos de química analítica*. p.293.

¹ PÉREZ ÁVILA, Alan D. Formación de complejos: EDTA y quelatos. p. 2.

² *Ibíd.*

El EDTA es utilizado como titulante en valoraciones directas o indirecta de reacciones. También se define el EDTA como un sistema hexaprótico (H₆Y²⁺), de modo que posee seis valores de pK_i, donde cuatro valores se deben a los protones carboxílicos y dos a protones de amonio, en cuanto al ácido neutro se define como tetraprótico³.

Figura 3. **Reacciones y constantes de disociación del EDTA**

Propiedades ácidas:



Fuente: SKOOG, Douglas A.; WEST Donald M.; HOLLER F. James. *Fundamentos de química analítica*. p.296.

2.4.3.2.1. Ventajas de usar EDTA

Reaccionan con los cationes 1:1 independientemente de la carga del metal. Forma quelatos muy estables con la mayoría de los metales y es fácil de conseguir⁴.

³ PÉREZ ÁVILA, Alan D. Formación de complejos: EDTA y quelatos. p. 5.

⁴ Ibíd.

2.4.3.3. Efecto quelato

El efecto quelato es la capacidad de los ligandos multidentados de formar complejos metálicos más estables que los que pueden formar ligandos monodentados similares a los primeros, dándose un efecto entrópico favorable a dicha formación⁵.

El efecto quelato es de gran importancia práctica. La mayoría de los reactivos usados en titulaciones complejométricas en química analítica son quelatos polidentados como el EDTA, y cuando el orden de magnitud de la constante de formación está entre 10^{12} y 10^{25} , es bastante probable que se dé el efecto quelato⁶.

2.4.3.4. Efectos termodinámicos

Cuando se valoran reacciones químicas es necesario considerar tanto los aspectos termodinámicos como los cinéticos, debido a que una reacción puede ser termodinámicamente viable, pero tener limitaciones cinéticas⁷.

⁵ PÉREZ ÁVILA, Alan D. Formación de complejos: EDTA y quelatos. p. 6.

⁶ *Ibíd.*

⁷ *Ibíd.*

2.4.3.5. Efecto del pH

Según el pH será la especie predominante. A valores de pH > 10 la especie predominante es Y^{4-} , a valores de pH entre 7 y 10 predomina HY^{3-} entre valores de pH 3 y pH 6 predomina H_2Y^{2-} , valores entre pH 2 y 3 predomina H_3Y^- y a valores de pH < 2 predomina H_4Y . Conforme baje el pH, el equilibrio se desplazará a la izquierda en contra de la formación del complejo; se puede esperar que exista un valor de pH por debajo del cual no sea posible la titulación⁸.

2.4.3.6. Efecto del indicador

El indicador provoca un cambio de color cuando se llega al punto final de la titulación. El mecanismo solo puede funcionar si se cumple la condición fundamental de que el complejo indicador-metal sea bastante más débil que el correspondiente complejo EDTA-metal. Si el complejo del indicador fuese más fuerte que el del EDTA no se produciría cambio de color⁹.

⁸ PÉREZ ÁVILA, Alan D. Formación de complejos: EDTA y quelatos. p. 7.

⁹ *Ibíd.*

2.5. Análisis beneficio costo

Es una herramienta que se utiliza para comparar flujos de beneficios y costos de un proyecto, utilizando indicadores económicos de rentabilidad que permiten determinar si conviene realizar un proyecto.

2.5.1. Indicadores económicos

Los indicadores económicos ayudan a pronosticar el futuro económico de un proyecto. Además son elementos fundamentales en la toma de decisiones cuando se saben entender, relacionar e interpretar.

2.5.1.1. Valor actual neto (VAN)

Es la suma de los flujos netos de efectivo a lo largo de la vida útil del proyecto. Si el VAN es mayor a cero se aprueba el proyecto, si es menor se rechaza y si es igual a cero indica que no hay pérdidas.

2.5.1.2. Tasa interna de retorno (TIR)

Mide la rentabilidad del proyecto igualando el VAN a cero para determinar la tasa de interés que permitirá la recuperación de la inversión. Si la TIR es mayor a la tasa de descuento el proyecto es rentable, pero si es menor el proyecto se rechaza.

2.5.1.3. Índice de beneficio costo (B/C)

El índice de deseabilidad, también conocido como índice beneficio/costo (B/C), es el complemento de valor actual neto. El índice de deseabilidad de un proyecto es el resultado de dividir los flujos positivos descontados del año cero entre los flujos negativos descontados del año cero, siendo estos últimos por lo general, la inversión inicial.

$$B/C = \sum_{t=0}^n Ft(P/F, i, n)/Io$$

Donde

I_o : inversión inicial

F_t : flujos de efectivo en el periodo t

i : tasa de descuento

n : periodos

El B/C es una medida relativa de rendimiento, en contraste con el VAN que expresa en términos absolutos la contribución económica del proyecto al patrimonio de la empresa. Cuando el B/C es igual o mayor que 1, el proyecto debe aceptarse. El índice de deseabilidad mide los resultados por unidad monetaria inicial, y se considera útil cuando se desea comparar proyectos de diferente cuantía.

2.5.1.4. Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Es el tiempo en que se recupera la inversión de un proyecto, este es uno de los indicadores que a la empresa le interesa saber, ya que es una medida de riesgo para un proyecto; por lo cual, se considera deseable un periodo de recuperación corto, tomando en cuenta que este ignora el valor del dinero en el tiempo.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Se presentan en tablas las variables independientes y dependientes de los siguientes métodos: gravimetría por precipitación química y volumetría complejométrica.

3.1.1. Variables independientes

La tabla II, enumera y describe las variables independientes del análisis gravimétrico, asimismo la tabla III, para el análisis de volumetría complejométrica.

Tabla II. **Variables independientes del análisis gravimétrico**

No.	Variable	Unidad	Descripción
1	Concentración de yoduro de potasio	ppm	Agente precipitante
2	Concentración de hidróxido de calcio	ppm	Agente precipitante
3	pH	Adimensional	Constante
4	Temperatura	°C	Constante
5	Masa de yoduro de plomo y carbonato de cadmio	g	Precipitado

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Variables independientes del análisis volumétrico**

No.	Variable	Dimensional	Descripción
1	Concentración de EDTA	ppm	Agente quelante
2	pH	Adimensional	
3	Volumen agregado del indicador	mL	Cantidad de solución

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables dependientes

La tabla IV y V, describen las variables de cada método que están en función de variables independientes.

Tabla IV. **Variables dependientes del análisis gravimétrico**

No.	Variable	Dimensional	Descripción
1	Concentración del yoduro de plomo	ppm	Variable, depende de la cantidad de precipitado formado

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Variables dependientes del análisis volumétrico**

No.	Variable	Dimensional	Descripción
1	Concentración de plomo	ppm	Variable, depende de las cantidades de plomo en la muestra

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

Los límites establecidos para la investigación que ayudaron a cumplir con los objetivos del trabajo son los siguientes:

- Métodos: gravimetría por precipitación química, volumetría por complejometría y espectroscopia de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo ICP-OES.
- Determinación: plomo y cadmio
- Ubicación: planta de ELM S. A.
- Obtención de muestras: tanque de pre enjuague final de la lavadora de botellas de vidrio retornables.
- Tipo de botella: botella de vidrio con capacidad de ½ litro, presentación específica.
- Proceso: lavado de botellas sin aditivos.
- Indicadores: consumo de aditivos por volumen de producción, costo de aditivos por volumen de producción; el monitoreo fue de tres meses para la presentación de la botella de medio litro.

3.2.1. Recursos humanos disponibles

Para realizar el trabajo de graduación los recursos humanos disponibles fueron los siguientes:

- Practicante: Jaquelinne Sofía López Martínez
- Asesor técnico: Keny Abdón López Salazar
- Supervisor: Sergio Alejandro Recinos

3.2.2. Recursos materiales disponibles

Se presentan en tablas los recursos de los materiales disponibles para llevar a cabo los análisis de gravimetría por precipitación química y volumetría complejométrica.

Tabla VI. **Muestra y reactivos**

Muestra	Reactivos
Agua del tanque de enjuague de la lavadora de botellas de vidrio.	Ácido etilendiaminotetraacético EDTA
	Solución buffer a pH 12
	Yoduro de potasio
	Carbonato de sodio o hidróxido de calcio
	Indicador negro de eriocromo T
	Agua destilada

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Equipo y cristalería**

Cnt.	Equipo	Cnt.	Cristalería	Cap.
1	Lavadora de botellas de vidrio retornables	3	Beackers	250 mL
1	Titulador digital	1	Frasco ámbar	1 000 mL
1	Horno eléctrico	1	Embudo	—
1	Balanza técnica	1	Balón aforado	5 000 mL
	Otros	2	Balón aforado	50 mL
1	Matraz de lavado	6	Erlenmeyer	50 mL
1	Espátula de laboratorio	1	Vidrio de reloj	—
-	Papel filtro	1	Probeta	50 mL
1	Pinza	1	Crisol de porcelana bajo	—
1	Gotero	1	Varilla de vidrio	—
1	Agitador magnético			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Recursos generales**

Útiles de oficina	Papel bond
	Lapiceros
	Cuaderno de bitácora
	Cartucho para tinta
Vestimenta de seguridad	Zapatos industriales
	Bata
	Guantes de látex
	Mascarilla
	Lentes

Fuente: elaboración propia.

3.3. Técnica cualitativa o cuantitativa

Las técnicas utilizadas para la determinación de plomo y cadmio en el agua de lavado de botellas de vidrio son las siguientes:

- Gravimetría: Cuantificación de yoduro de plomo
- Volumetría: Cuantificación del complejo EDTA-plomo
- Espectroscopia: cuantificación de plomo y cadmio

3.4. Recolección y ordenamiento de la información

Se recolectó la información del consumo de aditivos por volumen de producción durante tres meses.

Tabla IX. **Monitoreo del consumo de aditivos**

Periodo	Aditivo	Consumo (L)	Producción (botellas)
1° mes	A, B y C		
2° mes	A, B y C		
3°mes	A, B y C		

Fuente: elaboración propia.

3.5. Técnica de muestreo

Se tomó una muestra a cada hora durante tres horas de lavado de botellas sin aditivos. Para el análisis de gravimetría por precipitación química y el de volumetría complejométrica se hicieron tres corridas para cada hora, por cada corrida se tomó 50 mL de muestra para analizar. Asimismo, se tomó una muestra de 1L para el análisis de ICP-OES, como se describe en la tabla X.

Tabla X. Plan de muestreo

Periodo	Tiempo (horas)	Corridas	Tamaño de muestra		
			A. Gravimétrico	A. Volumétrico	ICP-OES
4° mes	1	1	50 mL	50 mL	1L
		2	50 mL	50 mL	
		3	50 mL	50 mL	
	2	1	50 mL	50 mL	1L
		2	50 mL	50 mL	
		3	50 mL	50 mL	
	3	1	50 mL	50 mL	1L
		2	50 mL	50 mL	
		3	50 mL	50 mL	
5° mes	1	1	50 mL	50 mL	1L
		2	50 mL	50 mL	
		3	50 mL	50 mL	
	2	1	50 mL	50 mL	1L
		2	50 mL	50 mL	
		3	50 mL	50 mL	
	3	1	50 mL	50 mL	1L
		2	50 mL	50 mL	
		3	50 mL	50 mL	
6° mes	1	1	50 mL	50 mL	1L
		2	50 mL	50 mL	
		3	50 mL	50 mL	
	2	1	50 mL	50 mL	1L
		2	50 mL	50 mL	
		3	50 mL	50 mL	
	3	1	50 mL	50 mL	1L
		2	50 mL	50 mL	
		3	50 mL	50 mL	

Fuente: elaboración propia.

3.6. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La información recolectada se ordenó de la siguiente manera:

Tabla XI. **Datos originales del análisis gravimétrico**

Mes 1							
Hora	Muestra 50 mL	Color de muestra	¿Existe formación de precipitado?	Color de precipitado (amarillo)	Tiempo de formación del precipitado (s)	Peso de la muestra (g)	Peso del precipitado (g)
1 ^a hora	1	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	2	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	3	Incolora	No	Incolora	-	-	-
2 ^a hora	1	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	2	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	3	Incolora	No	Incolora	-	-	-
3 ^a hora	1	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	2	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	3	Incolora	No	Incolora	-	-	-
Mes 1							
1 ^a hora	1	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	2	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	3	Incolora	No	Incolora	-	-	-
2 ^a hora	1	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	2	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	3	Incolora	No	Incolora	-	-	-
3 ^a hora	1	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	2	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	3	Incolora	No	Incolora	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Continuación de la tabla XI

Mes 1							
1ª hora	1	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	2	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	3	Incolora	No	Incolora	-	-	-
2ª hora	1	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	2	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	3	Incolora	No	Incolora	-	-	-
3ª hora	1	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	2	Incolora	No	Incolora	-	-	-
	3	Incolora	No	Incolora	-	-	-

Fuente: elaboración propia

Tabla XII. **Datos originales del análisis de volumetría complejométrica**

Mes 1						
Corridas	Tamaño de muestra (mL)	Hora	Color de la muestra con NET	pH	Vol. de EDTA (mL)	Color de la muestra al virar el NTE
1	50	1	Azul	11,9	0	Azul
2			Azul	11,9	0	Azul
3			Azul	11,8	0	Azul
1	50	2	Azul	11,8	0	Azul
2			Azul	11,9	0	Azul
3			Azul	12,0	0	Azul
1	50	3	Azul	11,9	0	Azul
2			Azul	12,0	0	Azul
3			Azul	11,9	0	Azul

Fuente: elaboración propia

Continuación de la tabla XII.

Mes 2						
Corridas	Tamaño de muestra (mL)	Hora	Color de la muestra con NET	pH	Vol. de EDTA (mL)	Color de la muestra al virar el NTE
1	50	1	Azul	12,0	0	Azul
2			Azul	11,8	0	Azul
3			Azul	11,8	0	Azul
1	50	2	Azul	11,9	0	Azul
2			Azul	11,8	0	Azul
3			Azul	12,0	0	Azul
1	50	3	Azul	11,8	0	Azul
2			Azul	11,9	0	Azul
3			Azul	11,8	0	Azul
Mes 3						
1	50	1	Azul	11,9	0	Azul
2			Azul	11,9	0	Azul
3			Azul	11,9	0	Azul
1	50	2	Azul	12,0	0	Azul
2			Azul	11,9	0	Azul
3			Azul	11,9	0	Azul
1	50	3	Azul	11,9	0	Azul
2			Azul	11,9	0	Azul
3			Azul	11,9	0	Azul

Fuente: elaboración propia

3.7. Análisis estadístico

Se utilizó el análisis estadístico Anova de un factor, por ser una herramienta estadística de gran utilidad para comparar los resultados de los tres métodos para determinar plomo; el análisis de variancia radica en constatar si la diferencia entre las medias muestrales es significativa, dentro de un nivel de confianza.

Como no se cuantificó concentración de plomo en el análisis gravimétrico por precipitación química y en el análisis volumétrico por complejometría, se utilizó los valores de las concentraciones mínimas teóricas para ambos métodos, los cuales se comparan con los resultados obtenidos por ICP-OES en el último mes. Para la comparación de los resultados de la determinación de cadmio, no se realizará análisis de variancia, ya que están por debajo de las concentraciones mínimas permitidas por el método, la variancia sería cero.

Tabla XIII. **Resultados de las concentraciones de plomo**

Corridas	A. Gravimetría	A. Volumetría	A. ICP-OES
1	898,915	0,207	0,005
2	898,915	0,207	0,004
3	898,915	0,207	0,005
Suma	2 696,745	0,621	0.014
Promedio	898,915	0,207	0,005
Varianza	0	0	3,333E-07

Fuente: elaboración propia

Tabla XIV. **Análisis de varianza**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F prueba	F 0.05 Crítica
Muestras	1,62E-06	2	8,08E+05	7,27E+12	5,14
Error	6,67E-07	6	1,11E-07		

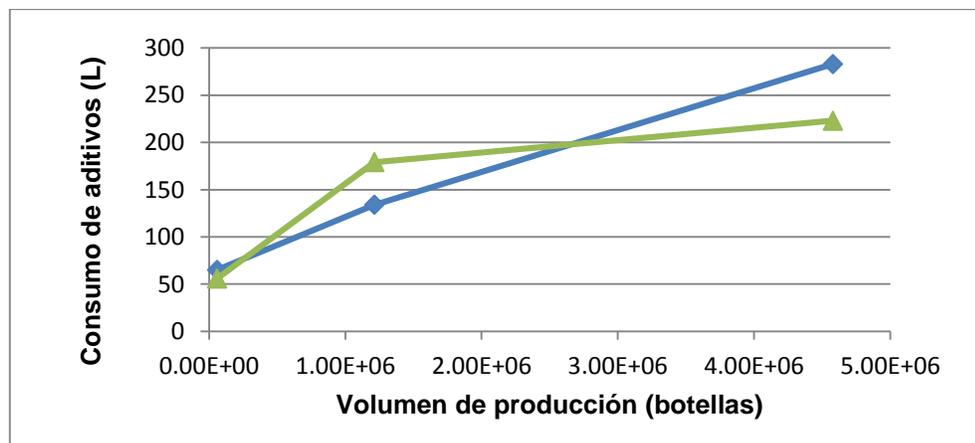
Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Evaluación económica de los aditivos de enjuague al retirarlos del proceso de lavado de botellas de vidrio

Se presenta en la figura 3, 4 y 5, el comportamiento de los consumos y costos de los aditivos de enjuague en función de la cantidad de botellas lavadas. Asimismo, se presenta el flujo de caja y los indicadores económicos.

Figura 4. **Consumo de aditivos de enjuague en función del volumen de botellas lavadas**



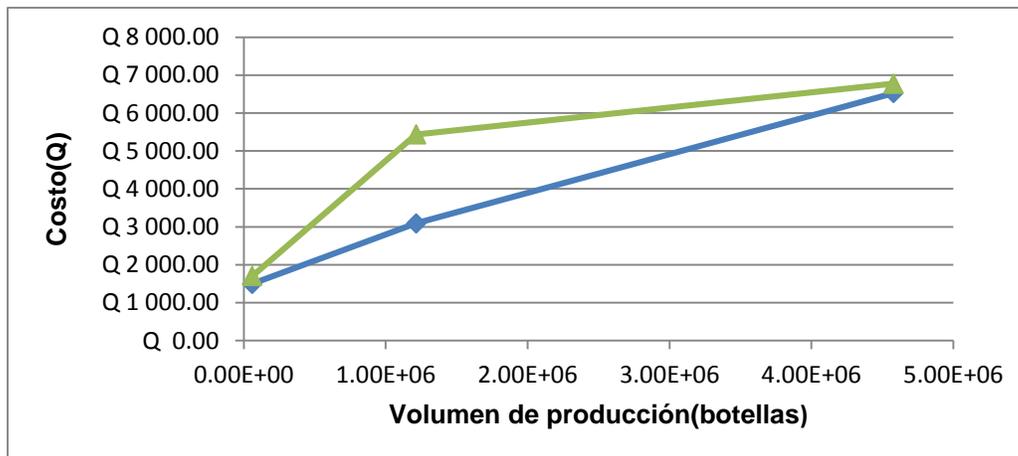
Fuente: elaboración propia, con base a los datos del apéndice 1.

Tabla XV. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del consumo**

Color	Aditivos	Modelo matemático	R ²
	A	$y = 5E-05 \text{ v. botellas} + 68,33$	0,995
	B	$y = 3E-05 \text{ v. botellas} + 91,07$	0,734

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Costo de los aditivos de enjuague en función del volumen de producción de botellas lavadas**



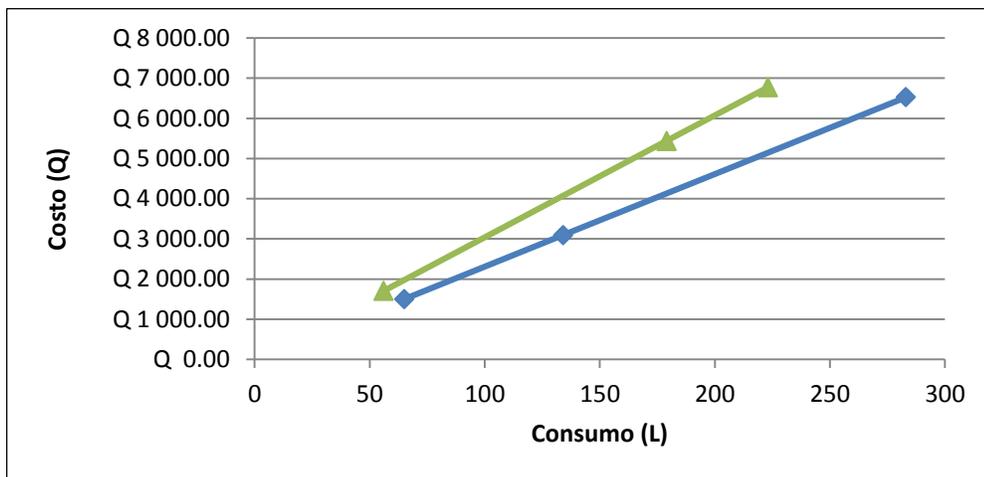
Fuente: elaboración propia, con base a los datos del apéndice 1.

Tabla XVI. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del costo**

Color	Aditivos	Modelo matemático	R ²
	A	$y = 0.0011 \text{ v. botellas} + 1575,7$	0,995
	B	$y = 0.001 \text{ v. botellas} + 2766,1$	0,734

Fuente: elaboración propia

Figura 6. **Costo de aditivos de enjuague en función del consumo**



Fuente: elaboración propia, con base a los datos del apéndice 1.

Tabla XVII. **Modelo matemático y coeficiente de correlación del costo y consumo**

Color	Aditivos	Modelo matemático	R ²
	A	$y = 23,06 \text{ v. botellas} + 3 \text{ E-}12$	1
	B	$y = 30,37 \text{ v. botellas}$	1

Fuente: elaboración propia

Tabla XVIII. **Flujo de caja**

Mes	Egresos	Ingresos	FN
0	Q5 775,00	Q0,00	-Q5 775,00
1		Q8 341,46	Q8 341,46
2		Q8 341,46	Q8 341,46
3		Q8 341,46	Q8 341,46
4		Q8 341,46	Q8 341,46
5		Q8 341,46	Q8 341,46
6		Q8 341,46	Q8 341,46
7		Q8 341,46	Q8 341,46
8		Q8 341,46	Q8 341,46
9		Q8 341,46	Q8 341,46
10		Q8 341,46	Q8 341,46
11		Q8 341,46	Q8 341,46
12		Q8 341,46	Q8 341,46
Total	Q5 775,00	Q100 097,52	Q94 322,52

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Indicadores económicos**

VAN	TIR	B/C	PRI
Q 89 107,01	144%	13,17	21 días

Fuente: elaboración propia.

4.2. Determinación de plomo y cadmio en el agua de lavado de botellas de vidrio retornables

Se presentan los resultados obtenidos por medio del análisis de gravimetría por precipitación química, volumetría complejométrica y espectroscopía de emisión óptica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES, por sus siglas en inglés).

Tabla XX. **Análisis gravimétrico por precipitación química**

Mes	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)
1	<898,915	<1536,705
2	<898,915	<1536,705
3	<898,915	<1536,705

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Análisis de volumetría complejométrica para plomo**

Mes	Plomo (ppm)
1	<0,207
2	<0,207
3	<0,207

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Resultados del análisis ICP-OES**

Mes	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)
1	<0,008	<0,001
2	<0,008	<0,002
3	0,004	<0,002

Fuente: elaboración propia, con base a los datos del apéndice 2.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo realizar una evaluación económica de los aditivos de enjuague utilizados en el proceso de lavado de botellas de vidrio al determinar las concentraciones de plomo y cadmio en el agua de lavado.

Para la evaluación económica se determinó el consumo y el costo de los aditivos de enjuague en el proceso de lavado de botellas de vidrio, por lo tanto, la figura 2 representa la tendencia del consumo de aditivos en función del volumen de producción de botellas lavadas de medio litro para un sabor en específico. Para el aditivo A, la relación del consumo y la cantidad de botellas lavadas es directamente proporcional, con un coeficiente de correlatividad cercano a la unidad. Sin embargo, para el aditivo B la tendencia comienza con una relación directamente proporcional, pero, luego el consumo baja a medida que aumenta la cantidad de botellas lavadas.

Se debe tomar en cuenta que una de las funciones del aditivo B, aparte de actuar como un agente secuestrante de metales pesados, también reduce la suciedad de las botellas, por lo que la dosificación del mismo depende de la clasificación de las botellas que ingresan al proceso de lavado.

La clasificación de botellas se divide en tres grupos, las botellas del grupo 1 son las que tienen mayor facilidad de limpiar y tendrán solamente residuos de bebida; las botellas del grupo 2 son más difíciles de limpiar que las del grupo 1, ya que la geometría de la botella impide la incidencia de los hidromasajes en los suelos, cuello y hombros.

Las del grupo 3 son muy difíciles de limpiar respecto a los dos grupos anteriores, ya que en este grupo las botellas pueden tener adherido pintura, cemento y yeso. Por lo tanto, el consumo del aditivo B será mayor cuando se lavan menos cantidad de botellas o bien que el consumo sea menor cuando se lavan mayor cantidad de botellas, porque dependerá del grado de suciedad de las mismas.

La figura 3 presenta la relación del costo de aditivos en función del volumen de producción de botellas lavadas; en esta gráfica se observó que el costo del aditivo A y B se incrementa cuando la cantidad de botellas a lavar aumenta, esta tendencia se ajusta al modelo lineal con una relación directamente proporcional. Asimismo, se puede observar que el costo del aditivo B está por arriba del costo del aditivo A, esto se debe a que el precio y consumo del aditivo B es mayor al aditivo A.

La figura 4 presenta la relación entre el costo de los aditivos en función del consumo al mes, debido a que se monitoreó tres meses, la gráfica muestra tres puntos. Para ambos aditivos se tiene una relación directamente proporcional, lo que quiere decir, que si se reduce el consumo, el costo también bajará.

La tabla XVIII de la sección 4.1 presenta el flujo de caja; en la primera columna está la vida útil del proyecto de doce meses, en la segunda columna se encuentran los egresos, el único egreso es en el mes cero, cantidad que representa la inversión inicial; esta inversión es el costo de los análisis para cuantificar plomo y cadmio en el agua de lavado de botellas de vidrio. En la tercera columna se encuentran los ingresos, son los costos generados por el consumo de los aditivos de enjuague; si se desea retirar los aditivos del proceso

de lavado de botellas, el costo por consumo sería un ahorro por lo cual se maneja como un ingreso.

La tabla XIX de la sección 4.1 de resultados contiene el valor de los siguientes indicadores económicos: valor presente neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio costo (B/C) y el periodo de recuperación de inversión (PRI). El VAN es mayor a cero, lo que indica que el retiro de aditivos deja ganancias con respecto a la inversión. Para el cálculo de este indicador se utilizó una tasa de descuento mensual de 0,83% esta se obtuvo de una tasa de descuento anual del 10 %, para una vida útil de doce meses.

Se tiene una TIR de 144 % mayor a la tasa de descuento, lo que indica que el retiro de aditivos es rentable para el proceso de lavado de botellas de vidrio. La relación beneficio costo es mayor a la unidad, por lo tanto, se tendrá mayor beneficio económico. El periodo de recuperación de la inversión es muy corto, lo que garantiza que se tendrá una mayor utilidad.

La tabla XX de la sección 4.2 de resultados presenta las concentraciones mínimas que se pueden obtener por medio del método gravimétrico por precipitación química para plomo y cadmio; donde se muestra que las concentraciones de plomo y cadmio están por debajo del límite de detección del método. Las concentraciones de los metales pueden estar a nivel traza o bien no estar presentes en el agua de lavado. Si los metales se encuentran a baja concentración el producto iónico de la reacción, sería menor a la constante de solubilidad teórica, por lo que no habrá formación de precipitados.

La tabla XXI de la sección 4.2 de resultados muestra el límite de detección teórico del método volumétrico por complejometría con EDTA, para la determinación de plomo. No se detectaron concentraciones de plomo mayores

al límite de detección, asimismo, se puede observar que la concentración mínima detectada por este método es menor a la concentración que se puede determinar con el método gravimétrico de precipitación química. La cantidad de plomo en el agua de lavado de botellas de vidrio puede estar a concentraciones menores a 0,207ppm o no estar presente.

La tabla XXII de la sección 4.2 de resultados presenta los límites de detección del análisis de espectroscopia de emisión óptica por acoplamiento inductivo ICP-OES para plomo y cadmio. Los límites de detección son menores a los límites de los primeros dos métodos. Este método puede determinar concentraciones a nivel traza, sin embargo, para los dos primeros meses de estudio no se detectaron concentraciones de plomo y cadmio en el agua de lavado; en el tercer mes de estudio se cuantificó plomo a 0,0043 ppm.

La norma Coguanor 29 001:99, *Agua potable*, establece un límite máximo permisible de 0,010 ppm de plomo en el agua potable, arriba de este límite se pone en riesgo la salud del consumidor. Las botellas después de ser lavadas y pasar por control de calidad, son transportadas a la línea de llenado, por lo que se tomó como referencia esta norma, ya que la botella es un material de empaque primario, entra en contacto con la bebida carbonatada y luego va directo al consumidor. La concentración de plomo cuantificada en el tercer mes de estudio es menor al límite máximo permisible que establece la Norma.

La tabla X de la sección 3.8 de análisis estadístico presenta el análisis de varianza para los resultados de la concentración de plomo del análisis gravimétrico, volumétrico y el de ICP- OES; donde el factor de prueba es mayor al factor crítico a un nivel de significación del 5 %, lo que indica que existe una diferencia significativa entre las medias de los métodos.

6. LOGROS OBTENIDOS

Por medio de los tres métodos químicos utilizados, siendo el método ICP-OES más sensible, se logró determinar que no hay desprendimiento de plomo y cadmio del logotipo del envase y que la concentración de plomo no representa un riesgo para la salud del consumidor durante el lavado de botellas de vidrio, lo que puede llevar a la empresa a considerar el retiro de los aditivos de enjuague en el proceso de lavado; generando así un ahorro para la línea de lavado de botellas de vidrio, presentación medio litro.

CONCLUSIONES

1. El consumo del aditivo B no es directamente proporcional al volumen de botellas lavadas, debido a que su dosificación también está en función de la suciedad que contenga la botella.
2. El costo de cada uno de los aditivos tiene una relación directamente proporcional con el consumo. Asimismo, el aditivo B presenta un mayor costo que el aditivo A, ya que este último tiene un menor precio.
3. Los indicadores económicos del análisis costo beneficio demuestran que el retiro de aditivos de enjuague en el proceso de lavado de botellas de vidrio, es rentable.
4. El plomo en el agua de lavado de botellas de vidrio se encuentra como elemento traza, por lo que no se detectó con los métodos químicos de gravimetría por precipitación química y volumetría por complejometría.
5. Las concentraciones de cadmio son bajas o bien no hay presencia de este elemento en el agua de lavado de botellas de vidrio, ya que no se detectó cuantitativamente por ningún método.
6. De los tres análisis realizados para determinar plomo y cadmio, sólo se encontró presencia de plomo en el análisis de ICP-OES en el tercer mes de estudio; sin embargo, la concentración es menor a la permisible para el agua potable que establece la Norma Coguanor 29 001:99.

7. Existe una diferencia significativa entre los tres métodos, según el análisis de varianza. El análisis de ICP-OES tiene menor límite de detección que el análisis gravimétrico y volumétrico; por lo que es más conveniente utilizar este análisis para identificar y cuantificar plomo y cadmio.

RECOMENDACIONES

1. Realizar el muestreo en un mayor número de horas durante el proceso de lavado de botellas sin aditivos para aumentar la confiabilidad sobre el arrastre de los metales.
2. Se propone realizar la determinación de plomo y cadmio por el método de ICP-MS, ya que con este se puede alcanzar límites de detección más bajos que con el ICP-OES.

BIBLIOGRAFÍA

1. FERNÁNDEZ ESPINOSA, Antonio José. *Especiación química y física de metales en la materia particulada atmosférica: aplicación del estudio de la contaminación ambiental*. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2001. 553 p.
2. HARRIS, Daniel C. *Análisis químico cuantitativo*. 3a. ed. Barcelona: Reverté S. A., 2007. 924 p.
3. JIMÉNEZ BOULANGER, Francisco; ESPINOZA GUTIÉRREZ, Carlos Luis; FONSECA RETONA, Leonel. *Ingeniería Económica* [en línea]. https://books.google.com.gt/books?id=LVLZA74NNwwC&pg=PA4&lpg=PA4&dq=5.+JIM%C3%89NEZ+BOULANGER,+Francisco.%3B+ESPINOZA+GUTI%C3%89RREZ,+Carlos+Luis.+Ingenier%C3%ADa+Econ%C3%B3mica.&source=bl&ots=ZV4QspeNcV&sig=oZGoQONLfdIWmDPnLA02VdYTrlo&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=5.%20JIM%C3%89NEZ%20BOULANGER%2C%20Francisco.%3B%20ESPINOZA%20GUTI%C3%89RREZ%2C%20Carlos%20Luis.%20Ingenier%C3%ADa%20Econ%C3%B3mica.&f=false [Consulta: 8 de octubre de 2014].
4. MACERO AVIS, Yaneska María. *Propuesta de un sistema de control automatizado de agua y soda caustica agregados a los tanques de una lavadora de botellas de vidrio retornable de una planta productora de refresco*. Trabajo de graduación de Ingeniera

Química. Venezuela: Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, 2011. 132 p.

5. PÉREZ ÁVILA, Alan D. *Formación de complejos: EDTA y quelatos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 14 p.
6. SULLIVAN, William G; WICKS, Elin M.; LUXHOJ, James T. *Ingeniería económica de degarmo* [en línea]. <https://books.google.nl/books?id=Nvh6Aag6WqsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false> [Consulta: 8 de octubre de 2014] 12a. ed. México: Pearson Educación, 2004.
7. SKOOG, Douglas A.; WEST, Donal M.; HOLLER, F. James. *Fundamentos de química analítica* [en línea]. <https://books.google.com.gt/books?id=CU7yWvK1kGQC&printsec=frontcover&dq=skoog,+douglas.+fundamentos+de+quimica+analitica&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=skoog%2C%20douglas.%20fundamentos%20de%20quimica%20analitica&f=false> [Consulta: 10 de octubre de 2014]. 4a. ed. Barcelona: Reverté S. A., 2001. 882 p.
8. WALPOLE, Ronald E.; MYERS Raymond H.; MYERS Sharon L. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6a. ed. México: PrenticeHall Hispanoamericana, S. A., 1999. 560 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Datos calculados a partir de los datos originales

Consumo de aditivos por mes

Aditivos	Consumo (L)			Promedio
	Noviembre	Diciembre	Enero	
A	283	134	65	160,67
B	223	179	56	152,67
Volumen (Número de Botellas)	4 579 512	1 213 415	59 174	1 950 700,33

Fuente: elaboración propia, con base en los datos originales.

Costos de aditivos por mes

Aditivos	Costo			Promedio
	Noviembre	Diciembre	Enero	
A	Q6 525,98	Q3 090,04	Q1 498,90	Q3 704,97
B	Q6 772,51	Q5 436,23	Q1 700,72	Q4 636,49
Volumen (Botellas)	4 579 512	1 213 415	59 174	1 950 700, 33

Fuente: elaboración propia, con base en los datos originales.

Apéndice 2. Reporte del análisis de espectroscopia de emisión óptica por plasma de acoplamiento inducido ICP-OES para tres meses de análisis

DATOS DE LA MUESTRA				
Fecha de Muestreo	: 17/03/2015	Fecha Inicio de Análisis	: 17/03/2015	
Hora de Muestreo	: 10:00	Hora de Ingreso	: 16:10:02	
Recipiente	: BOLSA ESTERIL	Temperatura de Ingreso	:	
Tipo de muestra	: AGUA DE PROCESO	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C	
Localización	: COLONIA MONTE MARIA ZONA 12	Responsable de muestreo	: CLIENTE	
PARAMETROS LABORATORIO				
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
CADMIO	mg/L Cd	< 0.001	0.001	EPA 200.5
PLOMO	mg/L Pb	< 0.008	0.008	SM 3120B

DATOS DE LA MUESTRA				
Fecha de Muestreo	: 17/03/2015	Fecha Inicio de Análisis	: 17/03/2015	
Hora de Muestreo	: 11:00	Hora de Ingreso	: 16:10:02	
Recipiente	: BOLSA ESTERIL	Temperatura de Ingreso	:	
Tipo de muestra	: AGUA DE PROCESO	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C	
Localización	: COLONIA MONTE MARIA ZONA 12	Responsable de muestreo	: CLIENTE	
PARAMETROS LABORATORIO				
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
CADMIO	mg/L Cd	< 0.001	0.001	EPA 200.5
PLOMO	mg/L Pb	< 0.008	0.008	SM 3120B

DATOS DE LA MUESTRA				
Fecha de Muestreo	: 17/03/2015	Fecha Inicio de Análisis	: 17/03/2015	
Hora de Muestreo	: 12:00	Hora de Ingreso	: 16:10:02	
Recipiente	: BOLSA ESTERIL	Temperatura de Ingreso	:	
Tipo de muestra	: AGUA DE PROCESO	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C	
Localización	: COLONIA MONTE MARIA ZONA 12	Responsable de muestreo	: CLIENTE	
PARAMETROS LABORATORIO				
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
CADMIO	mg/L Cd	< 0.001	0.001	EPA 200.5
PLOMO	mg/L Pb	< 0.008	0.008	SM 3120B

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 2.

Paquete de análisis : ANALISIS QUIMICO Y/O FISICO		Asesor : HUGO MAHUS	
DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha de Muestreo	: NO INDICA	Fecha Inicio de Análisis	: 09/06/2015
Hora de Muestreo	: 15:20	Hora de Ingreso	: 16:30:09
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	:
Tipo de muestra	: AGUA POTABLE	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: COLONIA MONTE MARIA Z-12	Responsable de muestreo	: CLIENTE
PARAMETROS LABORATORIO			
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION
CADMIO	mg/L Cd	< 0.002	0.002
PLOMO	mg/L Pb	< 0.008	0.008
			METODOLOGIA
			SM 3120B
			SM 3120B

DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha de Muestreo	: NO INDICA	Fecha Inicio de Análisis	: 09/06/2015
Hora de Muestreo	: 16:20	Hora de Ingreso	: 16:30:09
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	:
Tipo de muestra	: AGUA POTABLE	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: COLONIA MONTE MARIA Z-12	Responsable de muestreo	: CLIENTE
PARAMETROS LABORATORIO			
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION
CADMIO	mg/L Cd	< 0.002	0.002
PLOMO	mg/L Pb	< 0.008	0.008
			METODOLOGIA
			SM 3120B
			SM 3120B

DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha de Muestreo	: NO INDICA	Fecha Inicio de Análisis	: 09/06/2015
Hora de Muestreo	: 18:20	Hora de Ingreso	: 16:30:09
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	:
Tipo de muestra	: AGUA POTABLE	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C
Localización	: COLONIA MONTE MARIA Z-12	Responsable de muestreo	: CLIENTE
PARAMETROS LABORATORIO			
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION
CADMIO	mg/L Cd	< 0.002	0.002
PLOMO	mg/L Pb	< 0.008	0.008
			METODOLOGIA
			SM 3120B
			SM 3120B

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 2.

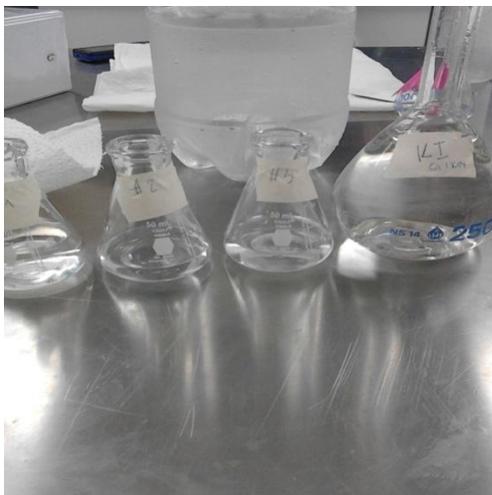
DATOS DE LA MUESTRA				
Fecha de Muestreo	: 24/06/2015	Fecha Inicio de Análisis	: 25/06/2015	
Hora de Muestreo	: 07:00	Hora de Ingreso	: 17:07:55	
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	:	
Tipo de muestra	: AGUA DE PROCESO	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C	
Localización	: COLONIA MONTE MARIA ZONA 12	Responsable de muestreo	: CLIENTE	
PARAMETROS LABORATORIO				
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
CADMIO	mg/L Cd	< 0.002	0.002	SM 3120B
PLOMO	mg/L Pb	0.00500	0.0000827	EPA 7010, 2

DATOS DE LA MUESTRA				
Fecha de Muestreo	: 24/06/2015	Fecha Inicio de Análisis	: 25/06/2015	
Hora de Muestreo	: 08:00	Hora de Ingreso	: 17:07:55	
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	:	
Tipo de muestra	: AGUA DE PROCESO	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C	
Localización	: COLONIA MONTE MARIA ZONA 12	Responsable de muestreo	: CLIENTE	
PARAMETROS LABORATORIO				
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
CADMIO	mg/L Cd	< 0.002	0.002	SM 3120B
PLOMO	mg/L Pb	0.00400	0.0000827	EPA 7010, 2007

DATOS DE LA MUESTRA				
Fecha de Muestreo	: 24/06/2015	Fecha Inicio de Análisis	: 25/06/2015	
Hora de Muestreo	: 09:00	Hora de Ingreso	: 17:07:55	
Recipiente	: PLASTICO	Temperatura de Ingreso	:	
Tipo de muestra	: AGUA DE PROCESO	Temperatura almacenaje	: 4.0 ± 2 °C	
Localización	: COLONIA MONTE MARIA ZONA 12	Responsable de muestreo	: CLIENTE	
PARAMETROS LABORATORIO				
PARAMETROS	DIMENSIONALES	VALOR	LIMITE DE DETECCION	METODOLOGIA
CADMIO	mg/L Cd	< 0.002	0.002	SM 3120B
PLOMO	mg/L Pb	0.00500	0.0000827	EPA 7010, 2

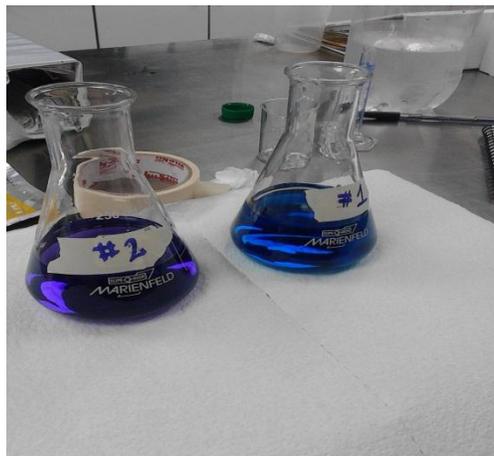
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Método gravimétrico por precipitación química para plomo y cadmio**



Fuente: Laboratorio de control de calidad de ELM S. A.

Apéndice 4. Método de volumetría complejométrica



Fuente: Laboratorio de control de calidad de ELM S. A.

Apéndice 5. **Requisitos académicos**

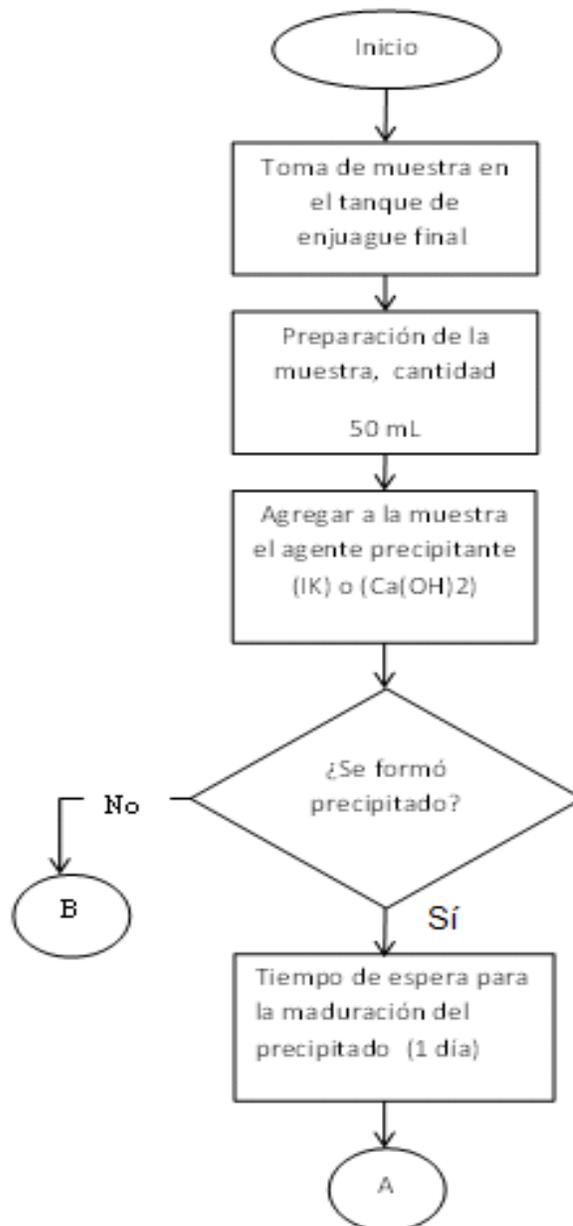
Requisitos académicos para la carrera de Licenciatura en Ingeniería Química

Área	Curso	Tema
Química	Química 3	Unidades de concentración y conversiones estequiométricas
	Química 4	Soluciones
	Análisis Cuantitativo	Complejos
	Análisis Cualitativo	Escala de pH y equilibrio
Fisicoquímica	Termodinámica 3	Leyes termodinámicas
	Cinética de Procesos	Reacciones químicas
Área de ciencias básicas y complementarias	Técnica de Estudio e Investigación	Método de investigación
	Seminario de investigación EPS	Árbol de problemas
	Ingeniería Económica 1 y 3	Presupuesto y análisis económico de recursos
	Estadística 1 y 2	Análisis de datos

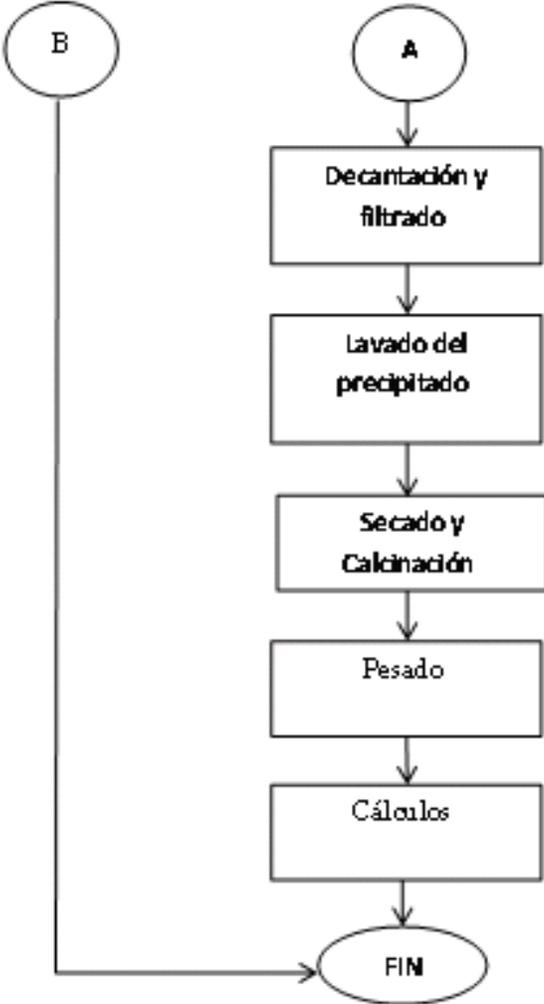
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Diagramas de los procedimientos experimentales de cada método

Diagrama de procedimiento experimental del análisis gravimétrico

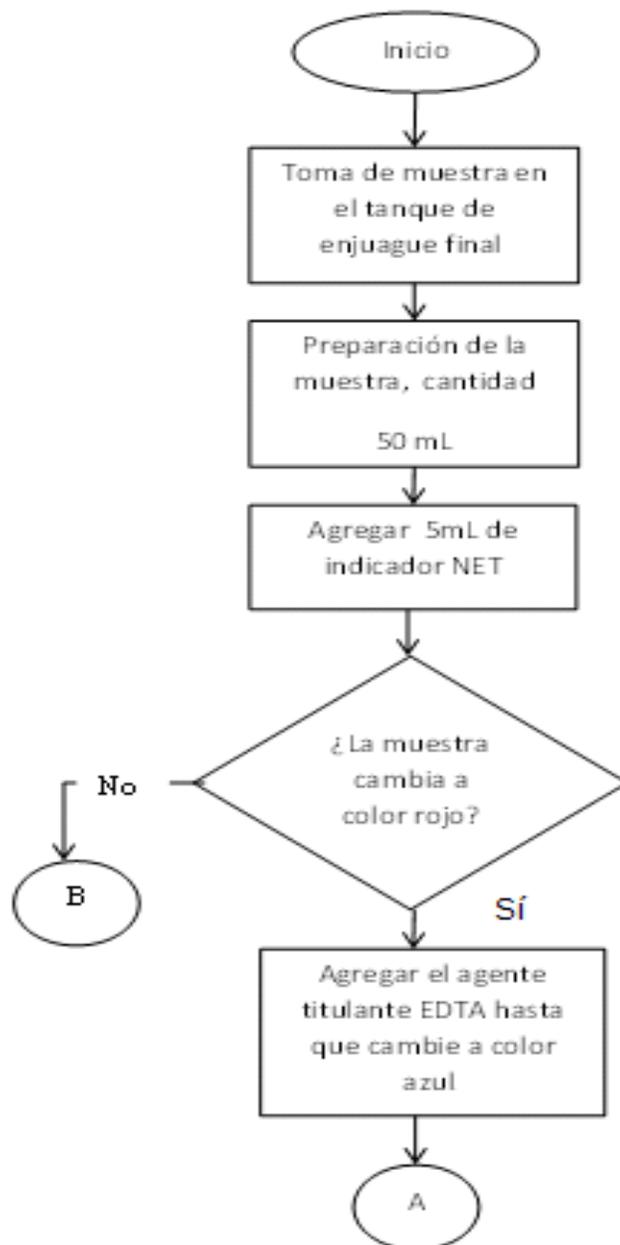


Continuación de la figura 5.

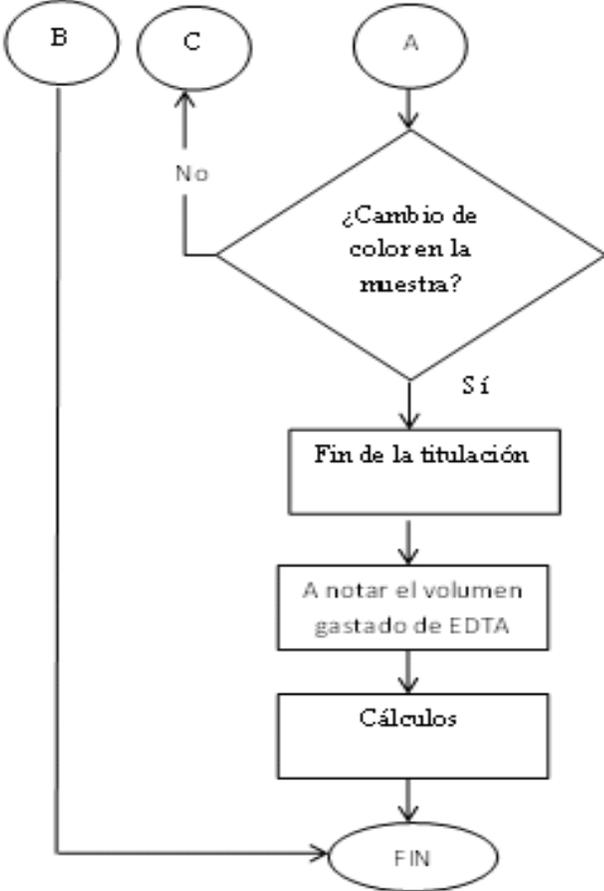


Fuente: elaboración propia.

Diagrama de procedimiento para el análisis de volumetría



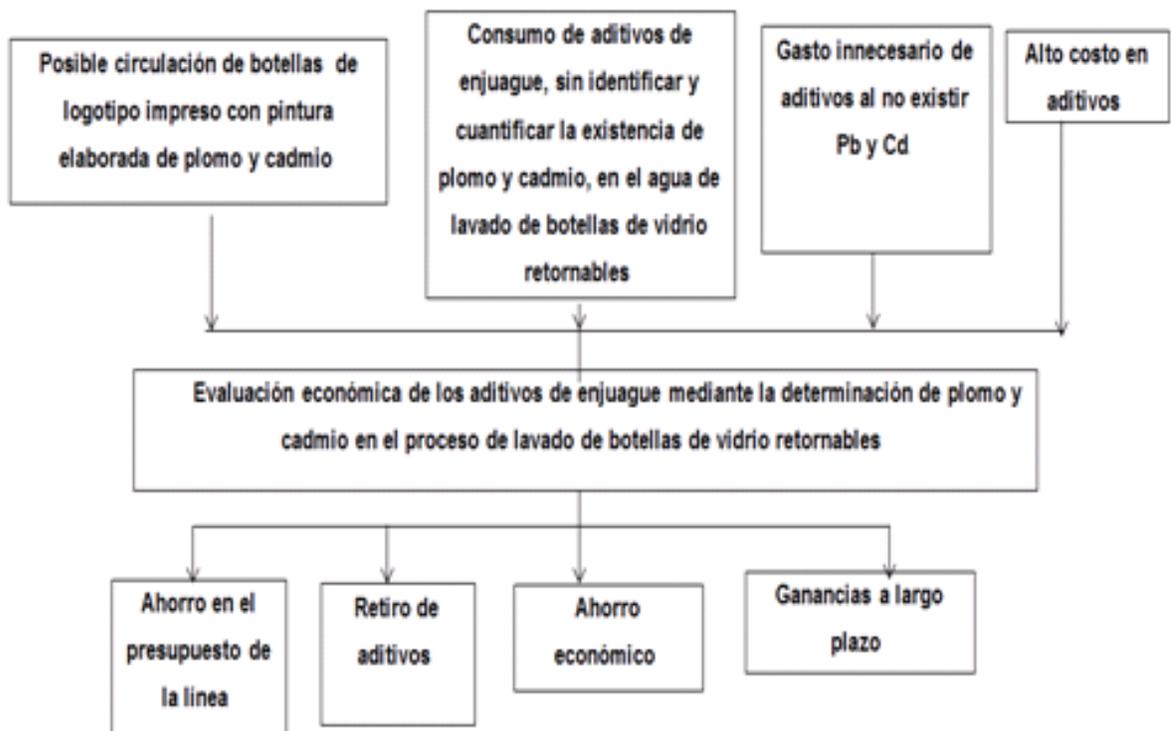
Continuación de la figura 6.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Diagrama de árbol

Diagrama de árbol de problemas. Evaluación económica de los aditivos de enjuague mediante la determinación de plomo y cadmio en el proceso de lavado de botellas de vidrio retornables



Fuente: elaboración propia.