



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA RECUPERACIÓN DE PLATA (Ag) POR REDUCCIÓN  
CON GLUCOSA A PARTIR DE LOS DESECHOS QUÍMICOS EN EL LABORATORIO  
METALÚRGICO DE UNA EMPRESA MINERA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**Humberto Fabio Gabriel Jacobo González**

Asesorado por MSC. Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano

Guatemala, mayo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA RECUPERACIÓN DE PLATA (Ag) POR REDUCCIÓN  
CON GLUCOSA A PARTIR DE LOS DESECHOS QUÍMICOS EN EL LABORATORIO  
METALURGICO DE UNA EMPRESA MINERA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HUMBERTO FABIO GABRIEL JACOBO GONZÁLEZ**  
ASESORADO POR MSC. ING. MARVIN EDUARDO MÉRIDA CANO  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA RECUPERACIÓN DE PLATA (Ag) POR REDUCCIÓN  
CON GLUCOSA APARTIR DE LOS DESECHOS QUIMICOS EN EL LABORATORIO  
METALURGICO DE UNA EMPRESA MINERA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 7 de noviembre de 2022

**Humberto Fabio Gabriel Jacobo González**



**EEPFI-PP-1586-2022**

Guatemala, 7 de noviembre de 2022

**Director**  
**Williams G. Álvarez Mejía**  
**Escuela De Ingenieria Quimica**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Álvarez**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA RECUPERACIÓN DE PLATA (AG) POR REDUCCIÓN CON GLUCOSA APARTIR DE LOS DESECHOS QUIMICOS EN EL LABORATORIO METALURGICO DE UNA EMPRESA MINERA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Sistemas Integrados de Gestión - Gestión ambiental**, presentado por la estudiante **Humberto Fabio Gabriel Jacobo Gonzalez** carné número **200418329**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

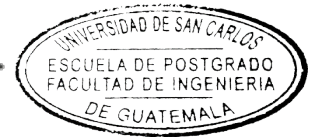
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Mtro. Marvin Eduardo Mérida Cano  
Asesor(a)

Marvin Eduardo Mérida Cano  
11/05/2019 Colegiado No. 2019  
M.A. en Ingeniería Química

Mtro. Kenneth Lubeck Corado Esquivel  
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EEP.EIQ.1359.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA RECUPERACIÓN DE PLATA (AG) POR REDUCCIÓN CON GLUCOSA APARTIR DE LOS DESECHOS QUIMICOS EN EL LABORATORIO METALURGICO DE UNA EMPRESA MINERA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.**, presentado por el estudiante universitario **Humberto Fabio Gabriel Jacobo Gonzalez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

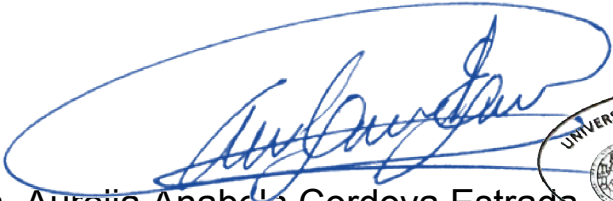
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Williams G. Álvarez Mejía; Mg.I.Q., M.U.I.E.  
Director  
Escuela De Ingenieria Quimica

Guatemala, noviembre de 2022

La Decana 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: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA RECUPERACIÓN DE PLATA (Ag) POR REDUCCIÓN CON GLUCOSA APARTIR DE LOS DESECHOS QUÍMICOS EN EL LABORATORIO METALÚRGICO DE UNA EMPRESA MINERA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Humberto Fabio Gabriel Jacobo González**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, mayo de 2023

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por crear el universo, la vida y la conciencia.
<b>Mis padres</b>	César Jacobo y Ana González (q. d. e. p.) por su gran amor, cuidados y enseñanzas.
<b>Mis hermanos</b>	A cada uno de los hermanos Jacobo por su apoyo, risas y amor incondicional.
<b>Mis abuelos</b>	Nery Jacobo, Enriqueta Achim, Esteban González y Zoila González (q. d. e. p.) Por ser mis ancestros, por, el amor hacia su familia y sus lecciones de vida.
<b>Familia</b>	A mis tías, tíos, primos, primas y sobrinos por ser parte de mi vida.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el alma mater que me brindó conocimientos.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por forjarme como profesional de la ingeniería, por darme amigos sinceros.
<b>Empresa Minera</b>	Por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación y los recursos necesarios para la ejecución del mismo.
<b>Mi familia</b>	Por su amor, cariño comprensión y ser de gran apoyo.
<b>Mis amigos</b>	Por ser parte de mi vida, por los buenos recuerdos que construimos.
<b>Mi asesor</b>	Por ser guía, amigo y apoyo en esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Contexto general .....	9
3.2. Descripción del problema .....	9
3.3. Delimitación del problema.....	10
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Historia de la plata .....	21
7.2. Propiedades.....	21
7.2.1. Propiedades físicas y químicas .....	22
7.3. Usos.....	22

7.4.	Ensayos al fuego .....	22
7.4.1.	Etapa de fundición.....	23
7.4.2.	Etapa de copelación.....	23
7.4.3.	Etapa de separación .....	24
7.4.4.	Proceso de pesaje.....	25
7.5.	Análisis cuantitativo .....	27
7.5.1.	Métodos de análisis cuantitativo.....	27
7.5.2.	Métodos gravimétricos .....	28
7.5.3.	Métodos volumétricos .....	29
7.6.	Reacciones iónicas.....	29
7.7.	Conceptos de la ionización.....	31
7.7.1.	Concepto moderno .....	31
7.7.2.	Concepto moderno de ácidos y bases .....	32
7.7.3.	Concepto de Bronsted-Lowry .....	32
7.7.4.	Concepto de Lewis .....	32
7.7.5.	Ajuste de ecuaciones .....	33
7.8.	Metodologías de análisis cuantitativos para la determinación de plata.....	34
7.8.1.	El reactivo de Tollens .....	34
7.8.2.	Cuantificación de plata por gravimetría .....	37
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	39
9.	METODOLOGÍA.....	41
9.1.	Diseño .....	41
9.2.	Tipo de estudio.....	41
9.3.	Alcance.....	41
9.4.	Variables .....	42
9.4.1.	Operacionalización de variables:.....	42

9.5.	Fases del estudio.....	43
9.5.1.	Fase 1: Revisión documental.....	43
9.5.2.	Fase 2: Cuantificar la concentración de plata.....	44
9.5.3.	Fase 3: Determinación del porcentaje de recuperación .....	45
9.5.4.	Fase 4: Determinación de la pureza de la plata obtenida por reducción .....	46
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACION .....	49
11.	CRONOGRAMA.....	51
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	53
13.	REFERENCIAS.....	55
14.	APÉNDICES .....	59



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama de flujo del esquema de solución.....	20
2.	Diagrama de flujo del proceso de ensayos al fuego.....	26
3.	Oxidación de una glucosa mediante la reducción del catión $Ag^+$ .....	35
4.	Espejo de plata producido por la reacción de plata con glucosa.....	35
5.	Proyección de Fisher para la glucosa .....	36
6.	Cronograma de actividades .....	51

### TABLAS

I.	Solubilidad del cloruro de plata en disoluciones de cloruro a 25 °C .....	37
II.	Operacionalización de variables.....	42
III.	Análisis de la información .....	50
IV.	Presupuesto .....	53



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>NaCN</b>	Cianuro de sodio
<b>M</b>	Concentración molar
<b>Cl</b>	Cloro
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramos
<b>L</b>	Litro
<b>mg</b>	Miligramos
<b>ml</b>	Mililitro
<b>Au</b>	Oro
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Ag</b>	Plata
<b>Pb</b>	Plomo
<b>%</b>	Porcentaje





## GLOSARIO

<b>Anión</b>	Átomo o molécula cuya carga neta es negativa es altamente reactiva.
<b>Átomo</b>	Unidad básica de un elemento que puede intervenir en una combinación química para formar moléculas y compuestos.
<b>Catión</b>	Átomo o molécula con neta es positiva.
<b>Concentración</b>	Unidad de masa/unidad de volumen.
<b>Electrón</b>	Partícula subatómica con carga unitaria -1.
<b>Ion</b>	Especie cargada eléctrica formada a partir de átomos o moléculas puede tener carga positiva y negativa.
<b>Molécula</b>	Agregado de, por lo menos, dos átomos en un arreglo definido.
<b>Neutrón</b>	Partícula subatómica con carga unitaria cero.
<b>Protón</b>	Partícula subatómica con carga +1.



## RESUMEN

El presente diseño de investigación trata sobre la recuperación de plata en solución amoniacal que está contenida en los desechos químicos de un laboratorio metalúrgico ubicado en el país de Guatemala, departamento de Guatemala, municipio de San José del Golfo. Donde se llevan a cabo operaciones de explotación minera para la obtención de oro y plata.

Se comenzará por cuantificar la plata mediante la metodología del reactivo de Tollens, que consiste en reducir la plata a plata metálica por medio de una reacción de reducción con glucosa.

Posterior mente se determinará el porcentaje de recuperación de plata y la pureza de la plata obtenida, para evaluar la calidad del material recuperado, y así evaluar si la plata recuperada cumple con la pureza necesaria, para poder ser reutilizada dentro de los análisis de ensayos al fuego.

Para determinar el porcentaje será necesario precipitar la plata con cloruro de sodio, y para determinar la pureza, se evaluará el gasto de cloruro de sodio de la muestra, versus el gasto de cloruro de sodio de una muestra de pureza conocida.

Con este trabajo de investigación, desea establecer la metodología adecuada para el tratamiento de los desechos, y recuperación de la valiosa plata.



# 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consiste en una sistematización debido a que se desea recuperar plata de los desechos químicos de un laboratorio metalúrgico, de forma sistemática. El proceso de recuperación está basado en una metodología que se fundamenta en una reacción química de reducción con glucosa.

La necesidad de la investigación surge por la problemática que existe en un laboratorio de control de calidad de una empresa minera; actualmente en esta industria existen desechos químicos, procedentes del proceso de cuantificación de oro y plata en las muestras que se analizan dentro del laboratorio.

Los desechos químicos del laboratorio contienen plata en solución amoniacal, formando un compuesto llamado diamín plata, más otro compuesto llamado óxido de plata. Estos desechos químicos tienen características tóxicas para la vida terrestre y acuática, además se desea recuperar la plata que está contenida en el desecho químico, ya que es un metal precioso de alto valor en el mercado.

Como resultado de esta experimentación, se desea cuantificar la concentración de plata en el desecho, se desea recuperar el metal precioso, también se desea determinar el porcentaje de recuperación y por último determinar la pureza de la plata.

Esta investigación aportará al conocimiento científico acerca del proceso de recuperación de plata proveniente de soluciones amoniacaes que contienen el

complejo activado diamín plata.

El esquema de solución consiste en cuatro fases, la primera fase consiste en la revisión documental, en la fase dos se cuantificará la concentración de plata en el desecho, la fase tres consiste en la recuperación del metal precioso, además se determinará el porcentaje de recuperación, en la fase cuatro se evaluará y determinará la pureza de la plata recuperada.

El informe final consta de cinco capítulos; el capítulo número uno, es el marco referencial, donde se incluirán investigaciones que se han realizado anteriormente relacionadas con el tema. El segundo capítulo, es el marco teórico donde se incluirán todos los conceptos y definiciones, que den sustento teórico a la interpretación de resultados.

El capítulo tres es el desarrollo de la investigación; en el capítulo cuatro se presentarán los resultados; por último, en el capítulo cinco se realizará la discusión de los resultados obtenidos.

## 2. ANTECEDENTES

La ingeniería química es una rama de la ingeniería que busca solucionar problemas relacionados con industrias de toda índole, en este caso la ingeniería química de ha realizado investigaciones relacionadas con la determinación de oro y plata en la explotación minera. A continuación, se muestran unas de las investigaciones realizadas relacionadas con el oro y la plata.

Como primer caso se tiene a Garza (2020) con su tesis de maestría, que lleva por nombre Cianuración de Oro y Plata Asistida con Glicina, esta tesis de realizó en la Universidad Autónoma de Coahuila. En este trabajo se realizó la extracción de oro y plata partiendo de muestras con diferente composición, uno con una concentración de pirita del 85 % y otro con un residuo de lixiviación ácida de calcopirita. El objetivo de esta investigación fue el de estudiar la extracción de los metales preciosos mediante cianuro, glicina y una mezcla de ambos mediante cianuro.

En este estudio se realizó un balance de masa de oro y plata, los cuales se reportaron en términos de %. Se realizó una caracterización de las muestras donde se conocieron la composición química y mineralógica de los materiales, antes y después del proceso de lixiviación. Los resultados obtenidos indicaron que el porcentaje de extracción de oro y plata más alto, se obtuvieron mediante la cianuración independientemente de la muestra.

Se concluyo que el material con alto contenido de pirita es el que presenta los porcentajes de extracción más altos de oro y plata. En cuanto al análisis del subproducto de lixiviación ácida de calcopirita, se concluye que una combinación



de tratamientos de desulfuración y pre-oxidación, logran alcanzar los porcentajes de extracción más altos de oro y plata. Por último, se concluye que la adición de glicina reduce el consumo de cianuro y bajo estas condiciones, se producen residuos más amigables con el medio ambiente y esto permite mejorar las condiciones de almacenamiento y disposición final.

Este trabajo de investigación es de relevancia para la presente, ya que se estudiaron metodologías para mejorar el porcentaje de extracción de oro y plata, de residuos metalúrgicos en una empresa minera, además se tratan las muestras para mejorar el proceso de manejo y disposición final del residuo.

Como segundo caso se tiene a Rodríguez (2016), en su tesis de maestría que lleva por nombre *Evaluación de Metodologías Alternas Para la Lixiviación de Plata de Jales Mineros Refractarios*. Donde se tratan los jales compuestos por el material sólido resultante del proceso de extracción de metales, poseen características tóxicas y presentan un riesgo para el equilibrio ambiental y a la salud de la población. En esta tesis se trabajó en una mina en la ciudad de Durango, donde se tiene un problema ambiental de acumulación de este desecho provocando un riesgo ambiental por el arrastre de contaminantes, fuera de los jales debido a la lluvia y el viento.

El objetivo de este proyecto fue desarrollar una metodología adecuada, para el reproceso del jale de dicha mina, para obtener un residuo no peligroso y que se minimice el efecto ambiental nocivo. El proceso seleccionado consiste en tres etapas: un pretratamiento químico para retirar el exceso de carbonato de calcio, seguido por un proceso de cianuración con oxígeno a presión para lixiviar la plata, y la descomposición química del cianuro libre remanente en el residuo.

Los resultados de esta investigación muestran que, con esta metodología,

se obtiene un residuo no peligroso que no contiene componentes tóxicos significativos. Se logró alcanzar una eficiencia de recuperación de plata del 75.3 % en las condiciones óptimas de 340 minutos de tiempo de lixiviación y 2209 partes por millón de cianuro, además se genera una utilidad de \$ 4,850.00 por tonelada de jale y se registró una patente como un tratamiento previo al proceso de lixiviación, para liberar oro y plata encapsulados en carbonato de calcio para minerales y jales refractarios.

Con los resultados obtenidos se concluyó que se logró obtener una metodología para el reproceso del jale de la mina La Encantada, con la cual se logrará afrontar el problema de acumulación de jale en la mina debido a que se disminuye el riesgo de arrastre de componente tóxicos fuera de la presa de jales, y se genera un residuo que se clasifica no peligroso y se produce una utilidad económica con la venta de la plata recuperada del reproceso.

Además, aplicando este modelo se optimizó la eficiencia de lixiviación de plata alcanzando un máximo de 75.8 %, mejora atribuida al incremento del oxígeno disuelto en la solución lixivante que al final permitió que el cianuro alcanzara a la plata encapsulada.

Este trabajo de investigación se relaciona con la presente, ya que trata sobre la recuperación de la plata residual de los procesos de extracción de oro y plata en una mina. Además, también trata sobre la reducción del riesgo de contaminación ambiental que puede causar este desecho, si no tuviese un tratamiento adecuado de recuperación y disposición final.

En tercer caso se tiene a Vilcampoma, (2021), con su tesis de maestría que lleva por nombre Optimización de la recuperación y modelamiento de las variables operativas que afectan el circuito de lixiviación con cianuro de la planta

de procesamiento de oro de Ares utilizando un modelo CCD. Tesis realizada en el país de Perú en la compañía minera Ares.

El trabajo de investigación consistió en evaluar, modelar y optimizar las variables de operación del proceso de cianuración de oro, mediante de superficie de respuesta que utiliza un diseño central compuesto (CCD), este modelo propone ajustar un modelo de regresión cuadrática a partir de un diseño factorial 2k (Vilcampoma, 2021).

Las variables a optimizar fueron pH, porcentaje de sólido, concentración de NaCN, tamaño de partícula y tiempo de reacción con el objetivo de maximizar la recuperación de oro. Los resultados que se obtuvieron, en orden de importancia fueron el tiempo de reacción, tamaño de partícula, concentración de NaCN, pH porcentaje de sólido. El modelo obtenido es un R2 ajustado, se obtuvo la ecuación del modelo y la recuperación máxima fue de un 90.49 %. Las condiciones óptimas de las variables de operación fueron: pH=10, porcentaje de sólidos=35 %, concentración de NaCN= 735.85 ppm, tamaño de partícula de 38 micrómetros, y tiempo de lixiviación de 24h (Vilcampoma, 2021).

Este trabajo es relevante para la presente investigación ya que las variables estudiadas, en ella son similares a las variables con las que se trabajará, por ejemplo: el pH, la concentración del químico lixivante, tamaños de partícula, tiempo de reacción y por último al igual que se desea en la presente investigación, se llega a la determinación de un porcentaje de recuperación optimizando todas las variables independientes.

Como cuarto investigador se tiene a (Ramos, 2019) con su tesis de maestría que lleva por nombre *Recuperación de plata de los relaves de flotación, mediante lixiviación en la Empresa Administradora Cerro SAC*.

Esta investigación consistió en recuperar plata, de los relaves de los residuos de los procesos de flotación de los años 2011 y 2012, con alto contenido de plata (5 oz/t). El proceso elegido fue el de lixiviación con NaCN, este estudio es la continuación de estudios anteriores realizados en la empresa (Ramos, 2019).

El experimento de lixiviación está orientado a obtener una recuperación óptima de plata, para ello se determinó la concentración óptima de cianuro de sodio, también se varió la temperatura. Se obtuvo una recuperación de plata de 50.06 %, un gasto de NaCN de 4.8 kg/t a una concentración de 5,500 ppm y una temperatura de 40 °C. La importancia de esta investigación radica en que existen un millón de toneladas de relave para tratar con una ley arriba de 5.0 oz/t.

Esta investigación es relevante para la propia, ya que se estudia las variables para la recuperación de plata contenida en un desecho químico de una empresa minera dedicada a la extracción de plata. Se determinó un porcentaje de recuperación, se evaluaron y optimizaron las variables del proceso que tienen mayor impacto en el proceso de recuperación de la plata.

Cómo quinto investigador tenemos a (Montaño, 2017), con su tesis de maestría titulada *Estudio termodinámico y cinético de la recuperación de oro y plata en soluciones cianuradas mediante el proceso de electrocoagulación*.

En este trabajo se investigación se recuperó oro y plata de soluciones cianuradas, mediante el proceso Merrill-Crowe el cual utiliza polvo de zinc, más el uso de carbón activado. También se evaluó el proceso de electrocoagulación utilizando, para dicho proceso electrodos de hierro y aluminio, densidad de corriente, flujo volumétrico y distancia electrodos (Montaño, 2017).

Los resultados obtenidos fueron un porcentaje de recuperación de plata de 97.9 % y 81.6 % de oro, con una distancia de 0.8 cm, a 75ml/min la densidad de corriente de 235-355 A/m<sup>2</sup> (Montaño, 2017).

También obtuvieron y compararon las isothermas Freundlich, Langmuir y Temkin, para la adsorción del oro y plata en las especies que se generaron del proceso de electrocoagulación. El modelo ajustado más adecuadamente a los datos experimentales de equilibrio de adsorción fue el modelo de Langmuir mostrando altos coeficientes de correlación.

Con todo lo anterior se calculó la energía libre de Gibbs, el cambio de entalpía y el cambio de entropía, los resultados arrojaron que la adsorción es un proceso espontaneo y exotérmico. Para determinar la velocidad de adsorción se utilizaron ecuaciones de segundo y primer orden de Lagergreen. Los sólidos provenientes de la electrocoagulación se utilizaron equipos de difracción de rayos X y Microscopia electrónica de barrido mostrando que la plata y el oro se encuentran en las partículas de magnetita, bayerita, aluminita, hidroniojarosita y alunógeno.

Esta investigación es de relevancia ya que trata sobre la recuperación de oro y plata que se encuentran en solución acuosa de cianuro, se determinó un porcentaje de recuperación de plata y oro, además se evaluaron las variables que más influyen en el proceso de recuperación. Además, la electrodeposición consiste en reacción de oxido reducción que consiste en ceder y dar electrones, este tipo de reacciones también se llevará a cabo en la presente investigación.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Contexto general**

La industria minera es una industria que se dedica a la explotación de minerales provenientes de la litosfera terrestre; entre estos minerales se incluyen metales preciosos como el oro y la plata.

Para el control del proceso de explotación existen laboratorios de control de calidad, donde se analizan muestras del material que se está extrayendo, estos análisis se utilizan para determinar la concentración de oro y plata existentes en la muestra.

#### **3.2. Descripción del problema**

En la ciudad de Guatemala existe una industria minera, que se dedica a explotación de oro y plata del suelo guatemalteco, esta industria empezó operaciones en el año 2015.

Dentro de la planta de la industria minera, existe un laboratorio de control de calidad, donde se analizan las muestras que provienen del área de molienda, el análisis se realiza mediante una metodología llamada ensayos al fuego.

Como desecho de los análisis de los ensayos al fuego, se obtiene una solución con fase acuosa y fase sólida. La fase sólida contiene óxido de plata, y la fase acuosa contiene un complejo activado llamado diamina plata. Estos desechos son compuestos tóxicos y dañinos para la vida terrestre y acuática.

Los desechos del laboratorio de control de calidad están siendo almacenados en contenedores especiales para dicho propósito. Actualmente se tienen mil litros de solución, que contienen el metal precioso en forma de óxido y en forma de complejo activado.

La empresa minera desea investigar un proceso adecuado para el tratamiento del desecho y para la recuperación de la plata que contiene este desecho.

### **3.3 Delimitación del problema**

La investigación se realizará en el país de Guatemala, en el departamento de Guatemala, municipio de San José del Golfo, en el laboratorio de control de calidad de la industria minera.

El periodo de tiempo de ejecución de la investigación comprenderá del segundo semestre del año 2022 al primer semestre del año 2023.

Pregunta principal:

¿Cómo desarrollar el proceso para la recuperación de plata (Ag) por reducción con glucosa a partir de los desechos químicos en el laboratorio metalúrgico de una empresa minera ubicada en la ciudad de Guatemala?

Preguntas secundarias:

- ¿Cuál es la concentración de plata que contiene el desecho del laboratorio?

- ¿Qué porcentaje de recuperación de plata se obtiene mediante el proceso de reducción?
- ¿Cuál es la pureza de la plata que se obtiene luego de la recuperación?





## 4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación está enfocado a las líneas de investigación de área de operaciones, ya que se realizará la optimización de operaciones y procesos, debido a que se realizará la recuperación de plata que se encuentra en los desechos químicos en solución acuosa amoniaca del laboratorio de control de calidad de una empresa minera, ubicada en la ciudad de Guatemala. Con esta línea de investigación se relaciona con el curso de producción y productividad y gestión de calidad.

También va enfocada hacia los sistemas integrados de gestión, específicamente con el curso de gestión ambiental, ya que, al recuperar la plata, se estará contribuyendo al sistema de gestión ambiental de la empresa minera.

Esta investigación brindará aportes prácticos, ya que la recuperación de la plata permitirá reutilizarla en el proceso de cuantificación de oro y plata. También se puede comercializar la plata para su uso en joyería. Además, al recuperar la plata, se estará en condiciones de tratar el desecho químico para su posterior disposición final.

La realización de esta investigación beneficiará a la empresa minera, ya que el reciclaje de la plata reducirá sus costos de operación al no tener que invertir en la compra de plata de alta pureza para los análisis de cuantificación.

En el ámbito social esta investigación aportará muchos beneficios a la comunidad, empezado por la responsabilidad social empresarial, ya que la

empresa minera está interesada en el tratamiento de sus desechos químicos de características tóxicas. Al tratar estos desechos se tendrá un proceso ambientalmente amigable y se evitará, que estos lleguen a contaminar el agua y demás recursos naturales de la zona.

En el ámbito profesional esta investigación brindará aportes e información científica acerca del proceso de tratamiento y recuperación de desechos químicos que contienen plata.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Desarrollar el proceso para la recuperación de plata (Ag) por reducción con glucosa a partir de los desechos químicos en el laboratorio metalúrgico de una empresa minera ubicada en la ciudad de Guatemala.

### **5.2. Específicos**

1. Cuantificar la concentración de plata que contiene el desecho del laboratorio.
2. Calcular el porcentaje de recuperación de plata que se obtiene mediante el proceso de reducción.
3. Determinar la pureza de la plata obtenida por reducción con glucosa.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

En el presente estudio se realizará una investigación para recuperar plata metálica, a partir de los desechos químicos que produce un laboratorio metalúrgico de control de calidad en una industria minera.

La necesidad de recuperar la plata es debido a que este elemento es un metal precioso, caro y puede reutilizarse para nuevos análisis si este cumple con la pureza necesaria. De lo contrario el metal puede ser utilizado para joyería.

También existe la necesidad de recuperar la plata, debido a que es necesario tratar los desechos del laboratorio mediante un proceso adecuado que asegure una disposición final adecuada.

El esquema de solución propuesto cuenta con las siguientes fases:

Fase 1. Revisión documental, esta fase consiste en realizar una investigación bibliográfica de antecedentes de investigaciones realizadas relacionados con el presente tema de investigación, con el objetivo de tener una orientación de las metodologías utilizadas y los resultados que se obtuvieron.

Fase 2. Esta fase se realizará dentro del laboratorio de control de calidad donde se comenzará por cuantificar mediante gravimetría los gramos de plata por mililitro que están presentes en el desecho químico.

Para determinar la concentración de la plata se utilizará la metodología del reactivo de tollens; esta metodología consiste en reducir la plata en solución acuosa a plata sólida mediante una reacción de reducción con glucosa, así la plata pasa de  $Ag^+ \rightarrow 2Ag_s$ . Esta reacción se realizará en un balón volumétrico de 100mL previamente tarado, donde la plata reducida quedará adherida a las paredes del balón, posteriormente por diferencia de peso se cuantificarán los gramos de plata presentes en el desecho.

### Fase 3. Determinación del porcentaje de recuperación.

Esta fase también se realizará dentro del laboratorio, una vez determinada la concentración de plata se procederá a digestionar la plata que se encuentra en las paredes del balón volumétrico de añadirá una solución 0.1M de ácido nítrico se agitará constante mente hasta disolución completa.

Digestionada la plata se procederá a precipitar la plata con una solución 0.5 M de cloruro de sodio, debido a la formación del compuesto cloruro de plata (AgCl) el cual tiene una baja solubilidad.

Obtenido el precipitado se procederá a la copelación en una mufla a 850 °C, la copelación consiste en colocar el precipitado de cloruro de plata en una copela junto con plomo metálico en laminas, posteriormente se introduce la copela a la mufla precalentada a 850 °C. De este proceso se obtiene botón de plata el cual se procederá a pesar. El cálculo del porcentaje de recuperación se realizará dividiendo el peso del lingote entre el peso de plata que se determinó en la fase dos y luego multiplicando el resultado por cien, para obtener un porcentaje de recuperación.

### Fase 4. Determinación de la pureza.

Determinar la pureza de la plata mediante la relación cuantitativa del gasto de cloruro de sodio (NaCl). Para esta fase se realizará la comparación de cuanto cloruro de plata se necesita para precipitar 1 gramo de plata de pureza conocida, contra la cantidad necesaria de cloruro de sodio para precipitar 1 gramo de la plata recuperada.

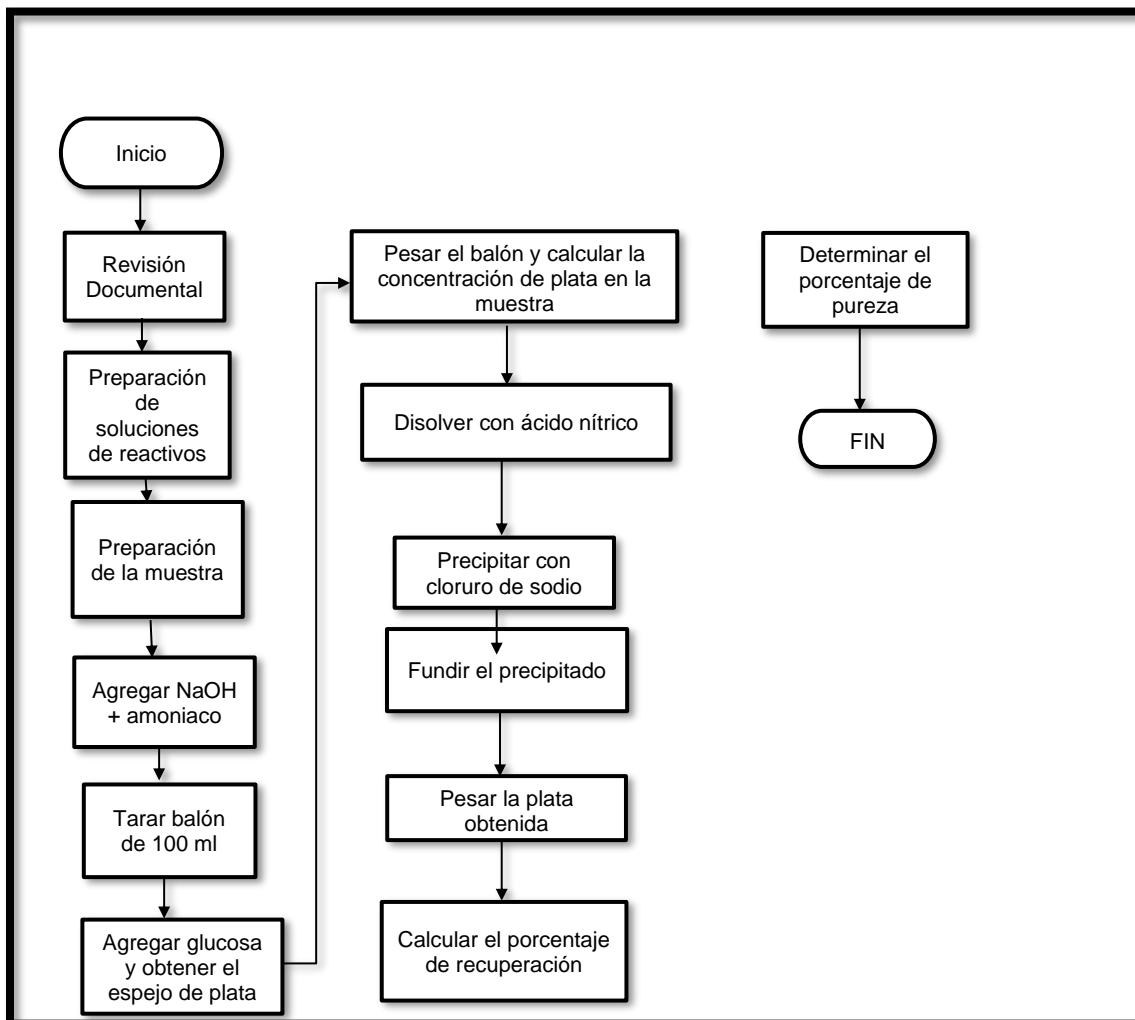
Este trabajo es original ya que en la empresa minera no se ha realizado un trabajo de investigación, para la recuperación de la plata contenida en el desecho químico.

Este trabajo de investigación es pertinente a la práctica profesional de la maestría en gestión industrial, ya que está enfocado en los cursos de gestión ambiental, producción y productividad, sistemas integrados de gestión de calidad.

En siguiente figura se muestra el diagrama de flujo para el esquema de solución.



Figura 1. Diagrama de flujo del esquema de solución



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Visio.

## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Historia de la plata

A lo largo de la historia la plata es uno de los siete metales conocidos y utilizados por el hombre desde tiempos antiguos, se menciona en la biblia y diferentes textos antiguos, se han encontrado restos de plata en Asia Menor y en islas del mar Egeo. Esto indica que el metal comenzó a ser purificado desde hace cuatro mil años (Medina, Mejía, 2020)

El nombre de plata proviene del adjetivo *platus*, procedente del latín medieval que significa ancho aplanado. Se utilizó para nombrar los lingotes de plata que, en la antigua Roma habían llamado *argentum*, que es el origen del símbolo Ag, el vocablo *argentum* quiere decir blanco o brillante. Debido a sus propiedades como color, brillo imperecedero insensible al fuego, raro y difícil de encontrar se le atribuyeron propiedades divinas. (Medina, Mejía, 2020).

Su belleza, su peso y resistencia a la corrosión, le han brindado un gran valor y por tanto es uno de los primeros metales, para ser utilizado como medio de intercambio y para la acuñación de monedas, ocupando un lugar importante en los mercados financieros del mundo desde su utilización. (Medina, Mejía, 2020)

### 7.2. Propiedades

La plata es un metal precioso por ser un metal brillante, resistente, dúctil y maleable, posee el color blanco óptico reflectante más alto y su conductividad

térmica y eléctrica es la más alta, al someterse a pulimiento presente un brillo blanco metálico. Es un metal pesado. Es un elemento escaso en la naturaleza, presentando una concentración una parte en diez millones en la corteza terrestre (Medina, Mejía, 2020).

### **7.2.1. Propiedades físicas y químicas**

Nombre: plata, símbolo: Ag, color: blanco, Dureza (Mohs): 2.5-3.0, Maleabilidad y ductilidad: menos que el oro, Número atómico: 47, Valencia: 1, Estado de oxidación: +1, Electronegatividad: 1.9, Radio iónico (nm): 0.126, radio atómico (nm): 0.144, masa atómica (g/mol): 107.87, Densidad (g/cm<sup>3</sup>): 10.5, Punto de fusión (°C): 962, punto de ebullición (°C) 2,212 (Medina, Mejía, 2020).

Forma aleaciones con la mayoría de los metales, se obtiene por proceso de amalgamación, cianuración, piroquímico, copelación, y electrolisis (Medina, Mejía, 2020).

### **7.3. Usos**

Aproximadamente de del total de la demanda mundial de plata el 70 % se utiliza con fines monetarios, otra parte en orfebrería, y menores cantidades en la industria fotográfica, química y eléctrica. Sus principales aplicaciones son en la fabricación de monedas, medallas aplicaciones industriales, joyería y platería (Medina, Mejía, 2020).

### **7.4. Ensayos al fuego**

Según Bugbee (1991), lo que se pretende con este método es el de coleccionar el oro y plata, utilizando plomo líquido a una temperatura de fundición de entre 900 y 1000 grados centígrados. Los ensayos al fuego tienen como

objetivo determinar cuantitativamente el oro y la plata; el oro y la plata se separan de sus impurezas durante el proceso de fusión, posteriormente viene el proceso de copelación; el cual consiste en la oxidación del plomo que contiene el oro y plata presente, paralelamente al proceso de oxidación ocurre la separación del dore (aleación de oro y plata con forma esférica), se pesa el producto para determinar la cantidad de oro y plata presente en la muestra.

El método de ensayo al fuego es un método con varios siglos de antigüedad, pero aún se utiliza, debido a que es uno de los métodos más confiables para la determinación del contenido de oro y plata en un mineral. En el proceso de ensayos al fuego consta de las siguientes etapas:

#### **7.4.1. Etapa de fundición**

Bugbee (1991), indica que la fusión se realiza en una mufla a una temperatura de 1 000 grados centígrados, durante una hora, dependiendo de la matriz del mineral se utilizan reductores y oxidantes que se adicionan al mineral contenido en un crisol, con el objetivo de reducir el punto de fusión del mineral que contiene los metales deseados. Producto del proceso de fundición se obtiene un botón de plomo que contiene una aleación de plomo, oro y plata.

#### **7.4.2. Etapa de copelación**

Bugbee (1991) dice que en esta etapa el botón de plomo conteniendo oro y plata, se introduce en una copela, está basado en las propiedades del oro y la plata, de ser inoxidable a una alta temperatura. Lo que se busca es separar el oro y la plata metálicos del plomo. Y obtener el doré, que es una aleación de oro y plata. La copela conteniendo el botón de plomo se introduce en un horno a altas temperaturas de 1200 a 1300 °C, en este punto es donde el plomo se oxida y al mismo tiempo se absorbe en la copela con el transcurrir del tiempo.

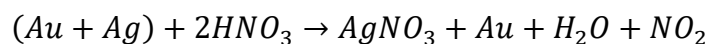
El proceso de oxidación y absorción del plomo se dan hasta el instante en el cual el oro y la plata forman un botón brillante libre de plomo, en ese mismo instante el botón pasa del estado líquido al estado sólido.

La copelación es uno de los puntos más importantes en los ensayos al fuego, ya que en este proceso se oxida el plomo e impurezas contenidas en el mineral el plomo pasa de plomo a óxido de plomo. Es necesario mantener una temperatura y adecuada y constante para poder absorber en la copela el 98.5 % de plomo, el 1.5 % restante se volatiliza. Finalmente, producto del proceso de copelación se obtiene un botón brillante llamado doré, formado por metales no oxidables oro y plata.

#### **7.4.3. Etapa de separación**

Bugbee (1991) señala que una vez obtenido el doré, se realiza una digestión de la plata en aleación, para poder obtener la cantidad de oro contenida en la muestra.

Se inicia el proceso llevando el doré a un yunque en donde se aumenta su área superficial mediante pequeños golpes con un martillo para lograr una laminación. Una vez expandida el área de contacto se realiza la digestión, se coloca el doré en un crisol de porcelana, y se adiciona ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) en dilución 1:5 al doré, se calienta el crisol de porcelana sin que el ácido llegué a ebullición, el proceso se detiene hasta disolver toda la plata presente. La reacción química en este proceso es la siguiente:

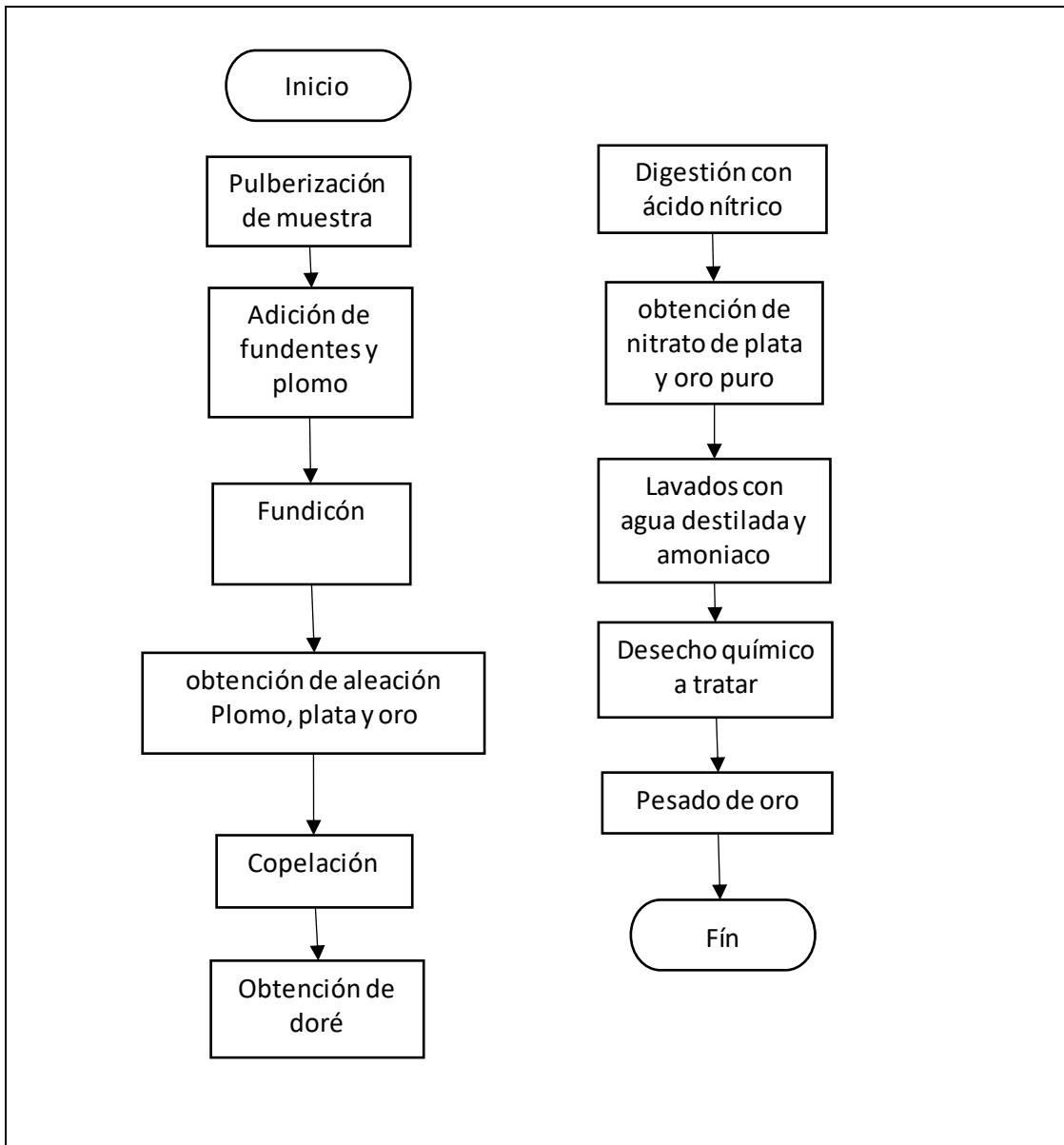


#### **7.4.4. Proceso de pesaje**

Bugbee (1991) indica que esta es la etapa final y más importante, ya que en esta etapa se evidencia la calidad con que fue realizado todo el proceso de ensayos al fuego. Luego de obtener el botón de oro puro, se procede a determinar su peso al pesarlo en una micro balanza, la cual tiene una precisión y exactitud muy altas, el peso se reporta en gramos por tonelada. La dificultad que radica en esta etapa es que en algunos análisis se obtiene un botón muy pequeño y es muy difícil su visualización y manipulación, por lo que se debe utilizar una mayor iluminación, además de una lupa y pinzas para su mejor manipulación.

Si el análisis se realiza por espectrofotometría, el oro se diluye en agua regia en tubos de ensayo, se diluye, y posteriormente se analiza el resultado en el espectrofotómetro de absorción atómica. A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso:

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de ensayos al fuego



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Visio.

## **7.5. Análisis cuantitativo**

El análisis químico cuantitativo se enfoca en el estudio de las disoluciones y detectar la naturaleza y concentración de los compuestos presentes en la mezcla. Este tipo de análisis es indispensable en una amplia gama de industrias que influyen en la economía como lo son: la agricultura, alimentos, medicamentos, minería, metalurgia, suministro de agua, aprovechamiento de desperdicios, productos manufacturados, de infinitas variedades. (Christian, 2009)

### **7.5.1. Métodos de análisis cuantitativo**

Existen variedad de aspectos a los que se enfoca el análisis cuantitativo, enfocándose en los materiales analizados, el tipo de métodos que se utilizan, o proporción del componente que se busca determinar en una muestra (Christian, 2009).

Existen análisis orgánicos y análisis inorgánicos, también análisis parciales en los que se únicamente se determina un componente de la muestra, también análisis completo en el que se determina la totalidad de compuestos mediante ensayos sensibles (Ayres, 1970).

En el análisis cuantitativo existen métodos que se pueden clasificar por el método de medida utilizado. Si se desea determinar una sustancia, y existen varios métodos para poder determinar su concentración, los principios para la elección del método serian considerar el número de muestras a tratar, el intervalo de variación del contenido del constituyente a determinar en la muestra, y el tiempo necesario (Ayres, 1970)



En forma general los métodos volumétricos (trímetricos) y colorimétricos son más rápidos que los gravimétricos. Si se necesita analizar solamente unas cuantas muestras quizá el método gravimétrico sea más breve, normalmente es más tedioso (Ayres, 1970).

Existen diversos principios para clasificar los métodos, instrumentales y no instrumentales, químicos y no químicos, sin embargo, en cada uno de ellos se utilizan instrumentos de medida y cambios químicos previos antes de un análisis físico. Por ello existen métodos que abarcan varios de esos principios como lo son los métodos gravimétricos, los métodos volumétricos y métodos fisicoquímicos (Ayres, 1970).

### **7.5.2. Métodos gravimétricos**

En estos métodos la cantidad de sustancia buscada se cuantifica mediante la medición del peso de la propia sustancia pura, o de algún compuesto químico que la contiene o es equivalente químicamente a ella mediante un factor gravimétrico (Harriss, 2007).

Existen varios tipos de métodos gravimétricos que son:

Precipitación: el constituyente que se busca es determinado al obtenerse como producto insoluble de una reacción química de precipitación, este método es químico ya que están implicadas reacciones estequiométricas definidas. Como ejemplo se puede mencionar la determinación de cloruro por precipitación como cloruro de plata, cuyo peso es el que se determina (Ayres, 1970).

- Electrodeposición: el fenómeno químico de electrólisis da lugar a la separación de un producto sólido en un electrodo, como, por ejemplo, en

la determinación electrolítica de cobre (Ayres, 1970).

- Volatilización: el método puede ser clasificado como físico, como en la pérdida de peso por desecación en una estufa, o también químico, como es la expulsión del dióxido de carbono de los carbonatos por calcinación o por la acción de un ácido. La medida en este método puede ser directa al determinar el aumento de peso de un absorbente del constituyente volátil, o indirecta, por determinación de la pérdida de peso (Ayres, 1970).

### **7.5.3. Métodos volumétricos**

Para determinar la concentración del componente estudiado mediante estos métodos, se realiza la medida de volumen de una fase relacionada cuantitativamente con el constituyente buscado. Existen tres tipos de análisis volumétricos que son: método tritrimétricos, métodos gasométricos, y medir el volumen final del producto de alguna reacción (Ayres, 1970).

En este método se mide una propiedad del sistema observado, esta propiedad está relacionada cuantitativamente con la cantidad de constituyente que se determina en la muestra que deriva del sistema. Este tipo de método precisa de calibración, contra patrones. Gran cantidad de estos métodos tienen sus fundamentos en fenómenos ópticos o eléctricos (Ayres, 1970).

### **7.6. Reacciones iónicas**

La mayor parte del análisis inorgánico de análisis cuantitativo se da entre sustancias, que existen como electrólitos o inógenos, dicho de otra forma, se estudian las reacciones entre ácidos, bases y sales que en disolución dan iones con carga eléctrica (Ayres, 1970).

Los ácidos, las bases y las sales disueltos en un disolvente adecuado (el agua es el disolvente más común e importante), están disociados en unidades elementales llamadas iones. Los ácidos en solución generan un decremento del pH, por aumento de la concentración del ion  $H^+$ , las bases en solución generan un aumento del pH por aumento de la concentración del ion  $[OH]^-$ , en tanto las sales dan iones positivos y negativos distintos a los anteriores, ejemplo: el cloruro de sodio (NaCl) que da iones positivos y negativos  $Na^+$  y  $Cl^-$  (Ayres, 1970).

Los iones poseen carga eléctrica, y una disolución que contenga iones conduce la corriente eléctrica, de aquí deriva el nombre de electrólito. Regularmente en una reacción de electrolisis se tiene iones que viajan o emigran hacia el ánodo (electrodo positivo), poseen carga negativa y se llaman aniones, y los que emigran hacia el cátodo (electrodo negativo), están cargados positivamente y se llaman cationes. Los iones en solución pueden estar formados de un átomo cargado llamados iones simples ejemplo:  $Ag^+$ ,  $Cu^{++}$ ,  $Cl^-$ , o por varios átomos llamados compuestos ejemplo:  $UO_2^{++}$ ,  $SO^{--}$ ,  $PO_4^{--}$  o complejos como  $[Ag(NH_3)_2]^+$ ,  $[Cd(CN)_4]^{--}$  (Ayres, 1970).

La ionización es un proceso que se comporta de acuerdo a un equilibrio reversible, es decir en la disociación se puede dar el proceso inverso, por ejemplo, al momento de darse la sobresaturación (Ayres, 1970).

No todos los ionógenos poseen el mismo grado o extensión de la ionización. El grado o extensión de la ionización aumenta si se diluye la disolución; todos los electrólitos se consideran completamente ionizados a dilución infinita. Cada ion tiene sus propiedades físicas y químicas propias. Todos los iones poseen sus propiedades físicas y químicas propias (Brown, LeMay, Bursten, 2004).

## 7.7. Conceptos de la ionización

El núcleo de un átomo no cambia en las reacciones químicas, pero los átomos pueden ganar o perder electrones con facilidad; cuando un átomo gana o pierde electrones se forma una partícula con carga positiva o negativa llamada ion (Brown, LeMay, Bursten, 2004).

### 7.7.1. Concepto moderno

En el cloruro de sólido, los átomos están unidas por enlaces iónicos, esto indica que los iones ya están presentes en los sólidos y se mantienen en un orden geométrico regular y repetido, solución acuosa los iones están más libres y separados entre sí con la característica de poseer capacidad de conducir la electricidad (Brown, LeMay, Bursten, 2004).

La teoría de Debye-Huckel, supone que los electrolitos fuertes en disolución de concentración media están totalmente ionizados y que las desviaciones al comportamiento ideal, es causado por iones de carga opuesta, y por moléculas del disolvente que rodean a cada ion. Al aumentar la dilución, la nube densa de iones de carga opuesta disminuye su influencia y es menos pronunciada (Brown, LeMay, Bursten, 2004).

Los iones en disolución están solvatados o hidratados si el agua es el disolvente, de esta forma se va generando una red alrededor del ion, quien interactúa con las moléculas de solvente al verse atraído por la carga eléctrica parcial de la molécula del solvente (Brown, LeMay, Bursten, 2004).

Así el ion  $H^+$ , no puede existir en el agua como un protón sencillo, sino que este se asocia a moléculas de agua y puede representarse como  $H(H_2O)_n^+$ ,

pudiendo ser  $n$  muy grande (Brown, LeMay, Bursten, 2004).

El protón que se hidrata se representa con frecuencia por  $H_3O^+$  (ion hidronio), indicando que solo una molécula de agua está asociada con el protón (Brown, LeMay, Bursten, 2004).

### **7.7.2. Concepto moderno de ácidos y bases**

El concepto de Arrhenius de ácidos y bases ha sido considerablemente ampliado y modificado para incluir en él sustancias que no eran consideradas como ácidos y bases en la teoría original (Harris, 2007).

### **7.7.3. Concepto de Bronsted-Lowry**

En este sistema un ácido es un donador de protones y una base es un receptor de protones. Una reacción ácido-base consiste en una transferencia de un protón desde un ácido a una base, con formación de un nuevo ácido y de una nueva base. Las moléculas del medio disolvente actúan como ácido o como base (Brown, LeMay, Bursten, 2004).

### **7.7.4. Concepto de Lewis**

Según el concepto de Lewis, una base es una sustancia que tiene un par de electrones no compartidos, que puede ceder; un ácido es toda sustancia que puede aceptar un par de electrones. Las reacciones ácido-base es, por lo tanto, la donación de un par de electrones que un átomo hace a otro; el producto de la reacción se denomina aducto. En la teoría de Lewis, los ácidos son iones positivos o moléculas que contienen un octeto de electrones incompleto; las bases de Lewis están representadas por los iones negativos y las moléculas que

contengan uno o dos pares de electrones sin compartir (Ayres, 1970).

### **7.7.5. Ajuste de ecuaciones**

Las reacciones químicas se indican escribiendo una ecuación que la represente. Las ecuaciones químicas deben de cumplir los siguientes requisitos:

Debe de representar los hechos químicos. En un principio, esta información se determinó de forma experimental al observar que algunas sustancias, cuando reaccionaban en determinadas condiciones, daban siempre unos productos determinados, los cuales eran determinados por análisis. Al conocer las propiedades de las sustancias implicadas, puede deducirse el esquema de la reacción sin necesidad de realizarla de forma experimental. Naturalmente, reactivos y productos formados deben representarse mediante fórmulas correctas (Brown, LeMay, Bursten, 2004).

Deben existir los mismos átomos en calidad y número en los reactivos y en los productos de la reacción; esto es, debe hacerse un balance de las reacciones, esto está implícito al utilizar la palabra ecuación. El ajuste de la reacción en esquema se consigue mediante coeficientes estequiométricos apropiados que indiquen el número de moléculas o pesos fórmula de sustancias que reaccionan y sustancias que se producen. La ecuación balanceada o ajustada indica la estequiometría en la reacción que tiene lugar (Ayres, 1970).

Al escribir en forma iónica, la ecuación debe presentar también igualdad de las cargas iónicas; es decir, al sumar algebraicamente las cargas de los reactivos, esta debe ser igual a la suma de las cargas de los productos obtenidos (Ayres, 1970).

Si la reacción implicada es una óxido-reducción (redox), la ecuación debe representar también igualdad en los electrones transferidos (Ayres, 1970).

Casi todas las reacciones de la química analítica inorgánica tienen lugar entre iones en disolución; por esta razón las reacciones deben representarse mediante ecuaciones iónicas. Estas reacciones presentan la ventaja de que indican con total claridad las sustancias implicadas en la reacción; son más sencillas y claras que las correspondientes ecuaciones moleculares (Brown, eMay, Bursten, 2004).

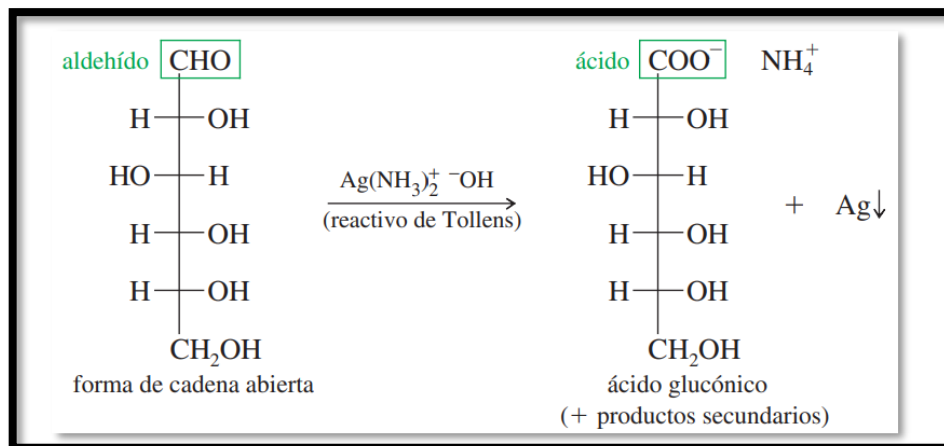
## **7.8. Metodologías de análisis cuantitativos para la determinación de plata**

Existen varias metodologías analíticas para la determinación de plata en solución acuosa, una de ellas es el reactivo de Tollens, dicha metodología se basa en la reducción de la plata con glucosa. También está la determinación de plata por gravimetría mediante la precipitación del metal con el ion cloro (Brown, eMay, Bursten, 2004).

### **7.8.1. El reactivo de Tollens**

Según Fessenden y Fessenden, (1983) el reactivo de Tollens (solución alcalina de un complejo plata-amoniaco) se utiliza como prueba para aldehídos. El aldehído se oxida a anión carboxilato-, la  $Ag^+$ , en el reactivo de Tollens se reduce a plata metálica. Si la prueba es positiva aparece un espejo de plata sobre las paredes del tubo de ensayo. Algunos de espejos se fabrican de esta forma. La reacción es la que se muestra en la figura tres.

Figura 3. **Oxidación de una glucosa mediante la reducción del catión  $\text{Ag}^+$**



Fuente: Wade, (2011), *Química Orgánica*)

En la figura 4 se puede observar la formación del espejo de plata en un matraz aforado:

Figura 4. **Espejo de plata Producido por la reacción de plata con glucosa.**

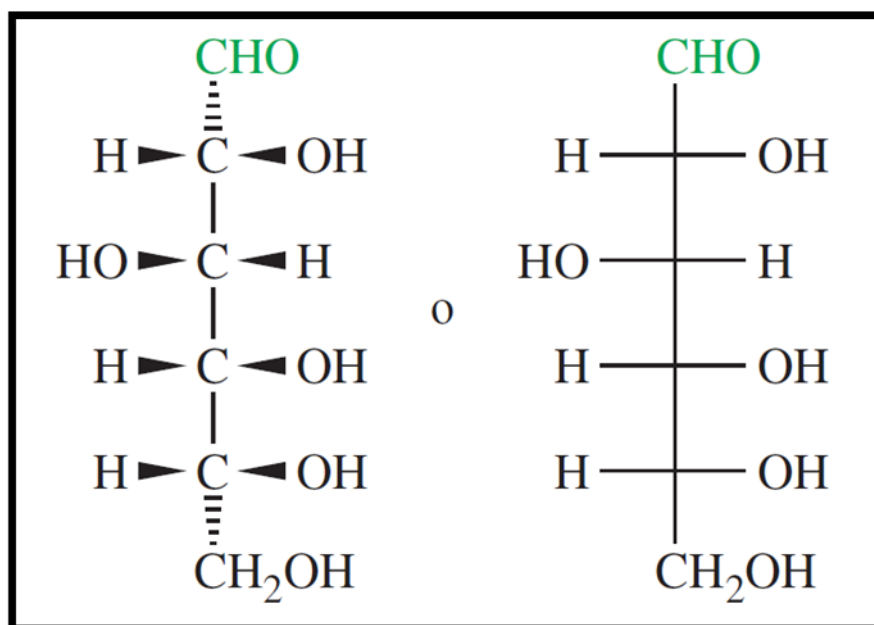


Fuente: Wade, (2012), *Química Orgánica*)



Según Wade (2012), los monosacáridos, o azúcares sencillos, son carbohidratos que no pueden hidrolizarse a compuestos más sencillos. La glucosa es un polihidroxialdehído y la fructosa es una polihidroxicetona. A los polihidroxialdehídos se les llama aldosas (ald-es por aldehído y -osa es por el sufijo para un azúcar). La proyección de Fisher fue desarrollada originalmente por Emil Fisher, un químico de carbohidratos que recibió el premio Nobel por su comprobación de la estructura de la glucosa. Desarrolló esta notación abreviada para dibujar y comparar las estructuras de los azúcares de manera rápida y sencilla. En la siguiente figura se muestra la proyección de Fisher para la glucosa o aldosa en las que el carbono del aldehído es el más altamente oxidado (y numerado 1 en la nomenclatura IUPAC), por lo que siempre está en la parte superior de la proyección de Fisher. La glucosa es una aldosa (un azúcar con un grupo aldehído). En la figura 5 se puede observar la proyección de Fisher para la glucosa.

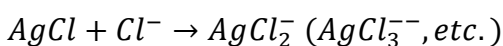
Figura 5 **Proyección de Fisher para la glucosa**



Fuente: Wade, (2012), *Química Orgánica*

### 7.8.2. Cuantificación de plata por gravimetría

En la determinación de plata con cloruro concurren las mismas circunstancias generales y las mismas fuentes de error que en la determinación inversa. El reactivo precipitante es el ácido clorhídrico, cuyo ion hidrógeno realiza la misma función que el ácido nítrico en la determinación del cloruro, evitando la precipitación de las sales de plata de los aniones de ácidos débiles, manteniendo coagulado el precipitado y evitando su peptización en el lavado. Se debe utilizar en pequeño exceso de ácido clorhídrico para hacer disminuir la solubilidad del cloruro de plata por efecto del ion común. Debe evitarse un gran exceso que haría aumentar la solubilidad del precipitado por formación de complejos solubles clorurados de plata (Harriss, 2007).



En la siguiente tabla se indica la solubilidad del cloruro de plata en disoluciones de ácido clorhídrico de diversas concentraciones, se incluya también en ella, a efectos comparativos, la solubilidad en agua. (Ayres, 1970)

Tabla I. Solubilidad del cloruro de plata en disoluciones de cloruro a 25 °C

Concentración de HCl (mol/l)	Solubilidad de AgCl (mg/l)	Concentración de NaCl (mol/l)	Solubilidad de AgCl (mg/l)
Agua	1.9	Agua	1.9
0.01	0.002	0.004	0.1
0.05	0.003	0.036	0.27
0.1	55	0.50	4
		1.93	56

Fuente: Ayres, (1977), *Análisis químico cuantitativo*.



## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTADO DE SIMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Propiedades de la plata (Ag)

2.1.1 Historia

2.1.2 Propiedades

2.1.3 Propiedades Físicas y Químicas

2.2 Ensayos al Fuego

2.2.1 Etapa de fundición

2.2.2 Etapa de copelación

2.2.3 Etapa de separación

2.2.4 Proceso de pesaje

2.3 Análisis Cuantitativo

2.3.1 Métodos de análisis cuantitativo

2.3.2 Métodos Gravimétricos

2.3.3 Métodos Volumétricos

- 2.4 Reacciones iónicas
- 2.5 Conceptos de la ionización
  - 2.5.1 Concepto moderno
  - 2.5.2 Concepto Moderno De Ácidos Y Bases
  - 2.5.3 Concepto de Bronsted-Lowry
  - 2.5.4 Concepto de Lewis
- 2.6 Ajuste de Ecuaciones
- 2.7 Metodologías de análisis cuantitativos para la determinación de plata
  - 2.7.1 El reactivo de Tollens
  - 2.7.2 Cuantificación de plata Por Gravimetría

### 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Diseño**

El tipo de diseño para esta investigación es un diseño experimental participativo, ya que se trabajará en el laboratorio de control de calidad de la empresa minera. La experimentación se basará en metodologías de cuantificación mediante reducción y purificación mediante fundición. Donde se tendrá variables dependientes y variables independientes. Los resultados obtenidos se obtendrán mediante la variación de las variables independientes.

### **9.2. Tipo de estudio**

El tipo de estudio de la presente investigación es de tipo cuantitativo ya que se evaluarán variables cuantitativas como la concentración (g/ml) de plata en el desecho, los gramos de plata recuperada, y el porcentaje de recuperación de plata mediante la metodología propuesta.

### **9.3. Alcance**

El tipo de alcance es correlacional debido a que se, determinará la concentración de plata en la muestra, también se cuantificarán los gramos de plata recuperada, además se determinará el porcentaje de recuperación y el porcentaje de pureza de la plata recuperada en función de la concentración del agente oxidante que es la glucosa.

## 9.4. Variables

- Dependientes

Concentración de plata en la muestra gramos de plata recuperada, porcentaje de recuperación, pureza de plata.

- Independientes

Concentración de glucosa, Concentración de ácido nítrico, concentración de solución de NaCl, temperatura y tiempo de fundición.

### 9.4.1. Operacionalización de variables

Tabla II. Operacionalización de variables

Objetivo específico	Nombre de la variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica o Instrumento
1. Cuantificar la concentración de plata que contiene el desecho del laboratorio	Cuantificación de la concentración de plata.	Cuantitativa	Concentración de plata en la muestra (g/ml)	Técnica de reducción con glucosa. Tabla de recolección y de tabulación datos
2. Calcular el porcentaje de recuperación de plata que se obtiene mediante el proceso de reducción.	Porcentaje de recuperación de plata.	Cuantitativa	Colocar la fórmula.	Precipitación Tabla de recolección y de tabulación datos

Continuación Tabla II.

3. Determinar la pureza de la plata obtenida	Pureza de la plata	Cuantitativa	Temperatura de fusión  color, aparición, viscosidad densidad,	Determinación del punto de fusión.  Análisis de inspección visual.  Tabla de recolección y de tabulación datos.
--	--------------------	--------------	--	---

Fuente: elaboración propia.

## 9.5. Fases del estudio

Se describirán a continuación cuatro fases del estudio.

### 9.5.1. Fase 1. Revisión Documental

La revisión documental incluye la investigación de los antecedentes que servirán de referencia para conocer el estado del arte del tema de investigación. También incluye la revisión bibliográfica para la realización del marco teórico que servirá de sustento teórico para la interpretación de los resultados.

Para el trabajo de laboratorio se necesita materiales, equipo y cristalería que se detallan a continuación:

- Materiales, equipo y cristalería:

Muestreador de líquidos, soporte universal, pinzas de sujeción, bomba de vacío, Kitasato, plancha de calentamiento, agitador magnético, balanza analítica, espátula, vidrio de reloj balón aforado de 100 ml, pipeta volumétrica de 1, 5 y



10 ml, pipeta serológica de 10 ml, bureta de 25 ml, termómetro, Beacker de 250 ml, Erlenmeyer de 250 ml, micropipeta.

- Reactivos:

Hidróxido de sodio, amoniaco al 25 %, glucosa, ácido nítrico, cloruro de sodio.

### **9.5.2. Fase 2: Cuantificar la concentración de plata**

La cuantificación se realizará mediante la metodología del reactivo de Tollens. Esta metodología costa de varias etapas las cuales se detallan a continuación.

Procedimiento:

- Preparar 100 ml de soluciones de NaOH 0.1M, solución amoniacal al 25 %, glucosa al 15 %, solución de ácido nítrico 0.2 M, cloruro de sodio NaCl 0.1 M.
- Tomar una muestra de 300 ml del desecho químico con ayuda de un muestreador de líquidos, a tres diferentes alturas (superficie, medio y fondo). y transferirlo a un beacker de 1000 ml, someter la muestra a agitación constante.
- Agregar 1 ml de NaOH 0.1 M y agitar vigorosamente.
- Tarar un balón de 100 ml y anotar su peso en gramos.

- Con una micropipeta agregar gota a gota la solución amoniaca hasta la digestión completa del precipitado marrón (en este punto ya se tiene en solución el complejo activado diamina plata. Transferir la mezcla al balón aforado de 100 ml.
- Agregar 25 ml de solución de glucosa al 15 %. Agitar vigorosamente hasta observar un espejo de plata adherido a las paredes del balón. Descartar el líquido en un recipiente cerrado, medir pH, y neutralizar con bicarbonato de sodio.
- Dejar secar el balón con el espejo de plata hasta que ya no se observe líquido en su interior.
- Pesarse el balón y calcular el contenido de plata (peso final menos peso inicial) en la muestra en (g).

### **9.5.3. Fase 3: Determinación del porcentaje de recuperación**

- Al balón que contiene la plata en sus paredes, agregar 25 ml de solución de ácido nítrico 0.2 M agitar vigorosamente hasta disolver la plata para retirarla del balón, se tendrá nitrato de plata en solución.
- Trasladar el contenido del balón a un Erlenmeyer de 250 ml.
- Preparar un equipo de titulación y titular el nitrato de plata con la solución de cloruro de sodio NaCl hasta obtener un precipitado blanco, detener la titulación cuando se agregue la cantidad de cloruro equivalente al peso de plata obtenida en el paso h.

- Armar el kit de filtración y filtrar con papel filtro el precipitado, seguido realizar tres lavados con ácido nítrico 0.2 M.
- Agregar de nuevo NaCl a las aguas de lavado hasta que no se observe la formación del precipitado blanco, si se forma el precipitado blanco, filtrar de nuevo, y proceder a lavar con ácido nítrico 0.2 M.
- Con ayuda de una plancha de calentamiento, secar el precipitado a 80 °C durante 30 minutos.
- Agregar el precipitado junto con los fundentes a un crisol de fundición e introducir el crisol con la muestra a una mufla precalentada a 1200 °C.
- Fundir el precipitado para obtener plata metálica, dejar enfriar en un desecador por 3 horas.
- Pesarse la plata obtenida y anotar su peso en gramos.
- Determinar el porcentaje de recuperación mediante la relación del peso obtenido dividido entre el peso de la plata determinada en la fase dos, multiplicar por cien para obtener el resultado en porcentaje.

#### **9.5.4. Fase 4: Determinación de la pureza de la plata obtenida por reducción**

Determinar la pureza de la plata mediante la relación cuantitativa del gasto de cloruro de sodio (NaCl). Para esta fase se realizará la comparación de cuanto cloruro de plata se necesita para precipitar 1 gramo de plata de pureza conocida, contra la cantidad necesaria de cloruro de sodio para precipitar 1 gramo de la

plata recuperada. Realizar la experimentación por triplicado y reportar el promedio de los valores obtenidos.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Obtenidos los datos del estudio se procederá a realizar un análisis estadístico de la información obtenida para poder inferir sobre los comportamientos de los datos. Para ello se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tablas de datos gasto de reactivos
- Tabla de resultados de gramos de plata/ml (solución)
- Tablas de resultados de porcentaje de recuperación de plata
- Tablas de resultados de porcentaje de recuperación de plata
- Pureza de la plata recuperada

Las herramientas estadísticas por utilizar serán:

Se utilizará la estadística descriptiva para caracterizar la población de datos, se realizará análisis de media, moda, desviación estándar, coeficiente de variación.

Para el análisis y tabulación de los datos se utilizará un procesador de texto y procesador de hojas electrónicas.

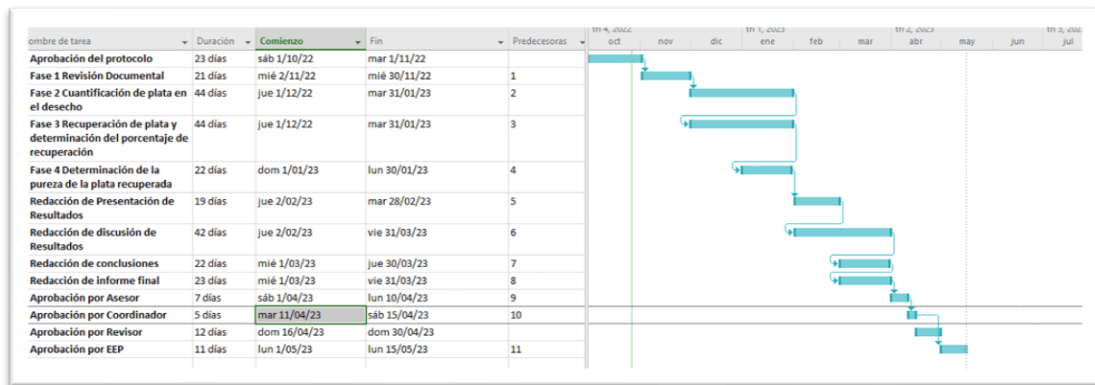
Tabla III. **Análisis de la información**

<b>Objetivo</b>	<b>Variable/Indicador</b>	<b>Tipo de presentación final (gráfica, tabla o descriptivo)</b>	<b>Tipo de análisis</b>
1. Cuantificar la concentración de plata que contiene el desecho del laboratorio	Cuantificación de la concentración de plata.	Tabla de resultados Gramos de plata/ml (solución)	Estadística Descriptiva
	Concentración de plata en la muestra (g/ml)		Promedio Desviación estándar Coeficiente de variación
2. Calcular el porcentaje de recuperación de plata que se obtiene mediante el proceso de reducción.	Porcentaje de recuperación de plata.	Tabla de resultados	Estadística descriptiva
	$\%rec. = (mgAg \text{ en solución} / mg \text{ Ag recuperados}) * 100$		Promedio Desviación estándar Coeficiente de variación
3. Determinar la pureza de la plata obtenida.	Pureza de la plata	Tabla de resultados	Estadística descriptiva
	Temperatura de fusión		Promedio Desviación estándar Coeficiente de variación

Fuente: elaboración propia.

## 11. CRONOGRAMA

Figura 6. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, elaborado con Microsoft Project.





## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos de la empresa donde se realizará el trabajo de investigación. Para la ejecución de la investigación se necesitarán los recursos que se presentan en la tabla IV.

Tabla IV. **Presupuesto**

<b>Costo de Reactivos</b>				
Reactivo	Unidad de medida	cantidad	Precio unitario	total
Nitrato de plata	Kilo	1	Q2800.00	Q2,800.00
Hidróxido de Sodio	kilo	1	Q60.00	Q60.00
Amoniaco	Kilo	1	Q64.00	Q64.00
Glucosa	Kilo	1	Q568.00	Q560.00
Tiocianato de potasio	Kilo	0.5	Q500.00	Q500.00
Indicador alumbre férrico	Kilo	1	Q6.60	Q5.60
Ácido Nítrico concentrado	Litro	2	Q600.00	Q1,200.00
Cloruro de Sodio	Kilo	1	Q3.20	Q3.20
Agua destilada	Garrafón	1	Q30.00	Q30.00
			<b>Subtotal</b>	<b>Q5,222.80</b>
<b>Recurso Humano, Recursos Tecnológicos</b>				
Recurso Humano	Asesor	1	Q2000.00	Q2,000.00
	Estudiante	1	0.00	
Recurso Tecnológico	Equipo de computo	1	Q.10,000.00	Q.10,500.00
	Impresora	1	Q. 500.00	
Transporte de muestras	Viaje	15	Q150.00	Q2,250.00
Impresión de protocolos	Unidad	1	Q50.00	Q250.00
Impresión de informe final	Unidad	1	Q60.00	Q300.00
			<b>Subtotal</b>	<b>Q.15,300.00</b>

Continuación Tabla IV.

<b>Cristalería especial</b>				
Nombre	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario	total
Filtros de papel de 0.2 micras	Unidad	3	Q250.00	Q750.00
Crisol Para fundición	Unidad	3	Q60.00	Q180.00
			Subtotal	Q.930.00
			<b>Total</b>	<b>Q21,752.8</b>

Fuente: elaboración propia.

Dado que se cuenta con los recursos necesarios para realizar la investigación se considera factible su ejecución.

### 13. REFERENCIAS

1. Ayres, G. (1970). *Análisis Químico Cuantitativo*. Madrid, España: Ediciones del Castillo S.A.
2. Bugbee, E. (1991). *A Textbook Of Fire Assaying*. Reno Nevada, Estados Unidos: Metallurgical Laboratory
3. Chang, R. (2002). *Química*. México: McGraw Hill.
4. Christian, G. (2009). *Química Analítica*. México: McGraw Hill.
5. Fessenden, R. y Fessenden, J. (1982). *Química Orgánica*. D.F., México: Grupo Editorial Iberoamérica.
6. Flaschka, H., Barnard, A. y Sturrock, P. (1982). *Química Analítica Cuantitativa*. D.F., México: Continental, S.A.
7. Garza Román, M. R. (2020). *Cianuración de Oro y Plata Asistida Con Glicina* (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma de Coahuila). Recuperada de <http://www.investigacionyposgrado.uadec.mx/site/wp-content/uploads/2021/03/G11-Marleth-Garza.pdf>
8. Harris, D. (2007). *Análisis Químico Cuantitativo*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.

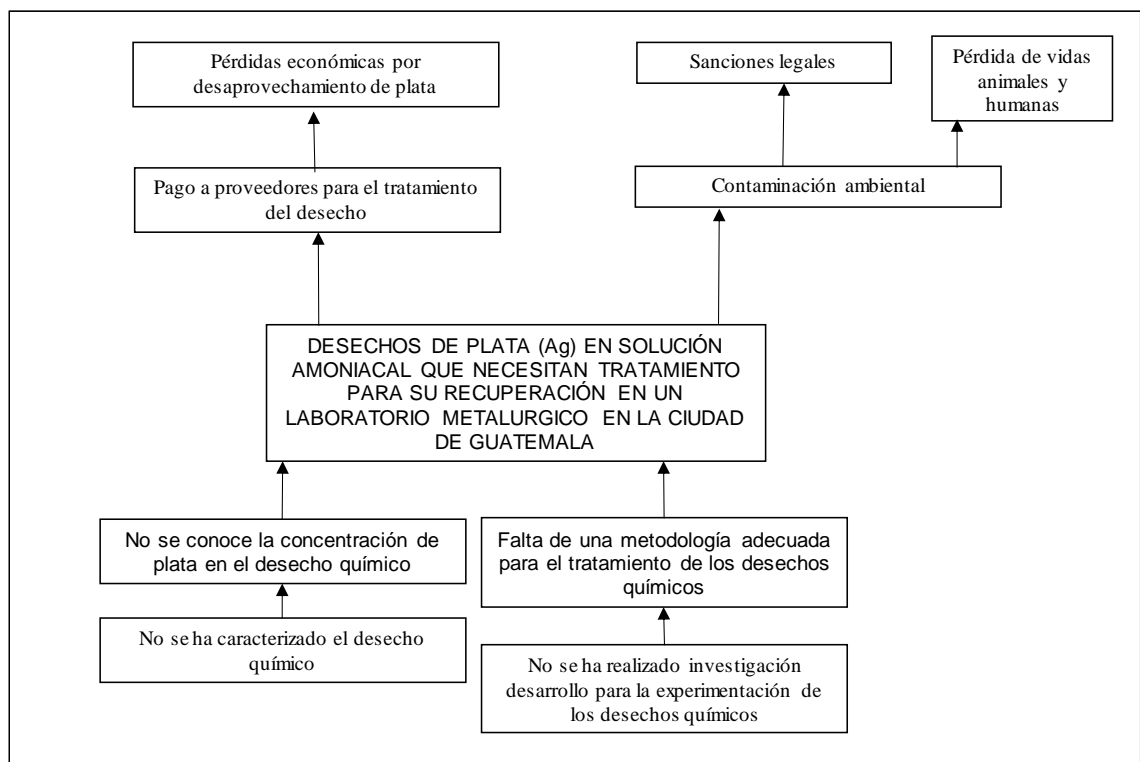
9. Hernández R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. Perú: McGraww Hill.
10. Brown, T., LeMay, H. y Bursten, B. (2004). *Química la Ciencia Central*. México: Pearson.
11. Montaña Silva, E. (2017). *Estudio Termodinámico y Cinético de la Recuperación de Oro y Plata en Soluciones Cianuradas Mediante el Proceso de Electrocoagulación* (Tesis de Maestría, Universidad de Sonora). Sonora México. Recuperado de <http://148.225.114.121/bitstream/unison/709/1/montanosilvaerickm.pdf>
12. Pujol Urban, F. y Sánchez Rodríguez, J. (2015). *Análisis Químicos*. Madrid, España: Síntesis. Recuperado de <https://www.sintesis.com/data/indices/9788490771433.pdf>
13. Ramos Hurtado, A. S. (2019). *Recuperación de Plata de los Relaves de Flotación Mediante Lixiviación de la Empresa Administradora Cerro SAC* (Tesis de Maestría), Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Recuperada de [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10852/Ramos\\_ha.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10852/Ramos_ha.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
14. Rodríguez Valles, D. I. (2016). *Evaluación de Metodología Alternas Para La Lixiviación de Plata De Jales Mineros Refractarios* (Tesis de Maestría), Instituto Politécnico Nacional. México. Recuperada de <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/24050>

15. Medina, P., y Mejía, M. (2002). *Monografía de la Plata (Ag)*. México: Recuperado de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/pdfs/Monografia%20PLATA.pdf>
16. Shriner, R. y Fuson, R. (1974). *Identificación Sistemática de Compuestos Organicos*. México: Limusa.
17. Vilcampoma, J.R. (2021). *Optimización de la Recuperación y Modelamiento de las Variables Operativas que Afectan el Circuito de Lixiviación Con Cianuro de la Planta de Procesamiento de Oro de Ares Utilizando un Modelo CCD* (Tesis de Maestría), Universidad Nacional del Centro Del Perú). Recuperado de [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6769/T010\\_43705712\\_M.pdf](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6769/T010_43705712_M.pdf)
18. Wade, L. (2004). *Química Orgánica*. Madrid, España: Pearson.



## 14. APÉNDICES

### Apéndice 1. Árbol de Problemas



Fuente: elaboración propia, elaborado con Microsoft Excel.




## Apéndice 2. Matriz de Coherencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS
DESECHOS DE PLATA (Ag) EN SOLUCIÓN AMONIAICAL QUE NECESITAN TRATAMIENTO PARA SU RECUPERACIÓN EN UN LABORATORIO METALURGICO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA	Cuantificar la concentración de plata que contiene el desecho del laboratorio	¿Cuál es la concentración de plata que contiene el desecho del laboratorio?	Técnica de reducción con glucosa.	Concentración de plata en la muestra (g/ml)
	Calcular el porcentaje de recuperación de plata que se obtiene mediante el proceso de reducción.	¿Qué porcentaje de recuperación de plata se obtiene mediante el proceso de reducción?	Precipitación	% De recuperación
	Determinar la pureza de la plata obtenida.	¿Cuál es la pureza de la plata que se obtiene luego de la recuperación?	Comparación de Estándar y muestra	Gramos de Cloruro de sodio gastados en estándar vs gramos de cloruro de sodio gastados en muestra

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Instrumento de Recolección de datos para la cuantificación de plata

Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Estudio de Postgrados Maestría en Gestión Industrial		Lugar y Fecha Hora		
				
<b>Instrumento de recolección de datos originales para la determinación de la concentración de plata</b>				
Instrucciones: Llenar la hoja de datos con lapicero azul, evitando tachones y borrones, anotando el gasto de reactivos				
Núm.	Nombre del Reactivo	Concentración	Gasto (mL)	Observaciones
1	Agua Destilada (H <sub>2</sub> O)	Pura		
2	Solución de hidróxido de sodio (NaOH)	0.1 M		
3	Solución de Hidróxido de amonio (NH <sub>4</sub> OH)	25%		
4	Solución de Glucosa 0.1 M	0.1M		
5	Solución de ácido nítrico concentrado	50%		
6	Solución de Cloruro de Sodio	0.5M		
7	Fundente Bórax (tetraborato de sodio) Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> *10H <sub>2</sub> O	Puro		
<b>Registro el peso de plata Recuperada después de la Reducción</b>				
Núm de medición.	Peso tara de Balón (g)	Tiempo de reacción (min)	Peso final de balón	Peso de plata recuperada (g)
1				
2				
3				
Observaciones				

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 4. Instrumento de Recolección de datos para el porcentaje de recuperación, y porcentaje de pureza**

Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de estudios de Post grado Maestría en gestión Industrial	Lugar y Fecha _____ Hora _____ Temperatura _____ P atm. _____																									
<p><b>Instrumento de recolección de datos originales para la determinación del porcentaje de recuperación y pureza de plata</b>                  Instrucciones: Llenar la hoja de datos con lapicero azul, evitando tachones y borrones, anotando el gasto de reactivos</p> <p><b>Precipitación de Ag<sup>+</sup> con solución de cloruro de sodio para obtener AgCl(s)</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Núm</th> <th style="width: 20%;">Gasto de NaCl 0.5M</th> <th style="width: 20%;">Tiempo de secado</th> <th style="width: 20%;">temperatura de secado (°C)</th> <th style="width: 30%;">Peso de precipitado (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td></tr> </tbody> </table>			Núm	Gasto de NaCl 0.5M	Tiempo de secado	temperatura de secado (°C)	Peso de precipitado (g)	1	_____	_____	_____	_____	2	_____	_____	_____	_____	3	_____	_____	_____	_____				
Núm	Gasto de NaCl 0.5M	Tiempo de secado	temperatura de secado (°C)	Peso de precipitado (g)																						
1	_____	_____	_____	_____																						
2	_____	_____	_____	_____																						
3	_____	_____	_____	_____																						
<p>Fundición del precipitado de Cloruro de plata (AgCl) para la recuperación de plata</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Núm de crisol</th> <th style="width: 20%;">Peso de fundente (g)</th> <th style="width: 20%;">Temperatura de fundición °C)</th> <th style="width: 10%;">Tiempo de Fundición</th> <th style="width: 15%;">Tiempo de Enfriamiento y solidificación</th> <th style="width: 25%;">Peso de plata desús del desmoldado (g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td><td>_____</td></tr> </tbody> </table> <p>observaciones _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>			Núm de crisol	Peso de fundente (g)	Temperatura de fundición °C)	Tiempo de Fundición	Tiempo de Enfriamiento y solidificación	Peso de plata desús del desmoldado (g)	1	_____	_____	_____	_____	_____	2	_____	_____	_____	_____	_____	3	_____	_____	_____	_____	_____
Núm de crisol	Peso de fundente (g)	Temperatura de fundición °C)	Tiempo de Fundición	Tiempo de Enfriamiento y solidificación	Peso de plata desús del desmoldado (g)																					
1	_____	_____	_____	_____	_____																					
2	_____	_____	_____	_____	_____																					
3	_____	_____	_____	_____	_____																					

Fuente: elaboración propia.