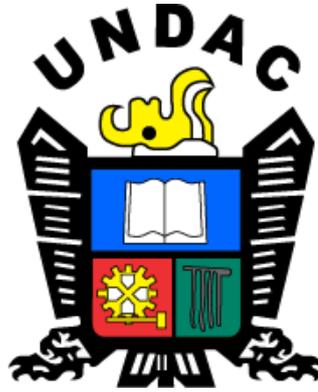


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Mejora en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos  
mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación  
en la compañía minera Ares SAC Arequipa**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Metalurgista**

**Autores:**

**Bach. Noemi Rosa HUAMAN MARCELO**

**Bach. Heyden Rai RAMOS GALINDO**

**Asesor:**

**Mg. Rebeca Hilda PEREZ BONILLA**

**Cerro de Pasco - Perú – 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Mejora en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos  
mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación  
en la compañía minera Ares SAC Arequipa**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

.....  
**Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL  
PRESIDENTE**

.....  
**Mg. José Elí CASTILLO MONTALVÁN  
MIEMBRO**

.....  
**Mg. Eusebio ROQUE HUAMÁN  
MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**

**Facultad de Ingeniería**

**Unidad de Investigación**

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 069-2024-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Mejora en la determinación de oro y plata en los minerales  
auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel  
de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC  
Arequipa**

Apellidos y nombres de los tesistas:

**Bach. HUAMAN MARCELO, Noemi Rosa  
Bach. RAMOS GALINDO, Heyden Rai**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Mg. PEREZ BONILLA, Rebeca Hilda**

Escuela de Formación Profesional  
**Ingeniería Metalúrgica**

Índice de Similitud

**15%**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 28 de febrero del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
**Luis Villar Requís Carbajal**  
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la sabiduría a mis padres:  
por forjar mi profesión y ser la razón de mi  
existencia.

## **AGRADECIMIENTO**

- A los trabajadores del Laboratorio de Metalurgia de la Compañía Minera Ares S.A.C. por brindarnos todo su apoyo en la presente investigación.
- Mis reconocimientos de gratitud a mis profesores de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, a mis colegas de aula con quienes compartimos momentos inolvidables.

## RESUMEN

Mejora de los procesos químicos analíticos involucrados en la metalurgia minera de oro y plata. Actualmente en el laboratorio de Compañía Minera Ares S.A.C. se realizan estudios metalúrgicos. En Arequipa, que en muchos casos está asociado al desarrollo de la industria minera y en particular al mejoramiento de la extracción de oro, la optimización y estandarización de sus métodos analíticos es fundamental para que este centro de investigación logre una mayor eficiencia experimental y obtenga datos más exactos y precisos.

Resultados. Datos fiables. El principal objetivo de este estudio es aumentar un sistema eficiente y ordenado, comprometidos con el control de diversos procesos metalúrgicos de extracción de oro y plata, tales como determinación en seco, determinación de oro y plata en soluciones de cianuro, determinación de sales solubles y acidez de minerales que contienen oro y plata.

Basado en métodos existentes y estándares de la ASTM. como resultado, cada uno de los métodos analíticos anteriores se ha mejorado para adaptarse a las condiciones del laboratorio. Los métodos de análisis químico utilizados para la caracterización físico-química de los minerales de oro y plata, así como los métodos de análisis físico-químico utilizados en el proceso de extracción metalúrgica de oro y plata, fueron revisados y mejorados sistemáticamente para brindar un mejor soporte y soporte técnico a la industria.

***Palabras clave:*** *Determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos, estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación.*

## ABSTRACT

Improvement of analytical chemical processes involved in gold and silver mining metallurgy. Metallurgical studies are currently being carried out in the laboratory of Compañía Minera Ares S.A.C. In Arequipa, which in many cases is associated with the development of the mining industry and in particular with the improvement of gold extraction, the optimization and standardization of its analytical methods is essential for this research center to achieve greater experimental efficiency and obtain more accurate and precise data.

Results. Reliable data. The main objective of this study is to increase an efficient and orderly system, committed to the control of various metallurgical processes of gold and silver extraction, such as dry determination, determination of gold and silver in cyanide solutions, determination of soluble salts and acidity of ores containing gold and silver.

Based on existing methods and ASTM standards. As a result, each of the above analytical methods has been improved to suit laboratory conditions. The chemical analytical methods used for the physicochemical characterization of gold and silver ores, as well as the physicochemical analytical methods used in the metallurgical extraction process of gold and silver, were systematically reviewed and improved to provide better support and technical support to the industry.

***Key words:*** *Determination of gold and silver in auroargentiferous ores, standardization of processes at the leaching laboratory level.*

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la minería en el Perú vive uno de sus mejores momentos gracias a la inversión. La industria minera no es inmune a estas inversiones y, debido al aumento de la extracción de minerales, también es necesario construir represas para evitar la contaminación ambiental.

Nuestro país cuenta con una gran cantidad de recursos naturales, muchos de los cuales son utilizados por una parte de la población para ganarse la vida. La minería es uno de estos recursos, y si bien las comunidades mineras lucran y se benefician de ella, no se pueden ocultar los problemas que surgen, principalmente problemas sociales y ambientales causados por prácticas mineras inapropiadas. Proporcionar a los mineros infraestructura, capacitación y apoyo.

Como estos problemas aquejan a la población minera a cargo del laboratorio, se realizó este estudio en los minerales de la empresa utilizando biohidrometalurgia para desarrollar un proyecto multidisciplinario para implementar un sistema que pueda mejorar la eficiencia del proceso mineral.

Con los recursos académicos de los profesionales, se pueden llevar a cabo estudios completos y detallados de caracterización de minerales de oro de depósitos de oro de grado 25, 35 y 30 basados en la caracterización mineralógica y fisicoquímica, así como en los resultados de la caracterización hidrometalúrgica. Se desarrollaron y propusieron procesos de recuperación de oro de grado de laboratorio, tablas de análisis químicos.

En relación con esta tesis, se estudió en detalle el análisis químico de minerales utilizados o aplicados en los procesos metalúrgicos de la minería del oro; Se intentó mejorar y adaptar estos procesos a las condiciones de laboratorio.

Para expresar la intención de la investigación manifiesto lo siguiente:

CAPÍTULO I: Planteamiento del problema, que toma en cuenta la descripción del problema, planteamiento del problema, objetivo del trabajo, hipótesis, variables y justificación e importancia del trabajo.

CAPÍTULO II: Marco teórico, justificación de la investigación, minerales de oro, procesos hidrometalúrgicos, métodos de análisis químico, fundamentos teóricos de la plata y desarrollo de hipótesis y sus variables.

CAPÍTULO III. Metodología y métodos de recolección de datos, la metodología utilizada para realizar el estudio es bien conocida y capaz de demostrar la factibilidad del estudio y obtener la información requerida para el análisis químico en una unidad de absorción atómica.

CAPÍTULO IV: Análisis y discusión de resultados. Este capítulo cubre el análisis cuantitativo de la espectroscopia de absorción atómica, la calibración de equipos, el control de la química analítica durante la recuperación hidrometalúrgica de oro y el análisis de muestras durante la adsorción activa. proceso.

Conclusiones y recomendaciones. Principalmente extraemos las conclusiones del estudio y proporcionamos recomendaciones para futuras investigaciones.

## **INDICE**

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

### **CAPÍTULO I**

#### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

1.1.	Identificación y determinación del problema .....	1
1.2.	Delimitación de la investigación .....	2
1.3.	Formulación del problema.....	2
1.4.	Formulación de objetivos .....	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	3
1.6.	Limitaciones de la investigación. ....	5

### **CAPÍTULO II**

#### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	Antecedentes de estudio .....	6
2.2.	Bases teóricas–científicas .....	9
2.3.	Definición de términos básicos .....	27
2.4.	Formulación de hipótesis.....	29
2.5.	Identificación de las variables .....	30
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores .....	31

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. Tipo de Investigación .....	32
3.2. Nivel de investigación .....	32
3.3. Métodos de investigación .....	32
3.4. Diseño de investigación.....	33
3.5. Población y muestra .....	34
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	34
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	34
3.8. Tratamiento estadístico.....	35
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica .....	35

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

- 4.1. Descripción del trabajo de campo
- 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados
- 4.3. Prueba de Hipótesis
- 4.4. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables .....	31
Tabla 2:Lecturas reportadas para la absorbancia de oro en el equipo de Absorción atómica Buck Scientific.....	43
Tabla 3:Valores promedios de absorbancia y concentración equipo de absorción atómica Buck Scientific .....	43
Tabla 4: Resultados de la calibración del equipo Buck Scientific para diferentes elementos.....	45
Tabla 5:Resultados de la calibración del equipo Perkin Elmer para diferentes elementos .....	46
Tabla 6: Peso medido para diferentes muestras de 500 ml de agua.....	48
Tabla 7:Resultados de la calibración de las micropipetas .....	49
Tabla 8: Detalles de las muestras utilizadas en el mejoramiento de la técnica de análisis .....	52
Tabla 9: Resultados primera serie de ensayos .....	54
Tabla 10:Resultados segunda serie de ensayos.....	54
Tabla 11:Resultados de la tercera serie de ensayos .....	54
Tabla 12:Resultados de la cuarta serie de ensayos .....	55
Tabla 13:Resultados primera serie de ensayos .....	55
Tabla 14:Resultados segunda serie de ensayos.....	56
Tabla 15:Resultados de la tercera serie de ensayos .....	56
Tabla 16:Resultados de la cuarta serie de ensayos .....	57
Tabla 17:Parámetros estadísticos primera serie de ensayos .....	57
Tabla 18:Parámetros estadísticos segunda serie de ensayos.....	58
Tabla 19:Parámetros estadísticos segunda serie de ensayos.....	58

Tabla 20:Parámetros estadísticos tercera serie de ensayos .....	59
Tabla 21:Parámetros estadísticos cuarta serie de ensayos .....	59
Tabla 22:Porcentajes de error de tenores de oro .....	61
Tabla 23:Porcentajes de exactitud de contenido de oro.....	63
Tabla 24:Rango y coeficiente de variación de las series de ensayos.....	64
Tabla 25:Parámetros prueba de la F.....	67
Tabla 26:Porcentajes de error de los dos métodos utilizados .....	67
Tabla 27:Resultados de la determinación de cianuro libre .....	69
Tabla 28:Contenidos de oro y de plata de las muestras de Mina Nivel 25.....	72
Tabla 29:Contenido de oro y de plata de las muestras de Mina Nivel 35 .....	72
Tabla 30:Contenidos de oro y de plata de las muestras de Mina Nivel 30.....	73
Tabla 31:Tipos tecnológicos de mena Mina Nivel 25 .....	74
Tabla 32:Tipos tecnológicos de mena Mina Nivel 35 .....	75
Tabla 33:Tipos tecnológicos de mena Mina Nivel 30 .....	75
Tabla 34:Peso de cada muestra para la conformación de los compósitos .....	76
Tabla 35:Contenido de oro y de plata de los tipos tecnológicos de mena .....	77
Tabla 36:Determinación cualitativa de sales solubles .....	79
Tabla 37:Valores de absorbancia patrones de hierro.....	80
Tabla 38:Concentración sales de hierro en los compósito.....	80
Tabla 39:Valores de absorbancia patrones de cobre .....	81
Tabla 40:Concentración sales de cobre en los compósito .....	82
Tabla 41:Valores de absorbancia patrones de zinc .....	82
Tabla 42:Concentración sales de zinc en los compósito.....	83
Tabla 43:Acidez de los diferentes compósitos.....	84
Tabla 44:Distribución granulométrica de oro y de plata en el compósito I.....	85

Tabla 45:Distribución granulométrica de oro y de plata en el compósito II .....	86
Tabla 46:Distribución granulométrica de oro y plata en el compósito III.....	86
Tabla 47:Distribución granulométrica de oro y plata en el compósito IV.....	86
Tabla 48:Distribución granulométrica de oro y plata en el compósito V .....	87
Tabla 49:Distribución granulométrica de oro y plata en el compósito VI.....	87
Tabla 50:Consumo de NaCN a una granulometría D80 100 Tyler.....	89
Tabla 51: Consumo de NaCN a una granulometría D80 200 Tyler.....	89
Tabla 52:Valores absorbancia de los patrones de oro .....	92
Tabla 53:Valores absorbancia de los patrones de oro .....	92
Tabla 54:Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK .....	94
Tabla 55:Valores de absorbancia de los patrones de oro .....	95
Tabla 56:Valores de absorvancia y concentración de Au en muestras con MIBK .....	96
Tabla 57:Valores de absorbancia de los patrones de oro .....	97
Tabla 58: Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK .....	98
Tabla 59:Valores de absorbancia de los patrones de oro (Duplicado).....	99
Tabla 60:Valores de absorbancia y concentración de oro (Duplicado).....	100
Tabla 61:Valores de absorbancia de los patrones de oro .....	101
Tabla 62:Valores de absorbancia de los patrones de oro .....	101
Tabla 63:Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK .....	103
Tabla 64:Valores de absorbancia de los patrones de oro .....	104
Tabla 65:Valores de absorbancia de los patrones de oro .....	104
Tabla 66: Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK ....	106
Tabla 67:Valores de absorbancia de los patrones de oro .....	108
Tabla 68:Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK .....	109

Tabla 69:Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK (Duplicado).....	109
Tabla 70:Resultados de absorbancia adición estándar muestra C4 $\lambda = 242,8\text{nm}$ .....	112
Tabla 71:Resultado de absorbancia adición estándar muestra C 4 $\lambda=267,6\text{nm}$ .....	113
Tabla 72:Resultados de absorbancia adición estándar muestra C4 $\lambda = 242,8\text{nm}$ .....	115
Tabla 73:Resultados de absorbancia adición estándar muestra C 4 $\lambda=267,6\text{nm}$ .....	116
Tabla 74:Valores de absorbancia patrones de oro Buck Scientific $\lambda=242,8\text{n}$ .....	117
Tabla 75:Valores de absorbancia patrones de oro Buck Scientific $\lambda=267,6\text{nm}$ .....	118
Tabla 76:Absorbancia promedio patrones de oro .....	120
Tabla 77:Absorbancia de los blancos .....	121
Tabla 78:Límite de detección y cuantificación equipo Buck Scientific .....	121
Tabla 79:Valores de absorbancia patrones de oro.....	122
Tabla 80:Valores de absorbancia y concentración muestras.....	123
Tabla 81:Valores de absorbancia patrones de oro.....	124
Tabla 82:Valores de absorbancia y concentración muestras.....	124
Tabla 83:Valores de absorbancia patrones de oro.....	126
Tabla 84:Valores de absorbancia y concentración de oro.....	127
Tabla 85:Valores de absorbancia y concentración de oro (Duplicado).....	128
Tabla 86:Valores de absorbancia y concentración de Au 200 mallas Tyler.....	129
Tabla 87:Valores de absorbancia y concentración de oro.....	130
Tabla 88:Valores de absorbancia y concentración de oro (Duplicado).....	131
Tabla 89:Porcentaje de disolución de oro a D80 100 Tyler.....	132
Tabla 90:Porcentaje de disolución de oro a D80 200 Tyler.....	132
Tabla 91:Valores de absorbancia patrones de oro.....	135
Tabla 92:Valores de absorbancia y concentración de oro.....	136

Tabla 93:Valores de absorbancia y concentración de oro (Duplicado).....	137
Tabla 94:Valores de absorbancia patrones de plata .....	138
Tabla 95:Valores de absorbancia y concentración de plata .....	139
Tabla 96:Valores de absorbancia y concentración de plata (Duplicado) .....	139
Tabla 97:Porcentaje de absorción de oro y plata sobre igual peso de carbón activado .....	141
Tabla 98:Valores de absorbancia patrones de oro.....	143
Tabla 99:Valores de absorbancia y concentración de oro .....	144
Tabla 100:Valores de absorbancia patrones de plata .....	145
Tabla 101:Valores de absorbancia y concentración de plata .....	146

## INDICE DE FIGURA

Figura 1: Curva de calibración para la determinación de oro en el equipo Buck Scientific .....	44
Figura 2: Porcentaje de error de las micropipetas .....	50
Figura 3: Esquema general de las técnicas de ensayo al fuego y absorción atómica para determinación de oro y plata en muestras minerales .....	51
Figura 4: Metodología seguida en la preparación de una muestra mineral para ensayo al fuego .....	53
Figura 5: Porcentaje de exactitud de las series de ensayos .....	60
Figura 6: Variación de los porcentajes de error con las series de ensayos .....	61
Figura 7: Variación del porcentaje de exactitud de los contenidos de oro con las series de ensayos .....	63
Figura 8: Coeficiente de variación de la serie de ensayos .....	65
Figura 9: Porcentajes de error de los dos métodos utilizados .....	68
Figura 10: Diagrama de flujo del proceso hidrometalúrgico de extracción aurífera, resaltando los análisis químicos involucrados .....	71
Figura 11: Metodología general de los análisis químicos .....	77
Figura 12: Contenido de oro y de plata de los diferentes tipos tecnológicos de mena .....	78
Figura 13: Curva patrón para la determinación de hierro .....	80
Figura 14: Curva patrón para la determinación de cobre .....	81
Figura 15: Curva patrón determinación de zinc .....	83
Figura 16: Acidez diferentes tipos tecnológicos de mena .....	84
Figura 17: Metodología general de las pruebas de cianuración .....	88
Figura 18: Consumo de NaCN a una granulometría D80 100 Tyler .....	90
Figura 19: Consumo de NaCN a una granulometría D80 200 Tyler .....	90

Figura 20:Curvas patrones para la determinación de oro .....	93
Figura 21:Curvas patrones para la determinación de oro .....	93
Figura 22:Curva patrón para la determinación de oro .....	95
Figura 23:Curva patrón determinación de oro.....	97
Figura 24:Curva patrón para la determinación de oro .....	100
Figura 25:Curvas patrones para la determinación de oro .....	102
Figura 26:Curvas patrones para la determinación de oro .....	102
Figura 27:Curvas patrones para la determinación de oro .....	105
Figura 28:Curvas patrones para la determinación de oro .....	105
Figura 29:Curva patrón para la determinación de oro .....	108
Figura 30:Adición estándar equipo Buck Scientific $\lambda = 242,8\text{nm}$ .....	113
Figura 31:Adición estándar equipo Buck Scientific $\lambda = 267,6\text{nm}$ .....	114
Figura 32:Adición estándar equipo Perkin Elmer $\lambda = 242,8\text{nm}$ .....	115
Figura 33:Adición estándar equipo Perkin Elmer $\lambda = 267,6\text{nm}$ .....	116
Figura 34:Linealidad del método equipo Buck Scientific $\lambda = 242,8\text{nm}$ .....	118
Figura 35:Linealidad del método equipo Buck Scientific $\lambda = 267,6\text{nm}$ .....	119
Figura 36:Curva patrón para la determinación de oro .....	120
Figura 37:Curva patrón para la determinación de oro .....	123
Figura 38:Curva patrón para la determinación de oro .....	124
Figura 39:Curva patrón para la determinación de oro .....	126
Figura 40:Porcentaje de disolución de oro a D80 100 Tyler .....	133
Figura 41:Porcentaje de disolución de oro a D80 200 Tyler .....	133
Figura 42:Curva patrón para la determinación de oro .....	136
Figura 43:Curva patrón para la determinación de plata .....	138
Figura 44:Porcentaje de adsorción de oro sobre igual peso de carbón activado Tipo I	141

Figura 45:Porcentaje de adsorción de plata sobre igual peso de carbón activado Tipo I .....	142
Figura 46:Curva patrón para la determinación de oro.....	143
Figura 47:Curva patrón para la determinación de plata .....	145

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Identificación y determinación del problema

En soluciones cianuradas, el oro y la plata pueden determinarse por absorción atómica aspirando directamente la solución. Las ventajas de este método son su bajo costo y su breve tiempo de ejecución. Los inconvenientes se derivan de su baja sensibilidad, en particular para el oro (límite de detección de 0,03 ug/ml), y de las interferencias causadas por la presencia de iones como el sodio, el hierro, el cobre, el níquel y el calcio, este último de los cuales da lugar a la formación de carbonato cálcico insoluble. Se requiere la filtración o centrifugación de la muestra para eliminar cualquier material insoluble, y la adición de EDTA al 0,1% a la solución puede prevenir la formación de carbonato cálcico. La determinación de oro en soluciones cianuradas puede llevarse a cabo oxidando el compuesto  $\text{AuCN}_2$  a  $\text{AuCl}_4$ .

Así tenemos el método gravimétrico de ensayo al fuego, para determinar oro en menas concentradas, la determinación volumétrica basada en la reducción

del ion del oro a oro metálico, a fluorescencia de rayos X, activación de neutrones y la absorción atómica que se realizan por espectros de absorción atómica.

Por tanto, teniendo varios métodos para la determinación del oro en diferentes minerales, se necesita saber cuál es el proceso de estandarización de los métodos de ensayo para la determinación de oro y plata a nivel laboratorio de minerales auroargentíferos.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

Esta investigación está determinada en la mejora en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. - Arequipa.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo realizar la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C.- Arequipa?

### **1.3.2. Problemas Específicos.**

- ¿Cuál será el método adecuado para la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. - Arequipa?
- ¿Cuáles serán las propiedades químicas en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. -Arequipa?

- ¿Qué efectos se darán en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. -Arequipa?

#### **1.4. Formulación de objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Verificar la influencia en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. -Arequipa.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar el método adecuado para la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. -Arequipa.
- Determinar las propiedades químicas en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa.
- Determinar los efectos que se darán en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa.

#### **1.5. Justificación de la investigación**

La justificación de una investigación sobre la mejora en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante la estandarización de

procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC en Arequipa, puede abarcar varios aspectos clave:

**Importancia Económica:** El oro y la plata son metales preciosos con significativo valor en el mercado. Mejorar la precisión en su determinación puede resultar en una evaluación más exacta de los recursos minerales, lo que a su vez puede influir positivamente en la viabilidad económica y en la planificación de la explotación minera.

**Eficiencia en la Producción:** La estandarización de los procesos de laboratorio puede llevar a una mayor eficiencia en la producción. Procesos más eficientes y confiables reducen el tiempo y los costos asociados con la determinación de oro y plata, mejorando la productividad general.

**Impacto Ambiental:** La minería y la metalurgia pueden tener impactos ambientales significativos. Un método más preciso y eficiente para la determinación de estos metales puede contribuir a una minería más sostenible, reduciendo el desperdicio de recursos y minimizando los impactos negativos en el medio ambiente.

**Calidad y Confiabilidad de los Datos:** La precisión y confiabilidad de los datos son cruciales en la industria minera. La estandarización de procesos garantiza la consistencia y calidad de los datos, lo que es fundamental para la toma de decisiones estratégicas en la compañía.

**Competitividad en el Sector:** En un mercado global competitivo, las empresas buscan constantemente mejorar sus procesos y reducir costos. La estandarización y mejora en la determinación de oro y plata pueden ser un factor clave para mantener la competitividad de la compañía minera Ares SAC en el mercado.

**Desarrollo Tecnológico:** Este tipo de investigación puede contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías y metodologías en el campo de la minería y metalurgia, lo que puede tener aplicaciones más amplias en la industria.

**Cumplimiento Normativo y Estándares de Calidad:** La industria minera está sujeta a estrictas normativas y estándares de calidad. La mejora y estandarización de los procesos pueden ayudar a cumplir con estas regulaciones de manera más eficiente.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación.**

La investigación a realizarse tendrá como tema principal la lixiviación a los minerales auroargentíferos para la obtención de oro y plata en la Unidad Operativa Arcata de la Compañía Minera Ares S.A.C., teniendo en cuenta que la bibliografía es escasa en el mundo de la minería, así como también se llevará a cabo en un lapso de 6 meses de estudio.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

- Según Isauro Rivera (2004), se destaca que la composición química del mineral estudiado contiene cantidades importantes de plata y oro, lo que hace que este material sea muy adecuado para la recuperación de los valores de interés mencionados en el estudio del cianuro. Por otro lado, grandes cantidades de hierro, cobre y zinc pueden ralentizar el proceso de cianuración debido a sus propiedades cianogénicas. El tipo de mineral encontrado es principalmente pirita, con pequeñas cantidades de esfalerita, galena y cuarzo. Estos resultados indican que el mineral estudiado tiene ciertas propiedades que complican el proceso de cianuración debido a su naturaleza pirita, lo que lo hace ideal para el tratamiento de oxidación con ozono previo al proceso de cianuración. La distribución granulométrica del mineral muestra un patrón bimodal con una alta proporción (38% en peso) de partículas

menores a 37  $\mu\text{m}$ . El 25,5% (en peso) tiene un tamaño entre 74 y 53  $\mu\text{m}$ . Esto nos permitirá estimar la tasa de liberación de este mineral y realizar estudios de pruebas de trituración y flotación para mejorar la recuperación de los valores de interés. Se ha demostrado que la preoxidación mineral aumenta la solubilidad de la plata en un 10,8% y aumenta significativamente los valores de Ag disueltos en una reacción de 72 horas. Respecto a la disolución del oro, luego de 72 horas de reacción se observó un aumento del 53% en la cantidad de oro disuelto por minerales previamente ozonizados. La caracterización de los residuos de lixiviación mostró que se observaron cambios significativos en la matriz mineral luego de una oxidación previa con ozono. Esta es probablemente la variable más importante que proporciona una mejor resolución del valor del oro y la plata. Finalmente, este estudio logró el objetivo de mejorar la capacidad de cianuración de minerales que no son susceptibles al proceso descrito. En comparación con el mineral cianuro sin oxidación previa, el Su mostró un aumento del 10,8% en la solubilidad de Ag y un aumento del 53% en la solubilidad de Au.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

- Delgado Velásquez et al (2022), llegaron a la conclusión de que las muestras concentradas se caracterizaban por su flotabilidad en términos de propiedades físicas, patrones de composición, medidas del tamaño de partículas y friabilidad. Se probaron un total de 24 lotes con un peso total de 211,52 TMS, (8813 TMS/lote), un contenido de humedad de 11,69 y un tamaño de partícula de 72,60% - malla 200.

La calidad del concentrado fue 47.87 g/t oro, 16849.59 g plata, 0.58% cobre, 21.43% hierro, 8.78% plomo, 14.71% zinc, 0.46% arsénico, 20.77% materia insoluble. El tamaño de partícula para las pruebas por lotes fue del 93,95 % de malla 200. El concentrado tiene una gravedad específica de 3,9 y un pH natural de 8,5.

- El comportamiento metalúrgico de los cianuros fuertes se evaluó mediante pruebas metalúrgicas continuas. Se realizaron un total de 24 pruebas en condiciones metalúrgicas en el rango de NaCN 5,0 – 7,0 %, pH 12,5, redox 305 mV y 5 ppm de O<sub>2</sub> disuelto. Las condiciones de funcionamiento se detallan en la sección experimental. Finalmente, se recuperó un 96,69% de Au y un 96,48% de Ag, confirmando la hipótesis propuesta de una tasa de recuperación superior al 90%. Se midió el consumo de reactivos para la extracción del metal base y la fuerte reacción de cianuración. Los porcentajes elementales finales obtenidos fueron Cu 45,62%, Fe 8,27%, Pb 5,78%, Zn 4,83% y As 42,67%. Los altos niveles de cobre y arsénico indican la presencia de azufre y sales de cobre gris como posibles portadores de plata. Además, Fe, Zn y Pb son fácilmente solubles y el Pb alcanza un cierto nivel que cataliza la lixiviación de los valores de Au y Ag. El consumo neto medio de NaCN es de 57,95 kg/TM.
- Según un estudio de Venturo Uscamayta (2016), se concluyó que el pretratamiento del oro antes del tratamiento con cianuro podría mejorar la recuperación de oro de minerales con alto contenido de cianuro. La tasa de recuperación más alta es el uso de tres procedimientos de pretratamiento, con una tasa de recuperación

superior al 90%, que es superior a la tasa de recuperación del 76% del proceso convencional. Un control estricto de los parámetros operativos puede mejorar este proceso, ya que estos parámetros pueden dar lugar a la formación de otros compuestos y/o complejos que pueden perjudicarnos en lugar de ayudar a mejorar la recuperación. Ritagir debe usarse en pequeñas cantidades. Se puede ver que las partículas de oro se hunden hacia la superficie debido a una reacción de bloqueo que ocurre durante el proceso de lixiviación del plomo de la solución de cianuro. La fase Au-Pb resultante actúa como catalizador debido a su alta velocidad de oxidación. Cuando la fase Au-Pb actúa como catalizador, el plomo se disuelve. La funcionalización del plomo puede mejorar la cinética del proceso de anodización del oro mediante reacciones de sustitución. El plomo oxida el oxígeno directamente, pero su efecto es mínimo.

## **2.2. Bases teóricas–científicas**

### **2.2.1. Determinación de Oro y Plata**

La Determinación de Oro y Plata se refiere al conjunto de métodos y técnicas utilizadas para cuantificar la presencia y concentración de oro y plata en muestras minerales. Este proceso es fundamental en la industria de la minería y metalurgia, ya que estos metales tienen un alto valor económico y su correcta cuantificación es crucial para múltiples aspectos del negocio minero. Los métodos empleados para esta determinación deben ser precisos, confiables y eficientes, adaptándose a las características específicas del mineral y a los requerimientos de la operación minera.

Estos métodos incluyen técnicas como el ensayo al fuego, que es un método clásico y altamente preciso, especialmente para el oro; y técnicas espectroscópicas como la Espectroscopía de Absorción Atómica (AAS) y la Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), que son utilizadas para ambos metales y son conocidas por su sensibilidad y capacidad para detectar bajas concentraciones.

La determinación precisa de oro y plata no solo es importante para valorar el potencial económico de un yacimiento minero, sino también para guiar los procesos de extracción y refinación, asegurar el cumplimiento de normativas ambientales y de calidad, y para la toma de decisiones estratégicas en la gestión y operación de las actividades mineras. Con el avance tecnológico, estos métodos continúan evolucionando, buscando mejorar en términos de precisión, eficiencia y sostenibilidad ambiental.

### **2.2.2. Mineral de Oro**

El oro es un metal amarillo blando con la mayor ductilidad y maleabilidad de todos los metales. El oro cristaliza en una fase cúbica, pero los cristales de oro son difíciles de encontrar (normalmente se encuentran en escamas o granos). El oro tiene una alta conductividad eléctrica y térmica.

Según Marsden (1960), el oro natural en las reservas tiene un bajo contenido de plata. El único isótopo natural del oro es el Au197. Sin embargo, se han obtenido artificialmente 19 isótopos que van desde Au185 hasta Au203. Este isótopo es radiactivo y tiene una vida media que oscila entre unos pocos segundos y 199 días. El oro puro y muchas aleaciones de oro no son magnéticas. Las aleaciones de oro y manganeso son ligeramente magnéticas, mientras que las aleaciones de oro y hierro, níquel o cobalto son ferromagnéticas. El oro forma

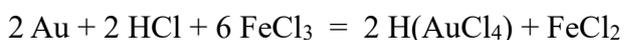
aleaciones con muchos metales. El mercurio se utiliza para humedecer partículas de oro, formar amalgamas y separar selectivamente el oro del mineral triturado en la extracción de oro. La solubilidad del oro en mercurio es baja (0,16%). El mercurio forma una solución sólida con el oro y puede contener hasta un 16% de mercurio. Un alto contenido de mercurio conduce a la formación de compuestos intermetálicos como  $\text{Au}_3\text{Hg}$  y  $\text{Au}_2\text{Hg}$ . El plomo fundido es un excelente disolvente para el oro y, por tanto, se utiliza en refractarios y en algunas operaciones de fundición secundaria.

**a) Propiedades químicas.**

El oro es lo máspreciado o valioso. Es muy resistente a la corrosión y extremadamente estable. La disolución del oro no es posible con ningún ácido mineral simple, excepto con el ácido selénico. Los agentes oxidantes como el ácido nítrico, el oxígeno, el óxido de cobre o de hierro y el dióxido de manganeso pueden disolver el oro en ácido clorhídrico. Esta reacción se realiza sin ningún inconveniente. Se sabe que el agua regia, una combinación de ácidos clorhídrico y nítrico, ha invadido el oro.



Como se muestra en la reacción anterior, el oro se disuelve en una solución acuosa que contiene un oxidante y un aglutinante de oro.



Otro ejemplo del efecto aglutinante-oxidante es la reacción primaria en la extracción de oro de minerales (reacción de Elsner) en una solución de cianuro y oxígeno como oxidantes.



El oro es el único metal que no es atacado por el oxígeno o el azufre a ninguna temperatura. Pero a alta temperatura reacciona con el telurio.



El oro reacciona con todos los halógenos; a temperatura ambiente reacciona exotérmicamente con el bromo.



### 2.2.3. Tipos de Minerales de Oro

Los Tipos de Minerales de Oro se refieren a las diversas formas en las que el oro se presenta en la naturaleza, combinado con otros elementos o minerales. La composición, estructura y asociación con otros minerales determinan no solo el valor del yacimiento, sino también los métodos de extracción y procesamiento más adecuados. Los tipos más comunes son:

**Oro Nativo:** Es la forma más pura del oro, encontrándose en su estado elemental. Este tipo es el más deseable para la minería debido a su relativa facilidad de extracción y procesamiento.

**Aleaciones de Oro:** Oro combinado con otros metales, como plata (electrum) o cobre. La presencia de estos metales puede influir en el color y las propiedades del oro.

**Oro de Filón o Veta:** Se encuentra en vetas o filones dentro de rocas, a menudo acompañado de cuarzo o sulfuros. Su extracción implica técnicas de minería de roca dura.

**Oro Aluvial:** Oro que ha sido transportado y depositado por la acción del agua, como en ríos y arroyos. Este oro se encuentra típicamente en forma de pepitas, granos o polvo fino.

**Oro Refractario:** Oro encerrado en sulfuros u otros minerales que requieren procesos complejos para su extracción, como la oxidación a alta temperatura o el uso de tratamientos químicos específicos.

**Minerales Auríferos con Impurezas:** Oro asociado con minerales como arsenopirita, pirita, y galena, donde el oro puede estar microscópicamente disperso. Su procesamiento requiere técnicas especializadas para separar el oro de estas impurezas.

**Oro Telururo:** Oro asociado con telurios, como en la calaverita y la silvanita. Estos minerales son menos comunes y requieren procesos metalúrgicos específicos para la extracción del oro.

Cada tipo de mineral de oro presenta desafíos y oportunidades únicas para los mineros y metalúrgicos. La selección del método de procesamiento adecuado depende en gran medida de la naturaleza del mineral de oro, su ubicación, concentración y las características geológicas del yacimiento.

#### **2.2.4. Mineral Auroargentífero**

Un mineral auroargentífero es un tipo de mineral que contiene tanto oro (Au) como plata (Ag) en su composición. Estos minerales son de particular interés en la minería y metalurgia debido a la presencia de estos dos metales preciosos. Algunos aspectos clave sobre los minerales auroargentíferos incluyen:

**Composición y Formación:** Los minerales auroargentíferos pueden presentar oro y plata en diversas proporciones. Se forman en una variedad de contextos geológicos, a menudo asociados con actividades hidrotermales que depositan los metales en las rocas huésped.

**Tipos de Yacimientos:** Estos minerales se pueden encontrar en diferentes tipos de yacimientos, como vetas hidrotermales, depósitos epitermales, y

depósitos porfíricos. Estos ambientes de formación influyen en la concentración y la accesibilidad de los metales.

**Métodos de Extracción y Procesamiento:** La extracción de oro y plata de estos minerales puede requerir métodos específicos, dependiendo de la forma en que los metales están combinados o dispersos en el mineral. Los procesos comunes incluyen la lixiviación con cianuro para el oro y diversos métodos de flotación y lixiviación para la plata.

**Desafíos Metalúrgicos:** En algunos casos, la presencia de otros elementos o minerales puede complicar la extracción y purificación de oro y plata. Por ejemplo, la presencia de sulfuros puede requerir pasos adicionales de tostación o tratamiento químico.

**Importancia Económica:** Los minerales auroargentíferos son significativos desde el punto de vista económico, ya que permiten la extracción de dos metales valiosos de un mismo yacimiento. Esto puede aumentar la rentabilidad de una operación minera.

**Impacto Ambiental:** Como con cualquier actividad minera, la extracción de minerales auroargentíferos debe considerar el impacto ambiental. Esto incluye la gestión de residuos, el uso de sustancias químicas en la extracción y el manejo del agua.

#### **2.2.5. Que es un estándar**

Un estándar en metalurgia se refiere a un conjunto de especificaciones, criterios o prácticas establecidas que son ampliamente aceptadas y utilizadas en la industria metalúrgica para asegurar la calidad, consistencia y seguridad en la producción y el procesamiento de metales. Estos estándares pueden incluir:

**Normas de Calidad:** Definen las características deseables de los productos metálicos, como la composición química, propiedades físicas y mecánicas, y tolerancias dimensionales. Estas normas aseguran que los productos metálicos sean adecuados para su uso previsto.

**Procedimientos de Prueba y Análisis:** Establecen métodos para probar y analizar materiales metálicos, garantizando la precisión y reproducibilidad de los resultados. Incluyen pruebas de tensión, dureza, análisis químico, entre otros.

**Guías de Procesamiento y Fabricación:** Proporcionan pautas sobre cómo manipular, procesar y fabricar metales y aleaciones. Esto puede incluir recomendaciones para fundición, forja, soldadura, tratamiento térmico y otras operaciones metalúrgicas.

**Normas de Seguridad y Ambientales:** Establecen prácticas para manejar de manera segura los materiales y procesos metalúrgicos, protegiendo a los trabajadores y minimizando el impacto ambiental. Esto incluye el manejo de residuos, emisiones, y el uso de químicos peligrosos.

**Estándares de Diseño:** Incluyen especificaciones para el diseño de componentes y estructuras metálicas, asegurando que sean fuertes, duraderas y seguras para su uso.

**Certificaciones y Acreditaciones:** Algunos estándares en metalurgia están asociados con certificaciones que las empresas pueden obtener para demostrar su adherencia a ciertos niveles de calidad y competencia técnica.

Los estándares en metalurgia son establecidos por organizaciones nacionales e internacionales, como ASTM International, ISO (Organización Internacional de Normalización), y SAE International, entre otras. El seguimiento de estos estándares es crucial para la industria metalúrgica, ya que ayuda a

mantener la calidad, fomenta la confianza en los productos metálicos y contribuye a la seguridad y eficiencia en la manufactura y uso de metales.

#### **2.2.6. Estandarización de procesos**

La estandarización de procesos se refiere a la implementación de procedimientos uniformes y consistentes en las operaciones de una organización o industria. Este concepto es fundamental para mejorar la eficiencia, calidad, y reproducibilidad de los productos o servicios. En el contexto de diferentes campos, incluyendo la metalurgia, la estandarización puede tener varias implicaciones clave:

**Uniformidad en la Producción:** La estandarización asegura que todos los procesos se realicen de la misma manera, lo que conduce a una mayor uniformidad en los productos finales. Esto es crucial en industrias como la metalurgia, donde las propiedades consistentes del material son esenciales.

**Mejora de la Calidad:** Los procesos estandarizados reducen la variabilidad y los errores, lo que mejora la calidad general de los productos o servicios.

**Eficiencia Operativa:** Al tener procesos claramente definidos y uniformes, se minimiza el tiempo y los recursos necesarios para la producción y se reducen los costos operativos.

**Facilitación de la Capacitación:** La estandarización hace que la capacitación del personal sea más fácil y efectiva, ya que hay un conjunto claro de procedimientos a seguir.

**Cumplimiento Normativo:** En muchas industrias, incluyendo la metalurgia, existen normativas que requieren ciertos estándares en los procesos. La estandarización ayuda a asegurar el cumplimiento de estas normativas.

**Mejora Continua:** Los procesos estandarizados facilitan la identificación de áreas de mejora, permitiendo ajustes sistemáticos y controlados.

**Seguridad Laboral:** Procesos claramente definidos y consistentes ayudan a prevenir accidentes y errores, mejorando la seguridad en el lugar de trabajo.

### **2.2.7. Proceso de hidrometalúrgicos para la recuperación del oro**

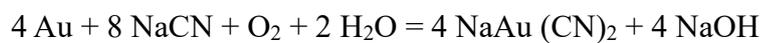
#### **a) El proceso de lixiviación por cianuración.**

La lixiviación es un método ideal para procesar minerales de baja ley. Los agentes lixiviantes generalmente no alteran las bacterias silíceas, reduciendo así su consumo, Habashi (1970). Hay tres elementos importantes en cualquier proceso de lixiviación: Implica poner en contacto un material lixiviable con un solvente para disolver el metal. La solución resultante se separa del residuo sólido y el metal precipita de la solución. Estos pasos generalmente se realizan en el orden que se muestra, pero a veces los dos últimos pasos se invierten. Existen varias variables que pueden influir mucho en la selección del agente lixivante ideal para cada operación, como el tipo de mineral o material a disolver, la capacidad de recuperación, el precio del agente lixivante y la corrosividad. y condiciones de trabajo. Temperatura, tiempo de contacto, concentración y valor de pH. La percolación consiste en reactivos químicos disueltos en agua, cuya función es disolver (oxidar) iones metálicos y formar complejos en esa solución. A continuación, se regeneran los iones metálicos.

Cualquier planta que utilice cianuro para extraer metales preciosos (por ejemplo, oro, plata) puede mejorar la disolución de metales

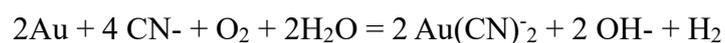
preciosos controlando la inyección de oxígeno gaseoso. Esto se puede lograr instalando un altavoz en la primera etapa del proceso.

El ciclo del cianuro. Un simple ajuste del sistema puede aumentar el contenido de oxígeno disuelto de la pasta, haciendo que haya más oxígeno disponible para el proceso de disolución. Además, mejora la cinética del cianuro al aumentar la velocidad de disolución, permitiendo procesar más minerales en menos tiempo.



La capacidad del cianuro para disolver el mineral de oro se conocía a principios del siglo XIX, pero no se utilizó comercialmente hasta finales de la década de 1890. Incluso hoy en día, el cianuro en sus diversas formas sigue siendo el método principal de lixiviación de oro. Normalmente, la cianuración implica el tratamiento de relaves, concentrados o relaves que contienen mercurio mediante filtración o mezcla con una solución de cianuro. Esta sustancia tiene la propiedad de disolver el oro y la plata en vidrio o minerales afines que contengan sulfuros o silicatos, y recupera los metales preciosos de la solución por acción de precipitados como el polvo de zinc y las virutas de madera. Carbono, aluminio o galvanizado. Luego, el metal se purifica secándolo, fundiéndolo y refinándolo.

El proceso está gobernado por la reacción:



Según Venturo (2016) los elementos cianicidas pueden alcanzar buenas recuperaciones si tienen pretratamiento.

## **b) Cianuración**

Según Salinas et al. (2004), el problema con las plantas de cianuro es que tienen buena solubilidad en oro y plata si los minerales que contienen los minerales valiosos contienen cobre, como ocurre con la mayoría de los minerales. Estos depósitos metálicos se recuperan adecuadamente sólo al inicio de la operación. Después de varias semanas, la concentración de cianuro libre permaneció constante, pero la eficiencia de extracción disminuyó. Este es un problema común en el análisis de minerales que contienen cobre y cianuros libres mediante titulación (método volumétrico). Cuando esto sucede, generalmente es necesario desechar la solución e iniciar el proceso con una solución nueva (lo que resulta en una pérdida de reactivo y valor). En la práctica de cianuración, donde se hacen circular soluciones de cianuración, se cree que a medida que aumenta la concentración de cobre, la solución se contamina y disminuye la eficiencia de la extracción de oro y plata. En estos casos, es posible medir la cantidad de cianuro libre mediante métodos titrimétricos, pero la solución está contaminada (se mide) y la medición del cianuro libre por sí sola no es suficiente para garantizar la eficacia del cianuro. Los estudios han demostrado que mantener una proporción de cianuro/cobre de 4 reduce la contaminación de la solución, pero para utilizar esta información sin sacrificar la eficiencia del proceso, se debe analizar el cobre además del cianuro.

Por otro lado, el análisis del cianuro libre por sí solo no es suficiente para garantizar que las aguas residuales no representen una amenaza

para el medio ambiente. Algunos compuestos de cianuro pueden descomponerse mediante los rayos ultravioleta del sol o por el dióxido de carbono producido al absorber dióxido de carbono del aire, creando concentraciones de cianuro que con el tiempo son peligrosas para la vida acuática y los humanos. En este caso, se debe realizar un análisis de cianuro total y se debe obtener información sobre los tipos y concentraciones de metales que exhiben toxicidad a corto y largo plazo en las aguas residuales.

**c) Compuestos relacionados con el cianuro**

En los procesos de cianuración, la descomposición natural o el tratamiento químico de las aguas residuales del proceso produce una variedad de compuestos solubles relacionados con el cianuro, incluidos tiocianatos, cianatos y amoníaco, además de cianuro libre y complejos de cianuro metálico. Todos estos compuestos son toxicológica y terapéuticamente importantes. Los principales compuestos pertenecientes al cianuro:

- Cianuro libre ( $CN_l$ ). La solución contiene ácido cianhídrico ( $HCN$ ) e iones de cianuro ( $CN^-$ ) presentes en la solución.
- Cianuro total ( $CN_t$ ). El cianuro está presente en una solución en todas sus formas, incluyendo los cianuros estables (cianuro de hierro). Los métodos disponibles no cuantifican el cianuro de oro, cobalto o platino.
- Tiocianato ( $SCN^-$ ). La presencia de tiocianato en la solución de cianuro resulta de la reacción del cianuro con átomos de azufre inestables durante el proceso previo de aireación o lixiviación.

Los tiocianatos son química y biológicamente degradables y sus productos secundarios son iones de amonio, carbonatos, cianuros y sulfatos. En algunos casos, el tiocianato se oxida más fácilmente que el cianuro, por lo que usarlo para eliminar el cianuro de las aguas residuales requiere más agente oxidante y aumenta los costos de tratamiento. Los tiocianatos en sí no son particularmente tóxicos para la vida acuática y no están sujetos a las regulaciones ambientales vigentes, pero pueden biodegradarse en ambientes alcalinos para producir cianuro. Por otro lado, tratar la solución con cloro para eliminar el cianuro corre el riesgo de producir cloruro de cianógeno (CNCl), un gas altamente tóxico y de muy baja solubilidad en agua.

- Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). La presencia de amoníaco en las aguas residuales de las minas se debe principalmente a la hidrólisis de cianatos. Los cianatos se forman mediante el proceso de cianuración, pero la mayoría se forman mediante la oxidación de cianuros. Los cianatos suelen hidrolizarse hasta cierto punto en los estanques de solución de relaves, pero sus concentraciones suelen ser suficientes para matar a los peces. El amoníaco libre forma complejos solubles con muchos metales pesados (cobre, níquel, plata, zinc), por lo que su presencia en las aguas residuales puede inhibir la descomposición de estos metales a valores alcalinos de pH superiores a 9 (el rango de precipitación de los iones metálicos). precipitación atmosférica.

#### **d) Tratamiento preliminar de las muestras**

El primer paso para realizar un análisis de cianuro correcto es obtener una buena muestra. El volumen de solución ingerida debe ser lo suficientemente pequeño para ser transportado, pero suficientemente representativo de la solución a analizar. Es importante usar una nueva botella de plástico sin carga con carga cian (puede infectarse con humo si se almacena cerca de la solución indicada de cianuro o carga de cianes). Si es necesario, se recomienda evitar la composición principal de la solución (sulfuro, oxidante, sólido, sólido, pH, etc.). Debido a su toxicidad, es importante manipular las soluciones de cianuro con cuidado.

Trabaje debajo del capó o en un área bien ventilada. El ácido cianhídrico (HCN) produce gases tóxicos a valores de pH inferiores a 9, por lo que se debe tener especial cuidado si el pH de la solución debe ser bajo (por ejemplo, para análisis de cianato o conservación de tiocianato).

El pretratamiento de la muestra depende de la turbidez de la solución. Se utilizan métodos especiales para eliminar sulfuros y agentes oxidantes. La mayoría de los demás obstáculos se eliminan durante el proceso de destilación. Debido a que el cianuro es reactivo e inestable, es importante analizar las muestras lo más rápido posible. El análisis debe completarse dentro de las 24 horas posteriores a la recolección de la muestra. Si el análisis no se realiza inmediatamente, se debe agregar NaOH u otra base fuerte hasta que el pH alcance 12 a 12,5 y

la muestra debe mantenerse sellada a la temperatura especificada, protegida de la luz solar y con una circulación de aire mínima. 4°C.

Si hay sólidos presentes en la muestra, estos pueden reaccionar con el cianuro, por lo que se recomienda almacenar la muestra decantando para eliminar los sólidos. Debido al riesgo de reducción de cianuro durante la filtración, se recomienda no filtrar. Es importante señalar que los conservantes químicos utilizados para conservar las muestras aumentan la variabilidad del ensayo e interfieren con los métodos de análisis químico utilizados.

**e) Interferencias en el análisis de cianuro**

La presencia de diversos elementos o compuestos en la solución puede afectar positiva o negativamente los resultados de un análisis químico de cianuro, dependiendo de la técnica utilizada. Las sustancias más importantes que interfieren con el análisis de cianuro son:

- Turbidez de la solución. La turbidez de la solución puede afectar los métodos de análisis colorimétrico. La destilación de la solución suele ser suficiente para eliminar todo el color.
- Agentes oxidantes. Los agentes oxidantes ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) son interferencias negativas durante el análisis porque pueden continuar oxidando el cianuro entre el muestreo y el análisis. La presencia de sustancias oxidantes se puede detectar utilizando indicadores de almidón y yoduro de potasio empapados en tampón acetato a  $\text{pH} = 4$ . Si el papel se vuelve azul, la solución contiene un agente oxidante. Se pueden añadir desoxidantes

como ácido ascórbico (>30 mg/l) o arsenito de sodio ( $\text{NaAsO}_2$ /l) 0,1 g para eliminar la interferencia hasta que el papel se decolore. También se puede utilizar tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) para evitar una mezcla excesiva por encima de 0,1 g/l. Se prefiere el uso de arsenito de sodio porque no afecta a análisis posteriores.

- Sulfuros. Los sulfuros causan turbidez, lo cual es común en las aguas residuales de las minas con un pH alto y un contenido bajo de oxígeno. Los sulfuros se pueden eliminar con ácido cianúrico, que colorea la solución y cambia el resultado. También puede reaccionar con cianuro, especialmente a valores de pH altos, para formar tiocianatos y reducir la cantidad de cianuro medida. Los sulfuros se tratan con cianuros y también afectan el tamaño del electrodo. La presencia de sulfuros se puede comprobar colocando una gota de la muestra sobre papel de acetato de plomo previamente humedecido con una solución tampón (pH = 4). Si el papel se oscurece, contiene sulfuros. Para evitar esta interferencia, se añaden sales de plomo (por ejemplo, acetato de plomo) para precipitar el sulfuro. Si el contenido de azufre es elevado, se recomienda añadir carbonato de plomo [ $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2$ ] para evitar una caída significativa del pH de la solución. Se debe agregar sal poco a poco hasta que se formen depósitos de plomo y la solución se vuelva negra.
- Tiocianato. El tiocianato se puede convertir en cianuro en condiciones de destilación ácida, aumentando la cantidad inicial de cianuro. El mecanismo de transformación no está claro y la

cantidad de tiocianato descompuesto no se puede controlar ni predecir. Para evitar la interferencia del tiocianato, durante la destilación se utiliza ácido clorhídrico en lugar de cloruro de magnesio. Si la concentración de tiocianato en la solución es muy alta, la interferencia se puede reducir añadiendo ácido sulfúrico y cloruro de magnesio.

- Nitritos. Los nitritos pueden formar ácido cianhídrico con compuestos orgánicos durante la destilación. Se añade ácido sulfónico antes de la destilación para evitar la interferencia de nitritos (2 g por muestra antes de la destilación).
- Carbonatos. Altas concentraciones de carbonato en solución pueden provocar una formación excesiva de gas durante la destilación. El  $\text{CO}_2$  formado reduce la concentración de NaOH en la solución de absorción y dificulta la absorción del cianuro purificado. La presencia de carbonatos se puede confirmar mediante análisis de alcalinidad.
- Tiosulfatos, sulfatos y otros compuestos de azufre. Estos compuestos de azufre pueden reaccionar con el cianuro para formar tiocianato, lo que reduce la cantidad medida de cianuro. Durante la destilación, estos productos emiten  $\text{SO}_2$ , lo que afecta el color final de la solución y complica el análisis colorimétrico. La solución se purifica al mínimo para reducir la fuerza de los compuestos de azufre y se añaden sales de plomo para precipitar los sulfuros.

- Metales. La presencia de metales como hierro, cobalto y mercurio puede reducir la cantidad de cianuro en la muestra porque forman complejos muy estables que no pueden detectarse mediante métodos analíticos convencionales.

### **2.2.8. Técnicas de análisis químico**

Según Martín et al (2010), los análisis químicos clásicos varían desde los análisis químicos volumétricos hasta los tradicionales, como los análisis volumétricos y gravimétricos. Y los modernos, que incluyen instrumentos como la espectrofotometría, la potenciometría, y también otros poco utilizados como la cromatografía.

La elección de la técnica de análisis químico depende de varios factores: el tipo de cianuro a analizar, la concentración de cianuro, la precisión requerida, la claridad de la solución y, sobre todo, la presencia de sustancias que puedan interferir con el método analítico.

Por lo tanto, es importante enfatizar la complejidad del análisis de cianuro y la posibilidad de que no exista acuerdo entre las diferentes técnicas.

Los métodos de análisis químico de compuestos de cianuro que se utilizan con mayor frecuencia en los procesos de cianuro son la titulación (volumétrica) y un electrodo especial para el análisis de cianuro libre y la destilación del cianuro total.

Hay otros métodos que no se presentan aquí porque se utilizan con menos frecuencia (colorimetría para cianuro libre, destilación para cianuro en descomposición de ácidos débiles, colorimetría para tiocianato y electrodo de amonio específico para cianuro).

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Laboratorio de lixiviación**

Un laboratorio de lixiviación es una instalación especializada donde se realizan pruebas y análisis para desarrollar y optimizar procesos de lixiviación, una técnica clave en la extracción de metales de sus minerales. En estos laboratorios, se experimenta con distintas condiciones y soluciones químicas para evaluar la eficiencia y viabilidad de extracción de metales como el oro, la plata y el cobre. Además, se enfocan en la optimización de procesos, el análisis químico de muestras y el estudio del impacto ambiental y la seguridad de los procedimientos de lixiviación. Este tipo de laboratorio es esencial en la metalurgia extractiva para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la extracción de metales.

### **2.3.2. Estandarización**

La estandarización se refiere a la implementación de normas uniformes y consistentes en procesos, prácticas o productos. Este concepto es fundamental para garantizar la calidad, eficiencia y seguridad en diversas industrias y áreas de trabajo. La estandarización ayuda a reducir errores, facilita la formación y comunicación, y asegura la compatibilidad y la interoperabilidad entre diferentes sistemas y componentes. Es un elemento clave para la mejora continua y el cumplimiento de normativas y estándares industriales.

### **2.3.3. Mineral**

Es una sustancia dura, natural y homogénea de origen inorgánico con una composición química específica.

#### **2.3.4. Metalurgia**

Este es un método de extracción y procesamiento de metales, desde minerales metálicos hasta minerales no metálicos.

#### **2.3.5. Proceso Metalúrgico**

Cuando los metales se extraen de minerales naturales, se separan de la ganga.

#### **2.3.6. Mena: (Ore)**

Es un mineral económicamente valioso, que representa entre el 5 y el 10% del volumen total de la roca. Esto se aplica a los minerales sulfurados y óxidos que contienen los elementos en cuestión, como cobre, molibdeno, zinc, etc.

#### **2.3.7. Mejora**

La mejora es el proceso de hacer cambios o ajustes en sistemas, procesos, productos o servicios con el objetivo de incrementar la eficiencia, efectividad, calidad o rendimiento. Implica la identificación y solución de problemas, la innovación y la adopción de nuevas prácticas o tecnologías. La mejora es esencial para el crecimiento y la competitividad en cualquier área de actividad.

#### **2.3.8. Procesos**

Los procesos son secuencias estructuradas de actividades o pasos diseñados para alcanzar objetivos específicos. En un contexto organizacional o industrial, implican la transformación de insumos en productos o servicios finales, siguiendo métodos y procedimientos establecidos. Los procesos son fundamentales para garantizar la eficiencia, calidad y coherencia en la entrega de resultados.

### **2.3.9. Oro y Plata**

El oro y la plata son metales preciosos valorados por su rareza, propiedades físicas y estética. El oro, conocido por su maleabilidad y resistencia a la corrosión, se utiliza en joyería, finanzas y electrónica. La plata, destacando por su conductividad y también usada en joyería, tiene aplicaciones en industria, fotografía y electrónica. Ambos juegan roles importantes en economía y tecnología.

### **2.3.10. Auroargentíferos**

Los minerales auroargentíferos son aquellos que contienen tanto oro (Au) como plata (Ag) en su composición. Son de gran interés en la minería y metalurgia por la presencia de estos dos metales valiosos, lo que implica métodos específicos de extracción y procesamiento. Su estudio y explotación son clave en la búsqueda de eficiencia y rentabilidad en la industria minera.

### **2.3.11. Lixiviación**

La lixiviación es un proceso utilizado en la metalurgia para extraer metales valiosos, como oro y cobre, de sus minerales. Implica disolver estos metales en una solución líquida, generalmente utilizando reactivos químicos. Es una técnica clave en la minería moderna, especialmente para la extracción de metales de minerales de baja ley.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mejorará mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. Arequipa.

#### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- El método adecuado mejorara en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. Arequipa.
- Las propiedades químicas mejoraran en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. Arequipa.
- Los efectos mejoraran en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. Arequipa.

#### **2.5. Identificación de las variables**

##### **2.5.1. Variables independientes**

- Estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación.

##### **2.5.2. Variables dependientes**

- Mejora en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

*Tabla 1: Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala</b>
<b>Variable independiente:</b> <b>Estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación.</b>	Debemos aplicar la normalización del proceso a nuestros laboratorios para estandarizar la forma en que se realizan los ensayos de laboratorio y, en última instancia, los resultados que se obtienen.	La realización de varios ensayos de calidad, comparando con otros procesos.	Procesos de Absorción atómica.	Absorbancia de Au. Absorbancia de Ag.	Razón Razón
<b>Variable dependiente:</b> <b>Mejora en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos.</b>	La determinación de oro mediante procesos de absorción atómica por procesos de absorción espectral.	Resultados de los análisis de oro y plata.	Determinación de Au. Determinación de Ag.	Au (ppm). Ag (ppm).	Razón Razón

FUENTE: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

La investigación se desarrolla en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C. Arequipa.

- En función de los objetivos establecidos: El tipo de estudio es cuasi-experimental.
- Según los datos manipulados en el experimento: La naturaleza de la investigación es cuantitativa.
- Como se demuestra una hipótesis: Este estudio tiene un diseño cuasi-experimental.

#### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es explicativo

#### **3.3. Métodos de investigación**

Por su carácter práctico, esta investigación utilizó el método de análisis y síntesis (inductivo - deductivo) para conocer la aplicación de la solución de

cianuro de sodio para la obtención de oro y plata en agentes auroras. y para ello se realizó el correspondiente estudio de variables independientes y dependientes.

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño empleado en la presenta investigación es el de carácter causa–efecto; metodología que permite establecer la relación existente entre la aplicación de la variable independiente en el proceso y el resultado obtenido, considerado como variable dependiente, teniendo en cuenta para ello el problema principal planteado, y que será desarrollado dentro del contexto de la investigación como cuasi experimental. (Parra, 2020).

Para cumplir con la metodología y diseño de la investigación, el control de las pruebas experimentales se llevará a cabo mediante una observación controlada de la variable independiente y de aquellas que intervinieron circunstancialmente y que han afectado o favorecido en los resultados de la variable dependiente, de la siguiente manera. Se analizarán los estudios e investigaciones previas relacionadas con el trabajo de investigación.

- ✓ Se analizarán en un laboratorio la estandarización de procesos.
- ✓ Se obtendrán los valores en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación.
- ✓ Se determinará la mejora y pérdida de cantidad de oro y plata en los minerales auroargentíferos.
- ✓ Se formularán las conclusiones y recomendaciones en el informe del trabajo de investigación.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

Como objeto de estudio considero el mineral de plata producido por la división Arcata de Ares Minea en la región Arequipa.

#### **3.5.2. Muestra**

Como muestras de estudio, la recolección de minerales auroargentíferos se obtuvieron aproximadamente alrededor de 50 Kg para lo cual se utilizaron un patrón de cuadrícula aleatorio, de los cuales 10 Kg se utilizan para procesamiento metalúrgico mediante lixiviación.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

#### **3.6.1. Técnicas de recolección de datos.**

Los métodos de recopilación de datos utilizados en este estudio incluyeron observación directa, análisis de documentos, cuestionarios y entrevistas.

#### **3.6.2. Instrumentos de recolección de datos.**

Los instrumentos que se emplearon para la presente investigación fueron: los reportes de los análisis realizados en los diferentes procesos metalúrgicos, así como se tiene los cuadernos de apuntes que se utilizan en el laboratorio, también debemos indicar que los formatos utilizados en laboratorio tienen la evaluación y conformidad de los expertos.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.**

Para la presentación de los datos se utilizarán los programas de Excel y los programas estadísticos SPSS.

### 3.8. Tratamiento estadístico.

Los datos se presentarán según los criterios de la estadística descriptiva y se realizará un test estadístico para comprobar la corrección de los datos en función de la normalidad de los mismos.

### 3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación deberá cumplir con los estándares éticos establecidos por el rector de investigación y el organismo responsable de la integridad de la investigación, por lo tanto, se da a conocer los aspectos fundamentales que se cumplen en esta investigación las cuales son:

**Salud y Seguridad de los Trabajadores:** Garantizar la seguridad de los empleados en el laboratorio y en la mina, proporcionando equipos de protección adecuados y capacitación sobre manejo seguro de sustancias peligrosas.

**Transparencia y Honestidad:** Mantener una comunicación transparente y honesta sobre las prácticas de extracción y los resultados de la determinación de oro y plata, tanto internamente como con las comunidades y partes interesadas.

**Respeto a los Derechos Humanos y a las Comunidades Locales:** Asegurar que las operaciones no infrinjan los derechos de las comunidades locales, incluyendo el respeto a la tierra y los recursos naturales.

**Cumplimiento Normativo:** Adherir a todas las leyes y regulaciones locales e internacionales relevantes, incluyendo aquellas relacionadas con la minería, el medio ambiente y la seguridad laboral.

**Mejora Continua y Desarrollo Sostenible:** Comprometerse con la mejora continua de los procesos para aumentar la eficiencia y reducir los impactos negativos, alineándose con los principios de desarrollo sostenible.

**Gestión de Residuos y Uso de Sustancias Químicas:** Implementar prácticas eficientes para el manejo y disposición de residuos, así como reducir y controlar el uso de químicos peligrosos.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

El trabajo de campo sobre la mejora en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante la estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa implica varias etapas de las cuales son:

- **Reconocimiento y Muestreo Inicial:** Visitar la mina y áreas de procesamiento para entender las operaciones actuales y recolectar muestras de mineral auroargentífero para su análisis.
- **Análisis en el Laboratorio de Lixiviación:** Realizar pruebas estandarizadas de lixiviación en las muestras recolectadas, utilizando diversos reactivos y condiciones y medir la concentración de oro y plata en las muestras antes y después del proceso de lixiviación.
- **Evaluación de Procesos Actuales:** Observar y documentar los métodos actuales de determinación de oro y plata y identificar áreas de ineficiencia o variabilidad en los procesos existentes.

- **Desarrollo y Prueba de Nuevos Protocolos:** Diseñar y probar nuevos protocolos de lixiviación en el laboratorio y comparar los resultados con los métodos existentes para evaluar mejoras en precisión y eficiencia.
- **Control de Calidad y Repetibilidad:** Realizar múltiples pruebas para asegurar la consistencia y fiabilidad de los nuevos protocolos y implementar controles de calidad rigurosos.
- **Interacción con el Personal de la Mina:** Trabajar con los operadores de la mina y el personal del laboratorio para obtener retroalimentación y asegurar que los nuevos procesos sean prácticos y aplicables.
- **Análisis de Datos y Reporte:** Analizar los datos recopilados durante las pruebas y preparar un informe detallado sobre los hallazgos, incluyendo recomendaciones para la implementación de los nuevos protocolos.
- **Consideraciones Ambientales y de Seguridad:** Evaluar los impactos ambientales y de seguridad de los nuevos procesos de lixiviación y proponer medidas para mitigar cualquier impacto negativo.

#### **4.1.1. Análisis cuantitativo por espectroscopia de absorción atómica**

La Espectroscopía de Absorción Atómica ofrece una forma sensible de determinar más de 60 elementos, este análisis utiliza lámparas y también estándares para cada elemento analizado.

Este método es ideal para mediciones rutinarias realizadas por operadores poco capacitados.

##### **4.1.1.1. Calibración**

Las técnicas de absorción atómica cuantitativa se basan en curvas de absorción dependientes de la concentración; suelen ser lineales. Sin embargo, existen desviaciones de la linealidad y, si se aplica la ley de

Behr, el análisis no debe basarse en una única medida estándar. Además, dado que existen muchas variables incontrolables en la formación de vapor atómico, se puede medir la absorbancia de una o más soluciones estándar durante cada ejecución. La desviación estándar de los valores de calibración originales debe aplicarse como corrección a los resultados analíticos.

#### 4.1.1.2. Método de adición estándar

En espectroscopia de absorción atómica, los métodos de adición convencionales se utilizan ampliamente. En este procedimiento, se dividen dos o más muestras en matraces volumétricos. Un vial se diluye directamente hasta el volumen y se añade una cantidad conocida de analítico a otro vial antes de diluirlo hasta el volumen. Mida la absorbancia de cada uno (si no está familiarizado con el método, se recomienda agregar más estándares). Si existe una relación lineal entre absorbancia y concentración (esto debe verificarse experimentalmente), se cumple la siguiente relación:

$$A_x = \frac{KV_x C_x}{V_T} \quad \text{Ec. 1}$$

$$A_T = \frac{KV_x C_x}{V_T} + \frac{KV_s C_s}{V_T} \quad \text{Ec. 2}$$

El volumen y la concentración de la solución a medir son  $V_x$  y  $C_x$ .  $V_T$  es el volumen total y  $V_s$  se utiliza para describir la concentración y el volumen del estándar. La absorción de la muestra y el estándar se denota por  $A_x$  y  $A_T$ , respectivamente.

Si se han realizado varias sumas constantes, la ecuación (2) se puede representar como  $A_T$  Vs. La línea resultante se puede extrapolar a  $A_T=0$ . Sustituyendo esta relación en la ecuación (2) y reorganizándola se obtiene:

$$C_x \frac{-C_s(V_s)_0}{V_x} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde  $(V_s)_0$  es el volumen extrapolado del estándar. El propósito de utilizar un método de adición estándar es compensar los cambios en la solución del analito causados por alteraciones físicas y químicas.

#### **4.1.1.3. Entrenamiento en el manejo de equipos y calibración**

El propósito de esta fase fue aprender y ganar confianza en el uso del equipo utilizado y realizar los experimentos necesarios para lograr esta calibración.

Hay que recordar que, al iniciar cualquier investigación, el analista debe estar familiarizado con todos los instrumentos analíticos disponibles, ganar confianza en su uso y calibrarlos, ganar mayor confianza al informar los resultados.

#### **4.1.1.4. Equipos utilizados**

Para el desarrollo de este artículo se utilizaron equipos y materiales del Grupo de Investigación Ambiental, Biohidromecánica y del Instituto de Minerales de la UIS. Las especificaciones del equipo utilizado son las siguientes:

#### **a) Equipos de absorción atómica**

En este trabajo se utilizó equipo de absorción atómica disponible en el laboratorio. Las concentraciones de metales preciosos, oro y plata se determinaron principalmente en muestras minerales y muestras líquidas obtenidas del procesamiento hidrometalúrgico de estas muestras minerales. Las características del dispositivo de absorción atómica utilizado en el laboratorio son las siguientes:

**Aparato de absorción atómica Perkin Elmer.** Modelo 23-80 utilizado en esta tesis para la determinación de Au, Ag y Cu. En estos análisis se utilizó una mezcla de aire/acetileno como combustible.

**Aparato científico de absorción atómica de Buck.** Modelo 210 VGP utilizado para la determinación de Au, Ag y Cu. El combustible utilizado en el análisis elemental anterior fue una mezcla de aire/acetileno. Al comparar los dispositivos de absorción atómica, se puede decir que los dispositivos de absorción atómica de Buck Scientific dan resultados más precisos, pero la inestabilidad que presenta al analizar elementos relacionados con grados lo hace menos preciso; Por otro lado, los dispositivos de absorción atómica de Perkin Elmer, aunque menos precisos, son muy estables y los datos reportados se vuelven más precisos y, por lo tanto, más confiables.

#### **b) Mufla**

Marca Terrigeno, con display digital de temperatura. Temperatura máxima 1300 °C requerido durante la prueba al fuego:

1. El proceso de tostación, durante el cual se eliminan los sulfuros de las muestras llevándolas a una temperatura de 500-600 °C.

2. El proceso de fusión, donde la temperatura aumenta a 1100 °C, donde se produce la fusión completa de la muestra.
3. En el proceso de catación, donde la temperatura alcanza los 800 °C, se obtiene el "dore" (perla de oro y plata).

**c) Titulador automático**

Marca titrimetrohom, con agitador magnético y electrodo de plata/sulfuro de plata y aumento de volumen en microlitros. Este dispositivo se utilizó para valorar muestras de cianuro provenientes del proceso de lixiviación.

**d) Micropipetas**

Marcador, para medir volumen en microlitros y con puntas de polietileno removibles. Estos se utilizaron a lo largo del estudio para preparar varios estándares que sirvieron para determinar las concentraciones de los distintos elementos analizados.

**4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

**Calibración de los equipos de absorción atómica**

El procedimiento de calibración para equipos de absorción atómica se muestra a continuación. La Tabla N° 02 muestra los datos de absorción para el blanco y varios estándares utilizando el equipo de absorción atómica de Buck Scientific.

**Tabla 2: Lecturas reportadas para la absorbancia de oro en el equipo de Absorción atómica Buck Scientific**

CONCENT.	BLANCO	1 ppm	2,5 ppm	5 ppm	7,5 ppm	10 ppm
LECTURA ABSORBANCIA	0.0001	0.0232	0.061	0.1263	0.1869	0.2347
	0	0.0227	0.061	0.1268	0.1874	0.2337
	-0.0004	0.0233	0.061	0.1321	0.1871	0.2352
	-0.0007	0.0224	0.0614	0.13	0.1869	0.2362
	0.0001	0.0224	0.0645	0.1309	0.1835	0.238
	0.0004	0.0226	0.0642	0.1298	0.182	0.2389
	-0.0003	0.024	0.0643	0.1309	0.1833	0.2414
	-0.0002	0.024	0.0639	0.1292	0.1822	0.2446
	-0.0002	0.0244	0.0642	0.1298	0.1815	0.2437
	-0.0008	0.024	0.0649	0.1297	0.1806	0.2457
<b>PROM.</b>	<b>-0.0002</b>	<b>0.0233</b>	<b>0.0630</b>	<b>0.1296</b>	<b>0.1841</b>	<b>0.2392</b>
<b>DESV. EST.</b>	<b>0.000371</b>	<b>0.000757</b>	<b>0.001693</b>	<b>0.001787</b>	<b>0.002658</b>	<b>0.004391</b>

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.2.1. Calibración del equipo de absorción atómica Buck Scientific

Durante la calibración del dispositivo de absorción atómica, se determinaron varios parámetros como se muestra a continuación:

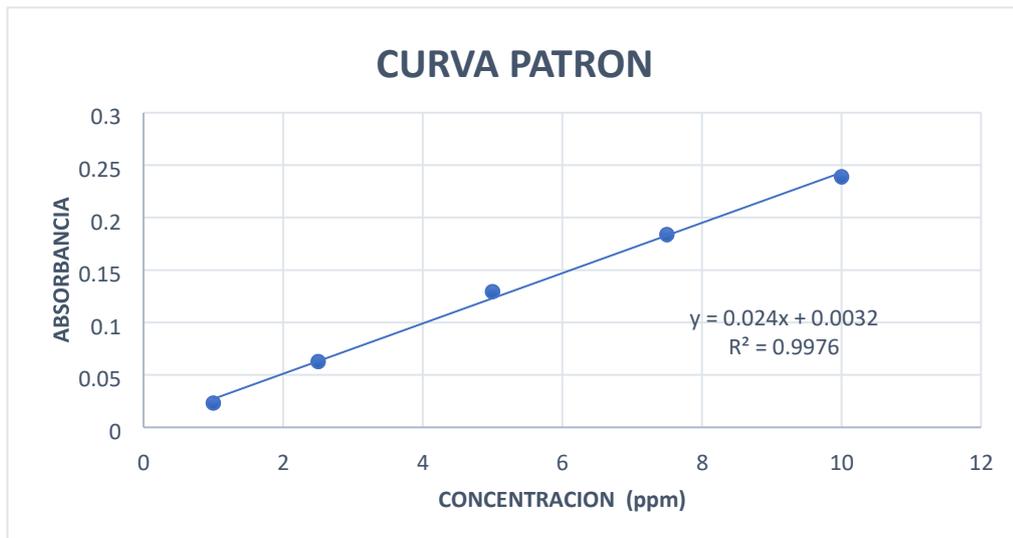
**Curva de calibración.** Para lograrlo se utilizan valores promedio de absorción de acuerdo a la figura N° 01.

**Tabla 3: Valores promedios de absorbancia y concentración equipo de absorción atómica Buck Scientific**

CONCENTRACIÓN (ppm)	ABSORCIÓN
1	0,0233
2,5	0,063
5	0,1296
7,5	0,1841
10	0,2392

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 1: Curva de calibración para la determinación de oro en el equipo Buck Scientific**



FUENTE: Elaboración propia

La ecuación obtenida de la curva de calibración mostrada en la Figura N° 01, es la siguiente:

$$Y = m X + Xb_1$$

$$Y = 0.024 X + 0.0032$$

Donde:

Y = Absorbancia a una concentración X

X = Concentración m = pendiente = 0.024

Xb<sub>1</sub> = corte con el eje y = 0.0032

Para estos datos se obtuvo una desviación estándar del blanco en absorbancia (S<sub>b</sub>) = 0.000371 (Tabla N° 03), un coeficiente de correlación de datos (R<sup>2</sup>), igual a 0,9976 (Figura N° 01), el cual indica una buena linealidad de la curva. Con los datos anteriores, se calcularon los siguientes parámetros de comparación entre los dos equipos:

**a) Desagradable** Señal mínima detectable (S<sub>m</sub>): representa la absorbancia mínima que el instrumento puede detectar para cada elemento.

$$S_m = X_{b1} + 3 \cdot S_b \quad S_m = 0,0032 + 3 \cdot 0,000371 = \mathbf{0,004313}$$

- b) Concentración mínima (Cm):** La concentración mínima que puede ser analizada por el instrumento, teniendo en cuenta la capacidad de absorción de la muestra.

$$C_m = (S_m - X_{b1}) / m$$

$$C_m = (0,004313 - 0,0032) / 0,024 = \mathbf{0,046375}$$

- c) Límite de cuantificación (LOQ):** El valor de absorbancia más bajo al que la concentración actúa linealmente.

$$LOQ = 10 \cdot S_b$$

$$LOQ = 10 \cdot 0,000371 = \mathbf{0,00371}$$

Se utilizó el mismo proceso para calibrar otros elementos metálicos utilizando instrumentos de Buck Scientific. La Tabla N° 04 proporcionó los resultados.

**Tabla 4: Resultados de la calibración del equipo Buck Scientific para diferentes elementos**

PRUEBA	ELEMENTO	ECUACION	R2	Sm	Cm	LOQ
A	Au	Y=0,024X + 0,0032	0,9976	0,004313	0,04638	0,00371
B	Ag	Y=0,1462X + 0,0057	0,9994	0,00068	0,00482	0,00235
C	Al	Y=0,0035X + 0,0105	0,9976	0,00043	0,27064	0,00316
D	Mn	Y=0,1063X + 0,0022	0,9885	0,00125	0,00854	0,02846
E	Pb	Y=0,031X + 0,0376	0,9980	0,00224	0,04137	0,00427
F	Cu	Y=0,0869X + 0,0149	0,9997	0,00012	0,00664	0,00192

FUENTE: Elaboración propia

**d) Calibración del equipo de absorción atómica Perkin Elmer**

Se siguió el mismo proceso utilizado para calibrar el instrumento de absorción atómica de Buck Scientific. Los resultados obtenidos se pueden ver en la Tabla N° 05.

**Tabla 5: Resultados de la calibración del equipo Perkin Elmer para diferentes elementos**

<b>PRUEBA</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>ECUACION</b>	<b>R2</b>	<b>Sm</b>	<b>Cm</b>	<b>LOQ</b>
<b>A</b>	Au	$Y=0,035X + 0,001$	0.9896	0.01227	0.3496	0.0407
<b>B</b>	Ag	$Y=0,0691X + 0,0034$	1.0000	0.00099	0.0000	0.0099
<b>C</b>	Al	$Y=0,0032X + 0,0039$	0.9997	0.0036	0.69231	0.0090
<b>D</b>	Cu	$Y=0,0485X + 0,0053$	0.9998	0.00321	0.05595	0.00905

FUENTE: Elaboración propia

Se utilizó acetileno/óxido nitroso para calibrar el equipo para el análisis de aluminio y acetileno/aire para otros elementos.

Los equipos de Perkin Elmer no estaban calibrados para los elementos manganeso y plomo porque el laboratorio no contaba con lámparas adecuadas.

**e) Análisis comparativo de los equipos de absorción atómica**

Tomando en cuenta los datos reportados en las Tablas 03 y 04, se puede deducir:

Todos los elementos se comportaron linealmente con la concentración controlada, independientemente del dispositivo utilizado. La calibración con oro mostró que los instrumentos de Buck Scientific tienen un coeficiente de

correlación más cercano a 1 que el de Perkin Elmer, lo que indica un comportamiento más lineal y, por tanto, una mayor precisión de los valores. Por el contrario, se obtuvieron mejores resultados con el aparato Perkin Elmer al calibrar otros elementos. Para todos los elementos, se descubrió que el instrumento Buck Scientific tenía un límite de cuantificación informado más bajo, ya que los instrumentos informaron datos más altos que el Perkin Elmer hasta dentro de un decimal, lo que indica que estaba altamente diluido al determinar las concentraciones de la solución. Se recomienda utilizar dispositivos con un límite inferior. El mismo comportamiento se observó para los parámetros Sm y Cm.

Aunque se requiere mayor precisión para determinar la concentración de oro, debido a la pequeña cantidad de este elemento en el mineral, se recomiendan los instrumentos marca Perkin Elmer porque este instrumento tiene mayor estabilidad al reportar lecturas y aunque estos instrumentos tienen mayor precisión, la diferencia entre dispositivos no es significativa. Al leer concentraciones de otros elementos, no importa qué dispositivo se utilice, ya que ambos dispositivos proporcionan la precisión adecuada para cada uno.

#### **4.2.2. Calibración de la Mufla**

La calibración del silenciador se realizó con un termopar, cuyo extremo se introdujo en el silenciador. Se comparó la temperatura reportada por el termopar con la temperatura reportada por la compuerta y se determinó que las temperaturas eran las mismas.

#### **4.2.3. Calibración del Titulador**

El valorador automático tiene un método de calibración para cada solución titulada. Para la valoración de soluciones de cianuro, se prepara una

solución de  $\text{AgNO}_3$  0,1 molar y se estandariza con una solución de  $\text{NaCl}$  0,1 molar. Para calibrar, ingrese el peso de  $\text{NaCl}$  y el volumen del lote de agua utilizado en el dispositivo, y devolverá los resultados de la calibración con un error y lo corregirá automáticamente.

#### 4.2.4. Calibración de las Micropipetas

En el laboratorio se utilizaron tres micropipetas, una con capacidad de 100 a 1000  $\mu\text{l}$ , una con capacidad de 200 a 1000  $\mu\text{l}$  y la otra con capacidad de 25 a 250  $\mu\text{l}$ .

**Tabla 6: Peso medido para diferentes muestras de 500 ml de agua**

PESO EN mg DE 500 ml DE AGUA (MICROPIPETA 200-1000 $\mu\text{L}$ )									
497.5	498.9	498.1	493.7	495.5	498.3	498.7	497.7	498.3	495

FUENTE: Elaboración propia

Seguidamente se presentan los cálculos hechos para poder calibrar las micropipetas en función de los resultados que se muestran en la Tabla N° 06.

- **Valor medio**

$$X = 497,17 \text{ mg}$$

- **Factor de corrección**

$$Z = 0,996233 \text{ mg/L a } 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Z = 1/0,996233 = 1,003781 \text{ L/mg}$$

- **Volumen medio**

$$V = X \pm Z$$

$$V = 497,17 * 1,003781 = 499,05 \mu\text{L}$$

- **% Error**

$$\%E = (\text{abs.}(499,05 - 500)/500) * 100 = 0,1900 \%$$

- **Desviación estándar**

$$S = 1,7919 \mu\text{L}$$

- **Coefficiente de variación**

$$CV\% = (100 * S) / V$$

$$CV\% = (100 * 1,7919) / 499,05 = 0,3577$$

Se realizó los mismos pasos con otros volúmenes para todas las micropipetas.

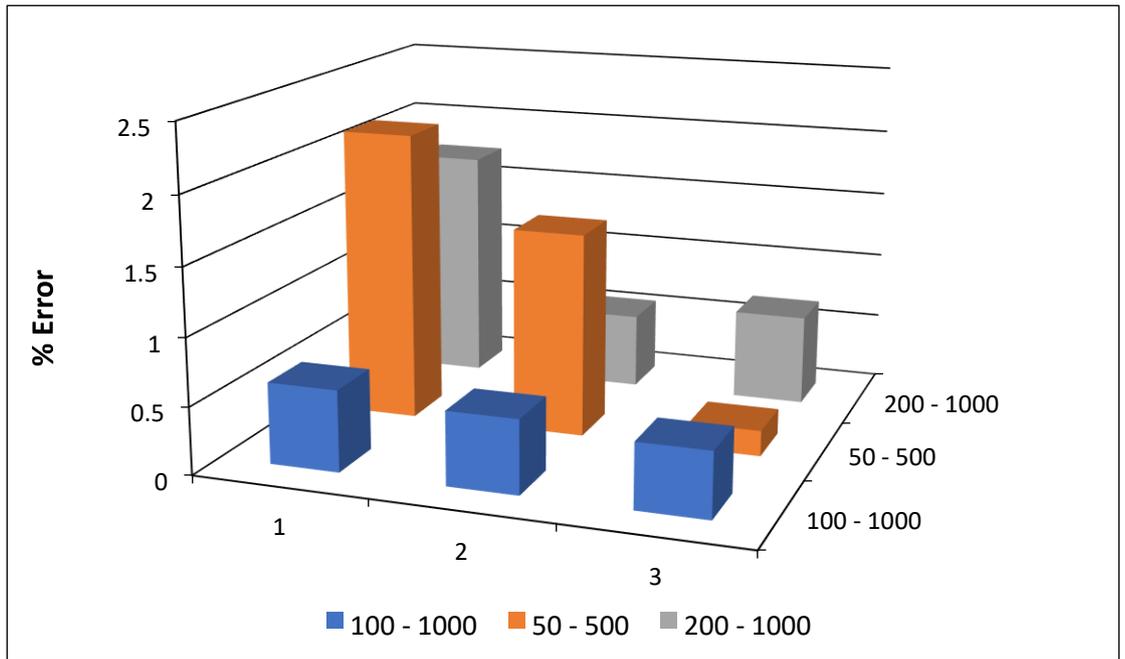
Los resultados encontrados se detallan en la Tabla N° 07, y en la Figura N° 02, que se presentan a continuación:

**Tabla 7: Resultados de la calibración de las micropipetas**

<b>MICRO PIPETA</b>	<b>PESO MEDIO (mg)</b>	<b>VOLUME N MEDIO (µL)</b>	<b>VOLUMEN NOMINAL (µL)</b>	<b>% ERROR</b>	<b>DESVIACION ESTANDAR (µL)</b>	<b>COEFICIENTE DE VARIACION</b>
<b>200-1000 µL</b>	152.03	152.6048	150	1.7366	0.9237	0.6030
	751.36	754.2011	750	0.5601	0.0106	0.0014
	1002.975	1006.7672	1000	0.6767	4.1612	0.4133
<b>50-500 µL</b>	175.45	176.1134	180	2.1592	6.1834	3.4978
	202.27	203.035	200	1.5174	0.9994	0.4904
	497.17	499.050	500	0.1900	1.7919	0.3577
<b>100-1000 µL</b>	200.45	201.2080	200	0.6040	0.9080	0.4513
	500.84	502.7338	500	0.5468	0.7691	0.1530
	800.84	803.8682	800	0.4835	1.5114	1.1880
	1005.3371	1005.3371	1000	0.5337	1.1851	0.1179

FUENTE: Elaboración propia

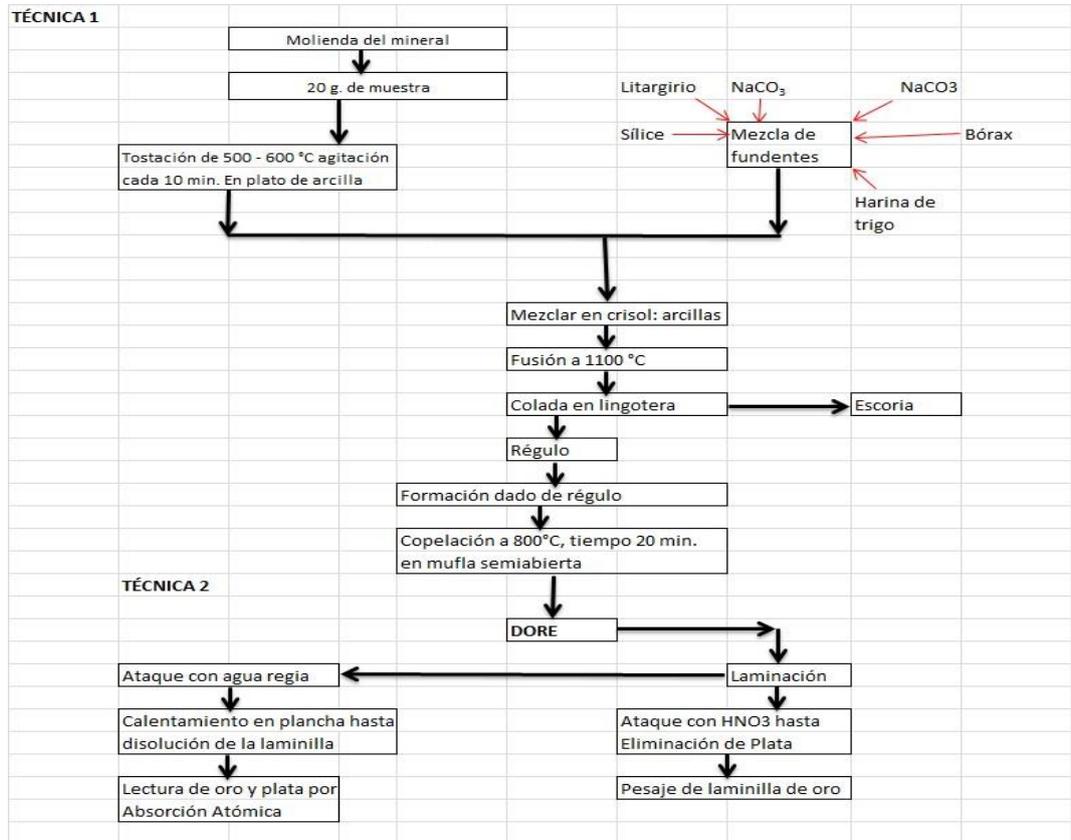
**Figura 2: Porcentaje de error de las micropipetas**



FUENTE: Elaboración propia

Según los datos que se muestran en la Figura N° 02, se puede observar que la micropipeta con mayor tasa de error es la micropipeta de 50-500 µl. Esto significa que cuanto menor sea el volumen, mayor será la tasa de error. La micropipeta con la tasa de error más baja en todo el rango de volumen fue 100-1000 µl. Esto se debe a que la micropipeta requiere menos energía y tiene un volumen mayor, lo que reduce la tasa de error.

**Figura 3: Esquema general de las técnicas de ensayo al fuego y absorción atómica para determinación de oro y plata en muestras minerales**



FUENTE: Elaboración propia

#### 4.2.5. Ensayo al fuego (Técnica 1)

La importancia de esta prueba es determinar el contenido de oro y plata de una muestra de mineral. Esta prueba se realiza sobre una muestra de suelo de 20 g y según los pasos antes mencionados. De la misma manera, que esta prueba no está completamente estandarizada y su correcta realización requiere que el usuario tenga una amplia experiencia en su realización, es necesario realizar varias pruebas para adquirir las habilidades necesarias para este tipo de pruebas analíticas. Resultados. Puede conducir a graves pérdidas en la presentación de resultados. Para dominar la tecnología y así optimizarla, fueron necesarias cuatro series de pruebas. Las concentraciones de oro y plata en la primera serie de pruebas mostraron un alto margen de error, lo que requirió una segunda serie de

pruebas. Esta serie incluyó experimentos con dos muestras diferentes para evaluar la influencia del contenido en la precisión de la técnica. Luego se llevó a cabo una tercera serie de experimentos para perfeccionar la técnica utilizada. La cuarta serie de pruebas realizadas en la muestra C, permitió evaluar la eficacia de esta técnica en una muestra con un alto contenido de sulfuros de oro y plata.

Se seleccionaron para realizar pruebas tres modelos de problemas utilizados en el desarrollo de proyectos anteriores en las unidades de laboratorio, cuyas principales características se presentan en la Tabla N° 08.

Para las muestras A y B, la prueba de fuego fue suficiente para determinar el contenido de oro y plata. Para la Muestra C, no estaba claro si el oro y la plata eran reales porque no hubo suficientes pruebas para garantizar la exactitud de los resultados.

**Tabla 8: Detalles de las muestras utilizadas en el mejoramiento de la técnica de análisis**

<b>Muestras</b>	<b>Cont. Au (g/T)</b>	<b>Cont. Ag (g/T)</b>	<b>Observaciones</b>
<b>A</b>	15	27.2	Bajos sulfuros
<b>B</b>	23	35.7	Bajos sulfuros
<b>C</b>	110.7	352.3	Bajos sulfuros

FUENTE: Elaboración propia

El procesamiento requerido para obtener una muestra adecuada para pruebas de incendio se ve mejor en el diagrama de la Figura 4.

**Figura 4: Metodología seguida en la preparación de una muestra mineral para ensayo al fuego**



FUENTE: Elaboración propia

#### **4.2.6. Ensayo al fuego – absorción atómica (Técnica 2)**

En la técnica combinada, prueba de fuego - absorción atómica, el procedimiento es el mismo que en la técnica 1, la diferencia es que la película de oro no se trata con  $\text{HNO}_3$  para disolver la plata, sino que se disuelve completamente. Luego se determina las concentraciones de oro y plata mediante espectrofotometría de absorción atómica.

#### **4.2.7. Resultados obtenidos de la determinación de Oro y Plata**

Después de elegir los métodos, se llevaron a cabo varios experimentos para adquirir la experiencia necesaria para presentar los resultados con la suficiente fiabilidad.

Los resultados obtenidos se plasman en las Tablas N°.09, al 12.

**Tabla 9: Resultados primera serie de ensayos**

<b>PRUEB A</b>	<b>MUES TRA</b>	<b>W Minera l (g)</b>	<b>TEC NICA</b>	<b>W Regul o (g)</b>	<b>W Doré (g)</b>	<b>Cont. Au (g/T)</b>	<b>Cont. Ag (g/T)</b>
1	A1	15	1	20	0.067	19.33	10.83
2	A1	15	1	19	0.064	11.99	16.14
3	A1	15	1	26	0.092	28.00	18.50
4	A1	20	1	25	0.126	22.80	25.26
5	A1	20	1	25	0.146	21.00	37.50
6	A1	20	2	27	0.078	0.77	0.79
7	A1	20	2	25	0.139	23.61	31.90
8	A1	20	2	25	0.104	14.63	23.37
9	A1	20	2	24	0.114	17.30	25.20
10	A1	20	2	24	0.106	16.70	21.80
11	A1	20	2	28	0.106	18.90	19.60

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 10: Resultados segunda serie de ensayos**

<b>PRUE BA</b>	<b>MUES TRA</b>	<b>W Mineral (g)</b>	<b>TEC NIC A</b>	<b>W Regulo (g)</b>	<b>W Doré (g)</b>	<b>Cont. Au (g/T)</b>	<b>Cont. Ag (g/T)</b>
12	A1	15	2	20	0.077	26.09	10.74
13	A1	15	2	17	0.096	17.31	32.11
14	B1	20	1	27	0.181	29.00	46.50
15	B1	20	1	26	0.183	34.65	41.44
16	B1	15	2	20	0.119	28.20	36.50
17	B1	15	1	17	0.121	0.24	79.70

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11: Resultados de la tercera serie de ensayos**

<b>PRUE BA</b>	<b>MUEST RA</b>	<b>W Mineral (g)</b>	<b>TECNICA</b>	<b>W Regulo (g)</b>	<b>W Doré (g)</b>	<b>Cont. Au (g/T)</b>	<b>Cont. Ag (g/T)</b>
18	A1	15	2	18	0.073	15.17	18.99
19	A1	15	2	16	0.088	17.45	26.70
20	A1	15	2	15	0.075	13.04	22.44
21	A1	15	2	14	0.108	31.92	25.57
22	A1	15	2	15	0.079	14.68	23.49
23	BLANCO	40 LITARG	2	30	0.027	0.08	6.68
24	BLANCO	40 LITARG	1	32	0.031	0.00	7.75

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12: Resultados de la cuarta serie de ensayos**

<b>PRUEBA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>W Mineral (g)</b>	<b>TECNICA</b>	<b>W Regulo (g)</b>	<b>W Doré (g)</b>	<b>Cont. Au (g/T)</b>	<b>Cont. Ag (g/T)</b>
25	C1	15	1	15	0.190	126.66	314.66
26	C1	15	2	18	0.178	118.66	432.00
27	C1	15	1	18	0.182	121.00	400.80
28	C1	15	1	16	0.184	122.66	410.65
29	C1	15	1	14	0.198	132.00	408.00
30	C1	15	1	17	0.173	115.31	426.08

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos se determinaron varios parámetros estadísticos para evaluar el óptimo y precisión de los datos a estudiar. Esto ayuda a determinar el nivel de credibilidad de la metodología utilizada por el que lo estudia. Los lineamientos estadísticos calculados se pueden encontrar en la Tabla N° 13 al 16.

**Tabla 13: Resultados primera serie de ensayos**

<b>PRUEBA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>W Minera l(g)</b>	<b>TECNICA</b>	<b>W Regulo (g)</b>	<b>W Doré (g)</b>	<b>Cont. Au (g/T)</b>	<b>Cont. Ag (g/T)</b>
1	A1	15	1	20	0.067	19.33	10.83
2	A1	15	1	19	0.064	11.99	16.14
3	A1	15	1	26	0.092	28.00	18.50
4	A1	20	1	25	0.126	22.80	25.26
5	A1	20	1	25	0.146	21.00	37.50
6	A1	20	2	27	0.078	0.77	0.79
7	A1	20	2	25	0.139	23.61	31.90
8	A1	20	2	25	0.104	14.63	23.37
9	A1	20	2	24	0.114	17.30	25.20

<b>10</b>	A1	20	2	24	0.106	16.70	21.80
<b>11</b>	A1	20	2	28	0.106	18.90	19.60

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14: Resultados segunda serie de ensayos**

<b>PRUE BA</b>	<b>MUES TRA</b>	<b>W Mineral al (g)</b>	<b>TECN ICA</b>	<b>W Regul o (g)</b>	<b>W Doré (g)</b>	<b>Cont. Au(g/ T)</b>	<b>Cont. Ag (g/T)</b>
<b>12</b>	A1	15	2	20	0.077	26.09	10.74
<b>13</b>	A1	15	2	17	0.096	17.31	32.11
<b>14</b>	B1	20	1	27	0.181	29.00	46.50
<b>15</b>	B1	20	1	26	0.183	34.65	41.44
<b>16</b>	B1	15	2	20	0.119	28.20	36.50
<b>17</b>	B1	15	1	17	0.121	0.24	79.70

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15: Resultados de la tercera serie de ensayos**

<b>PRUE BA</b>	<b>MUESTR A</b>	<b>W Mineral (g)</b>	<b>TECN ICA</b>	<b>W Reg ulo (g)</b>	<b>W Doré (g)</b>	<b>Cont . Au (g/T)</b>	<b>Cont. Ag (g/T)</b>
<b>18</b>	A1	15	2	18	0.073	15.17	18.99
<b>19</b>	A1	15	2	16	0.088	17.45	26.70
<b>20</b>	A1	15	2	15	0.075	13.04	22.44
<b>21</b>	A1	15	2	14	0.108	31.92	25.57
<b>22</b>	A1	15	2	15	0.079	14.68	23.49
<b>23</b>	BLANCO	40	2	30	0.027	0.08	6.68
		LITARG					
<b>24</b>	BLANCO	40	1	32	0.031	0.00	7.75
		LITARG					

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16: Resultados de la cuarta serie de ensayos**

<b>PRUEBA</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>W Mineral (g)</b>	<b>TECNICA</b>	<b>W Regulo (g)</b>	<b>W Doré (g)</b>	<b>Cont. Au (g/T)</b>	<b>Cont. Ag (g/T)</b>
25	C1	15	1	15	0.190	126.66	314.66
26	C1	15	2	18	0.178	118.66	432.00
27	C1	15	1	18	0.182	121.00	400.80
28	C1	15	1	16	0.184	122.66	410.65
29	C1	15	1	14	0.198	132.00	408.00
30	C1	15	1	17	0.173	115.31	426.08

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos se determinaron varios parámetros estadísticos para evaluar el óptimo y precisión de los datos a estudiar. Esto ayuda a determinar el nivel de credibilidad de la metodología utilizada por el analista. Los parámetros estadísticos calculados se pueden encontrar en las Tablas N° 17 al 21.

**Tabla 17: Parámetros estadísticos primera serie de ensayos**

<b>MUESTRA</b>	<b>CONT. T. Au (g/T)</b>	<b>CONT. Ag (g/T)</b>	<b>% E. Au</b>	<b>% E. Ag</b>	<b>DESV IACION ESTADISTICA</b>	<b>COEFICIENTE DE VARIACION (%)</b>	<b>% EXACTITUD PROMEDIO</b>
A1	19.33	10.83	28.87	60.18	4.660	23.987	70.490
A1	11.99	16.14	20.02	40.66			
A1	28.00	18.50	86.67	31.99			
A1	22.80	25.26	52.00	7.13			
A1	21.00	37.50	40.00	37.87			
A1	23.61	31.90	57.40	17.28			
A1	14.63	23.37	2.47	14.08			

<b>A1</b>	17.30	25.20	15.33	7.35
<b>A1</b>	16.70	21.80	11.33	19.85
<b>A1</b>	18.90	19.60	26.00	27.94
<b>PROM</b>	19.43	23.01	34.01	26.43

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros estadísticos para la segunda serie de ensayos se calcularon de acuerdo a las muestras empleadas, así:

**Tabla 18: Parámetros estadísticos segunda serie de ensayos**

<b>MUES TRA</b>	<b>CON T. Au (g/T)</b>	<b>CON T. Ag (g/T)</b>	<b>% E. Au</b>	<b>% E. Ag</b>	<b>DESVI ACION ESTAN DAR</b>	<b>COEFI CIENT E VARIAC . (%)</b>	<b>% EXACTI TUD PROMED IO</b>
<b>A1</b>	26.09	10.74	73.93	60.51	6.208	28.610	55.330
<b>A1</b>	17.31	32.11	15.40	18.05			
<b>PROM.</b>	21.70	21.43	44.67	39.28			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19: Parámetros estadísticos segunda serie de ensayos**

<b>MUES TRA</b>	<b>CON T. Au (g/T)</b>	<b>CON T. Ag (g/T)</b>	<b>% E. Au</b>	<b>% E. Ag</b>	<b>DESVI ACION ESTAN DAR</b>	<b>COEFI CIENT E VARIAC . (%)</b>	<b>% EXACTI TUD PROME DIO</b>
<b>B1</b>	29.00	46.50	26.09	30.25			
<b>B1</b>	34.65	41.44	50.65	16.08	3.516	11.483	66.880
<b>B1</b>	28.20	36.50	22.61	2.24			
<b>PROM.</b>	30.62	41.48	33.12	16.19			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20: Parámetros estadísticos tercera serie de ensayos**

<b>MUES TRA</b>	<b>CON T. Au (g/T)</b>	<b>CON T. Ag (g/T)</b>	<b>% E. Au</b>	<b>% E. Ag</b>	<b>DESV IACI ON ESTA NDA R</b>	<b>COEF ICIEN TE VARIA C. (%)</b>	<b>% EXACTITU D PROMEDIO</b>
<b>A1</b>	15.17	18.99	1.13	30.2			
<b>A1</b>	17.45	26.70	16.33	1.84	1.821	12.071	99.430
<b>A1</b>	13.04	22.44	13.07	17.51			
<b>A1</b>	14.68	23.49	2.13	13.64			
<b>PROM ED.</b>	15.09	22.91	8.17	15.80			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21: Parámetros estadísticos cuarta serie de ensayos**

<b>MUES TRA</b>	<b>CONT. Au(g/T)</b>	<b>CONT. Ag(g/T)</b>	<b>% E. Au</b>	<b>% E. Ag</b>	<b>DESVIAC ION ESTANDA R</b>	<b>COEFI CIENT E VARIA C. (%)</b>	<b>% EXACTITU D PROMEDIO</b>
<b>C1</b>	126.66	314.66	14.42	10.68			
<b>C1</b>	118.66	432.00	7.19	22.62			
<b>C1</b>	121.00	400.80	9.30	13.77			
<b>C1</b>	122.66	410.65	10.80	16.56	5.933	4.835	89.15
<b>C1</b>	132.00	408.00	19.24	15.81			
<b>C1</b>	151.31	426.08	4.16	20.94			
<b>PRO M</b>	128.72	398.70	10.85	16.73			

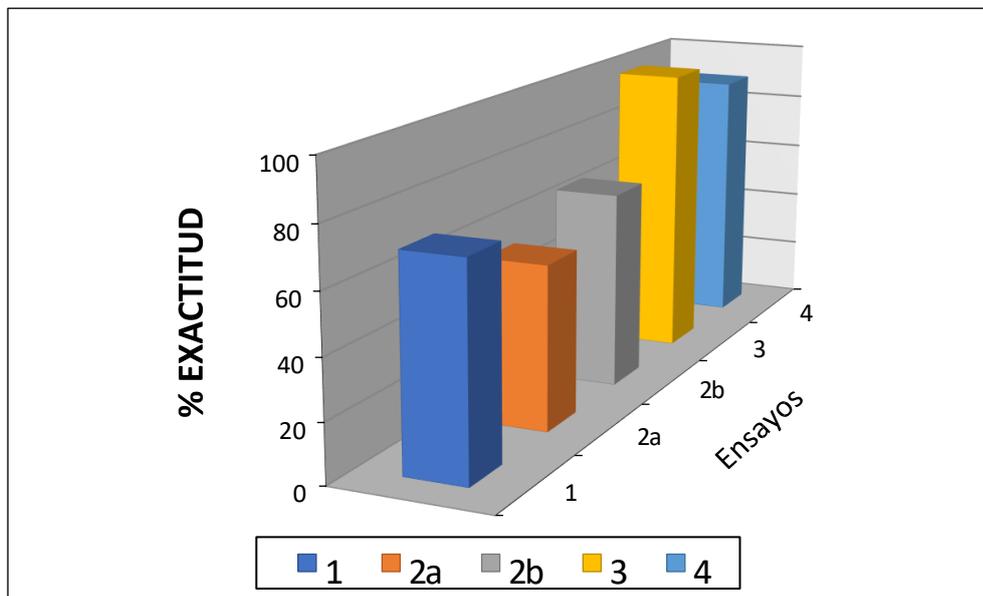
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.8. Comparación de técnicas analíticas de ensayo al fuego

Teniendo en cuenta los datos contenidos en las Tablas N°. 18 al 21, se realizó un procesamiento estadístico que permitió calcular algunos parámetros como se indica a continuación:

a). **Porcentaje de precisión de la serie de pruebas.** La Figura N° 05 muestra el porcentaje de precisión de las pruebas realizadas.

*Figura 5: Porcentaje de exactitud de las series de ensayos*



FUENTE: Elaboración propia

Nota: Para fines estadísticos, se excluyeron las pruebas que revelaron errores de procedimiento que resultaron en valores de contenido de oro muy altos o muy bajos en comparación con el contenido real.

Las pruebas eliminadas son:

Serie 1, Prueba 6 (perdida durante el lanzamiento).

Serie 2, Prueba 17 (combinando ambos métodos).

Serie 3, Prueba 21 (Problema de lanzamiento).

**b). Cambiar la tasa de error según la serie de pruebas.**

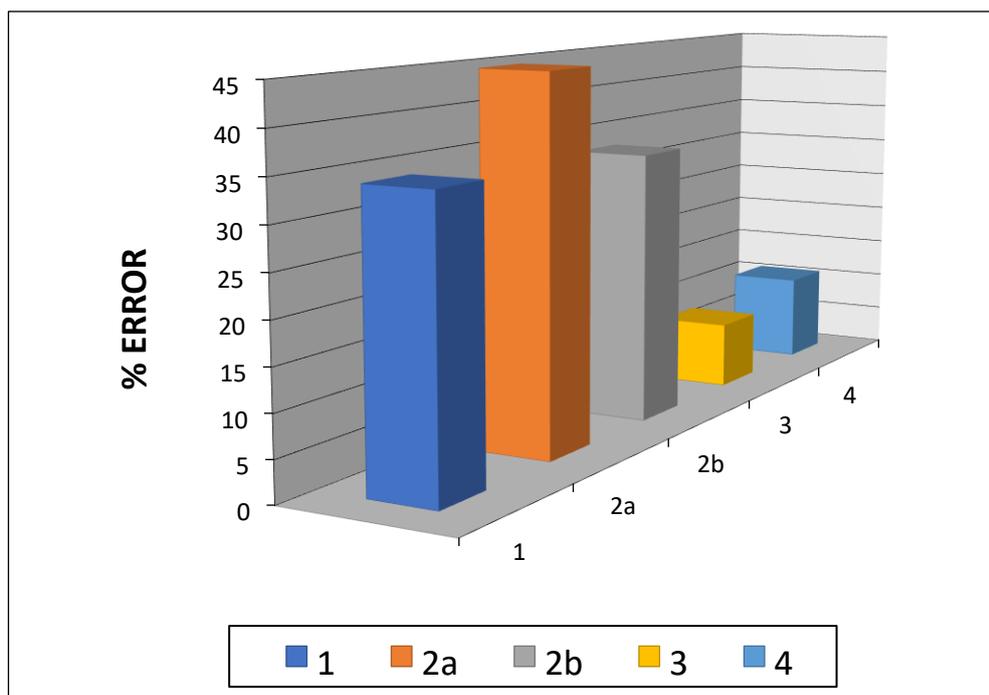
En la Tabla N° 22 y la Figura N° 06 se muestran el error porcentual de la serie de pruebas.

**Tabla 22: Porcentajes de error de tenores de oro**

ANALISIS DE DATOS	PORCENTAJE DE ERROR
ANALISIS A	34,01
ANALISIS B1	44,67
ANALISIS B2	33,12
ANALISIS C	8,17
ANALISIS D	10,85

Fuente: Elaboración propia

**Figura 6: Variación de los porcentajes de error con las series de ensayos**



FUENTE: Elaboración propia

El error porcentual promedio indica la tasa de error que ocurriría al realizar una prueba de fuego, independientemente del número de pruebas realizadas. La Figura N° 06 muestra que las tres primeras pruebas registraron tasas de error superiores al 30%. La tasa de error más alta se logró en la segunda serie

de experimentos (B1 y B2), mientras que en los dos últimos análisis de experimentos 3 y 4 la precisión de los experimentos mejoró significativamente y alcanzó tasas de error del 8,17% y 10,85%. Realizando una comparación de las tasas de error de las series A, B1 y C correspondientes a la muestra A, resulta que el error de la primera muestra es del 34,01%. En el caso del análisis B1, el error debería haber disminuido, pero en cambio aumentó hasta el 44,67%. De hecho, el primer conjunto contenía opiniones de expertos para este tipo de pruebas, mientras que el segundo no, sugiriendo posibles errores en el desarrollo del proceso. En el tercer ciclo de pruebas se observó una importante reducción de errores del 8,17%, que se debe a la combinación de varios factores: mejor conocimiento de la tecnología y su mejora, gran efecto a las fases deficientes de los pasos y mejor compartimentación de las tareas del grupo de trabajo. La serie B2, que corresponde a las pruebas de la muestra B, se realizó de la misma manera con la serie B1, por lo que se esperaba una reducción de errores. Así mismo, por las mismas razones que en la serie B1, se determinó un error del 33,12%. En la cuarta serie, que incluía pruebas para la muestra C, el error aumentó ligeramente respecto a la tercera serie (10,87%), contrariamente a lo esperado.

Actualmente no hay forma de explicar la causa de este error. Es necesario evaluar la precisión de la secuencia (semilla). Una serie de pruebas cambiaron la precisión de las mediciones del contenido de oro.

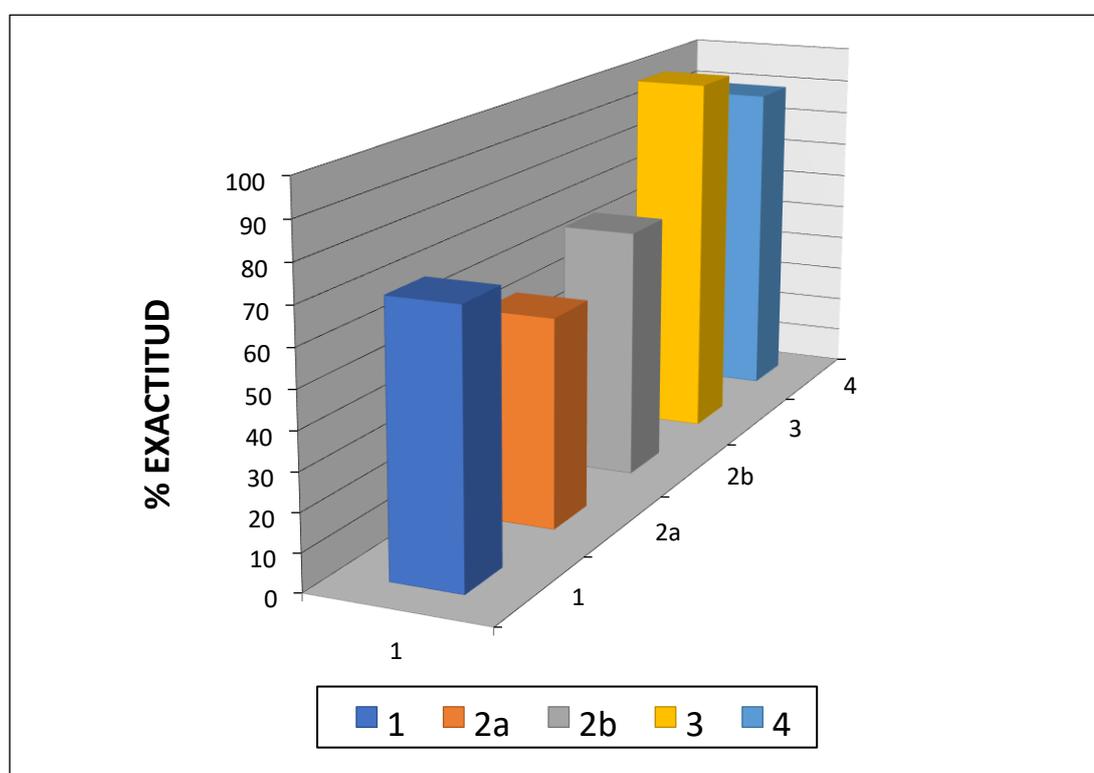
La Tabla N° 23 y la Figura N° 07 muestran cómo varía la precisión de las mediciones del contenido de oro a lo largo de una serie de pruebas.

**Tabla 23: Porcentajes de exactitud de contenido de oro**

ANALISIS DE DATOS	PORCENTAJE DE EXACTITUD
ANALISIS A	70,49
ANALISIS B1	55,33
ANALISIS B2	66,88
ANALISIS C	99,43
ANALISIS D	89,15

Fuente: Elaboración propia

**Figura 7: Variación del porcentaje de exactitud de los contenidos de oro con las series de ensayos**



FUENTE: Elaboración propia

Al procesar datos estadísticos, es importante evaluar el error y la precisión porque, mientras que el porcentaje de error promedio indica el rango de error de la prueba, el porcentaje de precisión evalúa las pruebas entre sí y determina qué tan cerca están entre sí en comparación con el valor del contenido real determinado en la serie de pruebas. En la primera serie de pruebas, la

precisión de la determinación del contenido de oro fue del 70,93%. En la segunda serie de pruebas a y b, la disminución de la precisión, contrariamente a lo esperado, probablemente se debe a errores de procedimiento. Si miramos los resultados de la tercera serie, podemos observar una precisión muy alta, casi el 100% y el porcentaje de error estándar más bajo (8,17%), lo que demuestra la correcta aplicación de la técnica. Y podemos decir que algunas pruebas en estas condiciones proporcionan información fiable. Esto se refleja en los datos presentados en la Tabla N° 23 y en la Figura No. 07. En la cuarta serie de pruebas, la tasa de precisión disminuyó dado que no se produjeron errores de procedimiento, se puede suponer que el valor real no es representativo de la muestra. Esto puede justificarse evaluando la precisión de la serie.

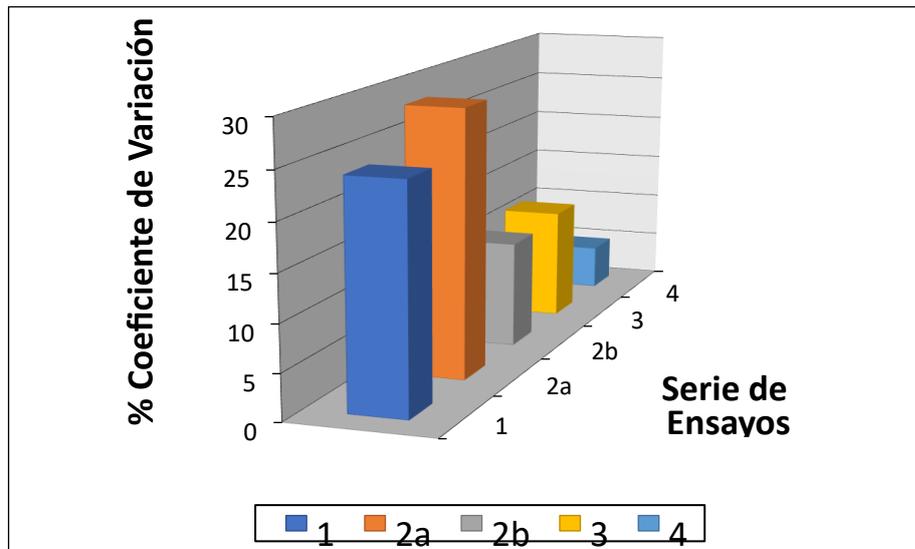
**c). Variación de la precisión en la medición del contenido de oro en las series de ensayos**

*Tabla 24:Rango y coeficiente de variación de las series de ensayos*

<b>MUESTRA</b>	<b>RANGO</b>	<b>COEFICIENTE DE VARIAC. (%)</b>
<b>MUESTRA A</b>	59,820	23,987
<b>MUESTRA B1</b>	40,461	28,610
<b>MUESTRA B2</b>	21,067	11,483
<b>MUESTRA C</b>	29,234	12,071
<b>MUESTRA D</b>	13,601	4,835

Fuente: Elaboración propia

**Figura 8: Coeficiente de variación de la serie de ensayos**



FUENTE: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla N° 24 y la Figura N° 08, entre las pruebas correspondientes al modelo A, el tercer conjunto de pruebas tiene la menor cobertura de prueba y la menor desviación estándar. Esto significa que los datos de este conjunto están pocos separados entre sí y, por tanto, más precisos. La serie correspondiente a la muestra B mostró mayor precisión que la serie correspondiente a la muestra A porque la muestra B contenía más oro y los resultados fueron más reproducibles. Finalmente, el circuito correspondiente al modelo C mostró la mayor precisión. Esto confirma que el contenido de oro tiene un impacto significativo en la precisión. Esto se debe a que cuanto mayor es el contenido de oro, menos sensible es la técnica a la pérdida de este metal durante las pruebas. Considerando los resultados de error promedio, exactitud y precisión del cuarto conjunto de pruebas, podemos concluir lo siguiente:

Los datos de ley de oro de esta serie están muy próximos entre sí, lo que significa que no están muy difundidos. Se espera que este nivel de prueba tenga la tasa de error promedio más baja y la precisión más alta porque se

ganó experiencia en el uso de la técnica y no hubo errores al realizarla, pero sucedió lo mismo, a la inversa. Esto concluye que la concentración estimada de la muestra C es incorrecta. Cuando observamos el origen de este valor, encontramos que no se proporcionaron suficientes datos para esta muestra para confirmar que este valor era real. Se considera que se ha logrado el objetivo del entrenamiento de prueba al fuego porque con el último equipo de prueba se logró una buena exactitud y precisión.

**Comparación de técnicas de determinación de la concentración de oro y plata.** Se consideraron dos criterios para seleccionar la técnica de prueba al fuego más adecuada: prueba F y tasa de error.

**d). Aplicación de la prueba de la F (7)**

Esta prueba le permite realizar las comparaciones de dos tecnologías y estudiar si existen diferencias significativas entre ellas. Se puede utilizar para comparar tratamientos desarrollados para la misma muestra. Se eligió el modelo A para este propósito porque tiene la mayor cantidad de datos disponibles.

Para esta prueba, se requiere calcular los siguientes parámetros:

$$F_{calculado} = \frac{S_1^2}{S_{11}^2}$$

Donde  $S_I$  y  $S_{II}$  son las desviaciones estándar de los datos obtenidos por las técnicas 1 y 2, siendo  $S_I$  la mayor desviación estándar y  $S_{II}$  la menor.

Grado de libertad =  $n - 1$  donde  $n$  es el número de datos para cada técnica.

Como se conocen los grados de libertad, se coloca  $F$  en la tabla. Al calcular  $F < F$  en tabla, no hay diferencia significativa entre los dos métodos.

A continuación, en la Tabla N° 25, se muestran los resultados de la prueba de la F:

**Tabla 25: Parámetros prueba de la F**

<b>ORO</b>			
<b>TECNICA</b>	<b>n</b>	<b>F CALCULADO</b>	<b>F TABULADO</b>
<b>Ensayo al fuego</b>	5	2,188881747	3,48
<b>Ensayo al fuego-AA</b>	11		
<b>PLATA</b>			
<b>TECNICA</b>	<b>n</b>	<b>F CALCULADO</b>	<b>F TABULADO</b>
<b>Ensayo al fuego</b>	5	2,929063227	3,48
<b>Ensayo al fuego-AA</b>	11		

FUENTE: Elaboración propia

**e). Comparación de los porcentajes de error de las dos técnicas**

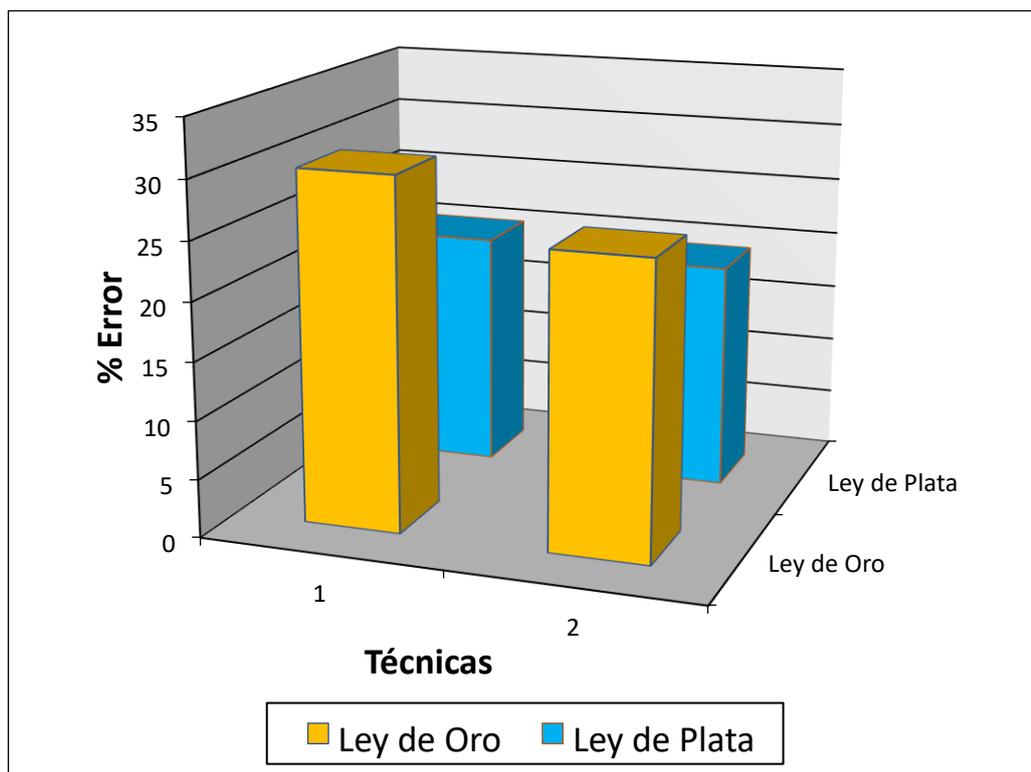
La Tabla N° 26 muestra las tasas de error para las variedades de oro y plata obtenidas por los dos métodos.

**Tabla 26: Porcentajes de error de los dos métodos utilizados**

<b>METODO</b>	<b>% ERROR LEY DE ORO</b>	<b>% ERROR LEY DE PLATA</b>
<b>Tradicional</b>	30,19	25,16
<b>Agua regia</b>	20,33	19,47

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 9: Porcentajes de error de los dos métodos utilizados**



FUENTE: Elaboración propia

Considerando los parámetros anteriores presentados en la Tabla N° 26 y Figura N° 09, se puede decir que:

Según los resultados del test F, no existen diferencias significativas entre las técnicas, por lo que se pueden aplicar de forma indiferente. Al observar las tasas de error para las determinaciones de oro y plata, se puede concluir que la tasa de error del ensayo de fuego convencional es mayor en ambos casos (oro y plata), mientras que el error es mayor para el oro. Las razones de este comportamiento pueden ser:

Errores en el pesaje final del oro, porque la báscula no es lo suficientemente precisa para valores tan pequeños. El lavado inadecuado del precipitado de plata que se produce entre la plata doré y los iones nitrato en la solución puede aumentar la masa del leinik. Cuando la plata ataca al oro, deja huecos que hacen que el botón de oro se vuelva quebradizo, lo que facilita que se pierda

el oro durante el lavado. Analizando los resultados de los dos parámetros anteriores, se decidió utilizar la prueba de fuego - absorción atómica para pesos de doré inferiores a 0,00080, debido a que esta técnica mostró un mayor porcentaje de exactitud y precisión, factores importantes especialmente cuando se trabaja con cantidades de plata.

Para pesas mayores, se recomendó la prueba de fuego convencional porque, a pesar de la mayor tasa de error, es más económica y proporciona resultados fiables para pesas mayores.

#### 4.2.9. Mejoramiento del método de titulación de Cianuro

Para la valoración de cianuro, utilizamos 25 ml de solución de cianuro y solución de yoduro de potasio al 5 % como indicadores y valore con solución de nitrato de plata hasta que aparezca una opalescencia amarilla.

Al igual que con la digestión ácida, esta prueba se agregó para comprender y utilizar la titulación potenciométrica. Se tituló utilizando dos técnicas: (A) titulación manual y (B) titulación automática. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla N°. 27.

**Tabla 27: Resultados de la determinación de cianuro libre**

MUESTRAS	METODO	Vol. (ml) AgNO <sub>3</sub>	CONCENTRACION (M)
1	A	9,50	0,076
	B	9,26	0,074
2	A	9,40	0,075
	B	9,34	0,075
3	A	9,50	0,076
	B	9,34	0,075
4	A	9,50	0,076
	B	9,42	0,075

FUENTE: Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos, se puede decir que el método de titulación manual es más preciso, pero menos preciso que el método de titulación automática porque la titulación automática aumenta el micro litro.

Entonces se recomienda utilizar un valorador automático para la determinación de cianuro en experimentos posteriores.

#### **4.2.10. Control químico analítico en los procesos de recuperación**

##### **hidrometalurgia del oro**

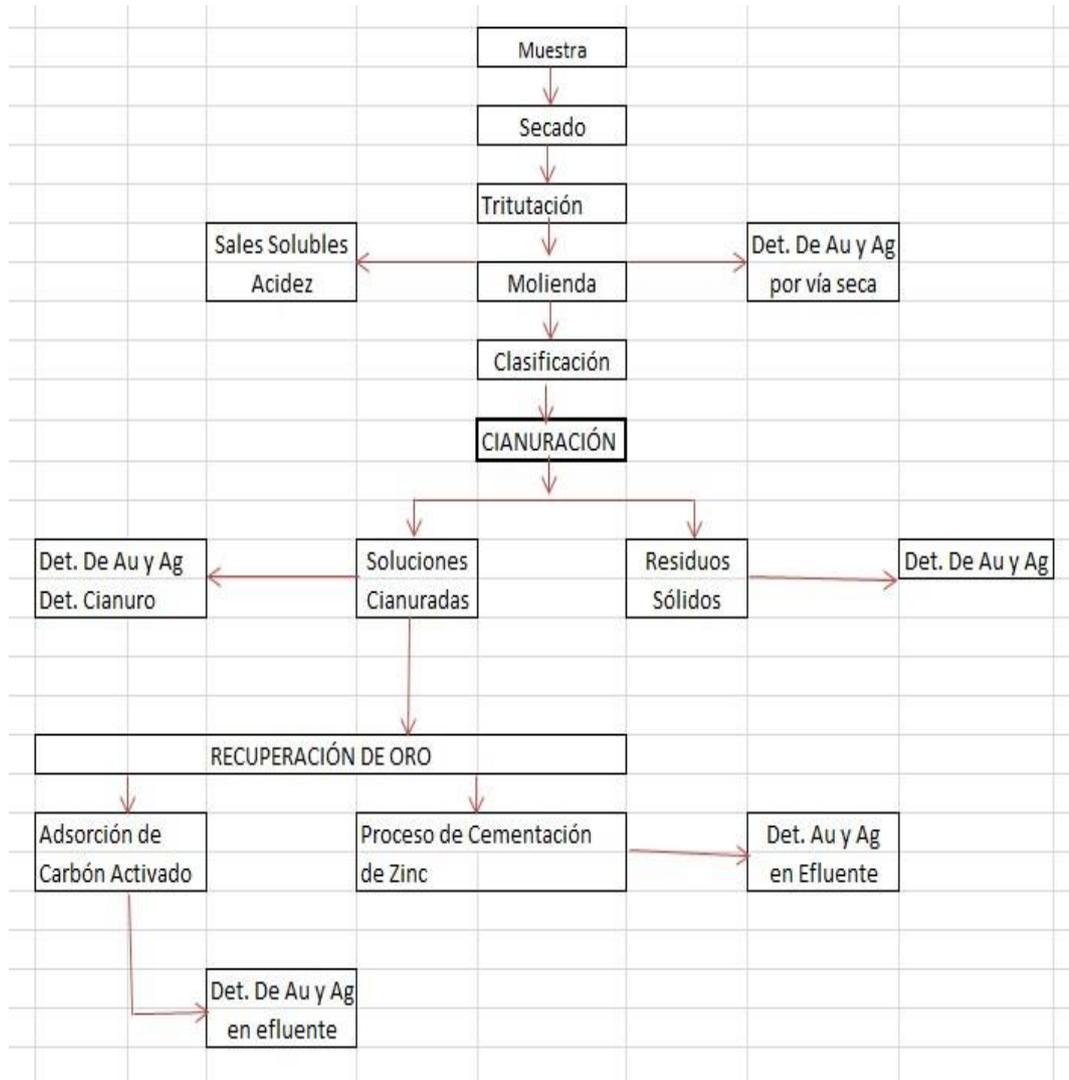
La titulación de cianuro utilizó 25 ml de solución de cianuro, a la que se le añadió como indicador una solución de yoduro de potasio al 5%, la cual se tituló con solución de nitrato de plata hasta que apareció una opalescencia amarilla.

Esta sección presenta y analiza los resultados de un análisis de procesos químicos analíticos e hidrometalúrgicos relacionados con la explotación de minerales portadores de oro.

Se analizaron y adaptaron las pruebas de análisis químicos más convenientes, luego se realizaron diferentes análisis a cada muestra, adaptando cada proceso a las condiciones imperantes en el laboratorio del Grupo de Investigación en Biohidrometalurgia de Minerales y Medio Ambiente.

El diagrama general del proceso metalúrgico de recuperación del oro se muestra en la Figura N° 10. Muestra los pasos a los que se somete una muestra de mineral de oro y también destaca los análisis químicos involucrados en el proceso.

**Figura 10: Diagrama de flujo del proceso hidrometalúrgico de extracción aurífera, resaltando los análisis químicos involucrados**



FUENTE: Elaboración propia

#### 4.2.11. Control químico de materiales

Las pruebas de control químico en varias muestras incluyen determinación de sales solubles en agua, acidez, consumo de cianuro, determinación de oro y plata y determinación de oro por tamaño de partícula.

##### 4.2.11.1. Muestras individuales

Se contó con 46 muestras individuales se les determinó el contenido de oro y de plata; los resultados obtenidos se consignan en las Tablas N°. 28 al 30.

**Tabla 28: Contenidos de oro y de plata de las muestras de Mina Nivel 25**

MUESTRA	Contenido (g/Ton)		MUESTRA	Contenido (g/Ton)	
	Au	Ag		Au	Ag
<b>FER-SR-1</b>	1,44	0,06	FER-SR-363	5,57	3,42
<b>FER -SH-3</b>	1,71	3,79	FER-BO-3	6,95	25,05
<b>FER -SR-2</b>	2,37	0,13	FER-RP-1	8,00	42,08
<b>FER -AF-1</b>	2,92	3,51	FER-SH-2	8,00	20,08
<b>FER -MS-3</b>	3,15	2,58	FER-MS-4	10,00	37,75
<b>FER -MS-1</b>	3,57	3,05	T2001- FER -1	14,25	52,25
<b>FER -BO-2</b>	4,00	24,50	FER -RP-2	19,00	73,49
<b>FER -SH-1</b>	4,64	21,60			

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 29: Contenido de oro y de plata de las muestras de Mina Nivel 35**

MUESTRA	Contenido (g/Ton)		MUESTR A	Contenido (g/Ton)	
	Au	Ag		Au	Ag
<b>FER -AR-355</b>	1,48	Trazas	FER -JP-366	8,33	6,92
<b>FER -LT-2</b>	2,56	4,19	FER -JR-1	11,58	3,52
<b>FER -JJ-357</b>	3,45	3,80	FER -AR- 352	13,48	7,77
<b>FER -JP-367</b>	3,47	4,94	FER -AR- 351	14,80	18
<b>FER -JJ-3</b>	3,89	4,69	FER -JJ-2	17,41	3,84
<b>FER -JJ-356</b>	3,94	5,82	FER-JP-365	17,75	50,24
<b>FER -LT-3</b>	3,98	13,27	FER-AR-353	17,97	5,03
<b>FER -JJ-1</b>	4,24	6,50	FER-JP-364	24,47	76,15
<b>FER -AR-354</b>	4,78	4,63	FER-JCA- 369	48,34	10,41
<b>FER-JCA-368</b>	6,02	13,99	FER-JG-2	83,60	20,64
<b>FER -Mcebo1</b>	7,78	Trazas	FER-JG-1	121,0 8	22,87
<b>FER -Mcebo2</b>	7,93	Trazas	FER-JM-1	145,0 0	32,87
<b>FER -LT-1</b>	8,17	40,90			

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 30: Contenidos de oro y de plata de las muestras de Mina Nivel 30**

MUES TRA	Contenido (g/Ton)		MUESTRA	Contenido (g/Ton)	
	Au	Ag		Au	Ag
FER- MC-1	1,39	4,86	FER-AR-1	6,39	Trazas
FER- AR-3	3,16	8,09	FER-HI-358	7,62	16,63
FER- MA- 362	5,97	2,28	FER-HI-360	46,00	27,00

FUENTE: Elaboración propia

Como se verá en la Tabla N°. 28, respecto a las muestras del nivel de la mina 25, el contenido de plata es mayor en proporción a la ley del oro; en el nivel de mina 35 la cosa es diferente, las muestras analizadas tienen mayor contenido de oro que de plata; no existe correlación en el nivel mina 30 porque hay muestras con mayor contenido de oro y otras donde el contenido de plata supera al contenido de oro.

Además, los resultados obtenidos muestran algunas muestras muy ricas en oro, como se ve en algunas de las muestras a nivel de mina 35, y otras muy ricas en plata, como se ve en las muestras a nivel de mina 25.

En las Tablas N°. 28, 29 y 30, afirmamos que las tres minas aportan gran riqueza, y que su explotación es rentable.

**a) Mezclas**

Luego de analizar las muestras individuales, se prepararon diferentes combinaciones o mezclas de muestras con las mismas propiedades debido a que muestras con propiedades similares reaccionan de la misma manera a los diferentes procesos a los que pueden ser sometidas.

La formación de mezclas es muy importante, debido a que la planta procesa muestras con diferentes usos, y conociendo las características de cada muestra, tienen la destreza de juntarse, por lo tanto, los pasos para la extracción son los mejores.

Un análisis inicial de caracterización macroscópica de las muestras reveló que contienen dos grupos mineralógicos que pueden comportarse de manera diferente en el proceso de extracción metalúrgica, estos grupos son muestras oxidadas y de aspecto arcilloso y sulfuro presentes en cada mina.

Las Tablas N° 31, 32 y 33 muestran los tipos tecnológicos de mena que se conformaron.

***Tabla 31: Tipos tecnológicos de mena Mina Nivel 25***

<b>I</b> <b>Mena oxidada y arcillosa</b> <b>Contenido Au &lt; 6 g/Ton</b>	<b>II</b> <b>Mena sulfurada</b> <b>Contenido Au &gt; 6 g/Ton</b>
<b>FER-MS-1</b>	
<b>FER-SR-1</b>	FER-RP-1
<b>FER-SH-1</b>	FER-RP-2
<b>FER-SH-3</b>	FER-SH-2
<b>FER-SR-2</b>	T2001-FEO-1
<b>FER-MS-3</b>	FER-BO-3
<b>FER-BO-2</b>	FER-MS-4
<b>FER-AF-1</b>	

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 32: Tipos tecnológicos de mena Mina Nivel 35**

<b>III</b>	<b>IV</b>
<b>Mena oxidada y arcillosa</b>	<b>Mena sulfurada</b>
<b>Contenido de Au variable</b>	<b>Contenido de Au variable</b>
<b>FER-Mcebo-1</b>	
<b>FER-Mcebo-2</b>	<b>FER-JR-1</b>
<b>FER-JG-1</b>	<b>FER-JM-1</b>
<b>FER-JG-2</b>	<b>FER-LT-1</b>
<b>FER-JJ-1</b>	<b>FER-LT-2</b>
<b>FER-JJ-2</b>	<b>FER-LT-3</b>
<b>FER-JJ-3</b>	<b>FER-JP-364</b>
<b>FER-JJ-356</b>	<b>FER-JP-365</b>
<b>FER-JJ-357</b>	<b>FER-JP-366</b>
<b>FER-AR-351</b>	<b>FER-JP-367</b>
<b>FER-AR-352</b>	<b>FER-JCA-368</b>
<b>FER-AR-353</b>	<b>FER-JCA-369</b>
<b>FER-AR-354</b>	
<b>FER-AR-355</b>	

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 33: Tipos tecnológicos de mena Mina Nivel 30**

<b>V</b>	<b>VI</b>
<b>Mena oxidada y arcillosa</b>	<b>Mena sulfurada</b>
<b>Contenido de Au variable</b>	<b>Contenido de Au variable</b>
<b>FER-MC-1</b>	
<b>FER-AR-1</b>	<b>FER-MA-362</b>
<b>FER-AR-3</b>	<b>FER-HII-358</b>
<b>FER-HI-360</b>	

FUENTE: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla N° 31, los tipos técnicos de minerales de nivel mina 25 se forman de tal manera que guardan relación con su contenido de oro, el contenido de oro de los minerales oxidados y arcillosos no supera los 6 g/tonelada, mientras que el contenido de oro de los minerales oxidados y arcillosos no supera los 6 g/tonelada, el contenido de mineral de sulfuro es mayor que este valor.

En los minerales formados en las minas de nivel 35 y 30, las muestras que los elaboran no tienen relación con la concentración de oro, ambos minerales tienen concentraciones tanto bajas como altas.

**b) Conformación de los diferentes compósito**

Luego de definir los tipos tecnológicos de minerales, se formaron diferentes composiciones, para lo cual se tomaron cantidades iguales de cada muestra de mineral, luego se homogeneizaron en muestras representativas, las cuales se analizaron. En la Tabla N° 34 se muestra el peso final de cada mezcla o composición.

*Tabla 34: Peso de cada muestra para la conformación de los compósitos*

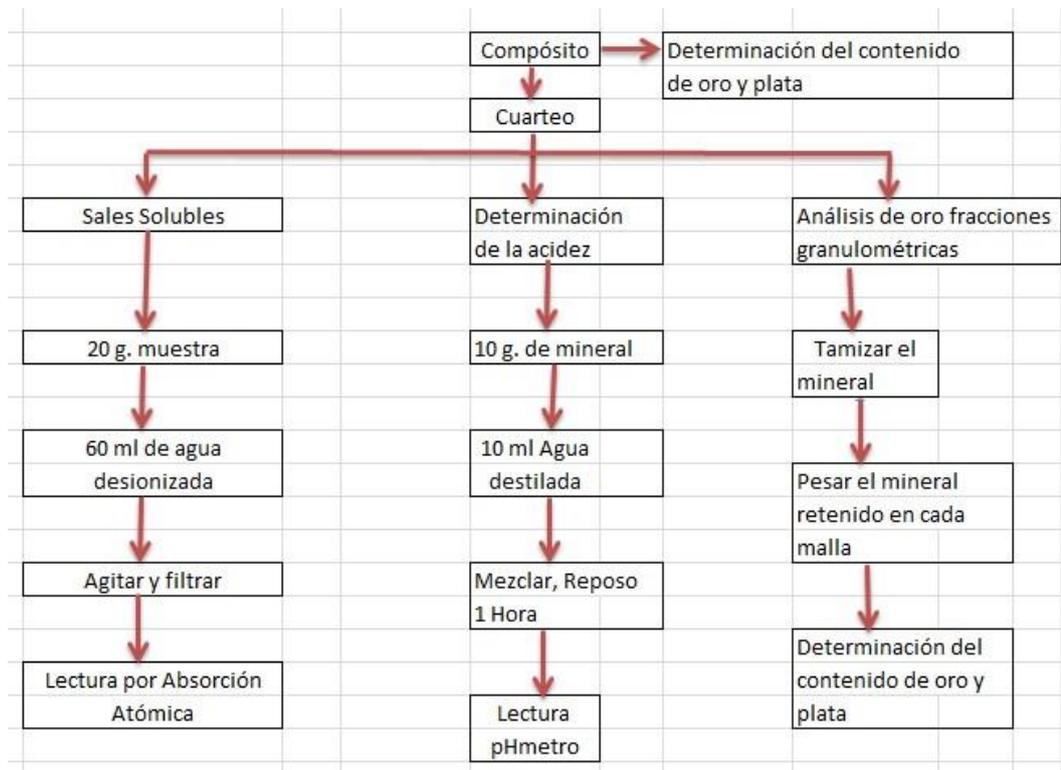
Tipo tec. de mena	Mina Nivel 25		Mina Nivel 35		Mina Nivel 30	
	I	II	III	IV	V	VI
<b>Peso muestra (g)</b>	800	800	1259	1492	1840	1477

FUENTE: Elaboración propia

**c) Realización de análisis químicos en compósito**

Cada combinación o mezcla formada fue sometida a diversos análisis químicos, incluyendo contenido de oro y plata, determinación de sales solubles, determinación de acidez y análisis de oro por fraccionamiento granulométrico. El esquema general de estos procesos se presenta en la Figura N° 11.

**Figura 11: Metodología general de los análisis químicos**



FUENTE: Elaboración propia

**d) Determinación de los contenidos de oro y de plata de los diferentes tipos tecnológicos de mena.**

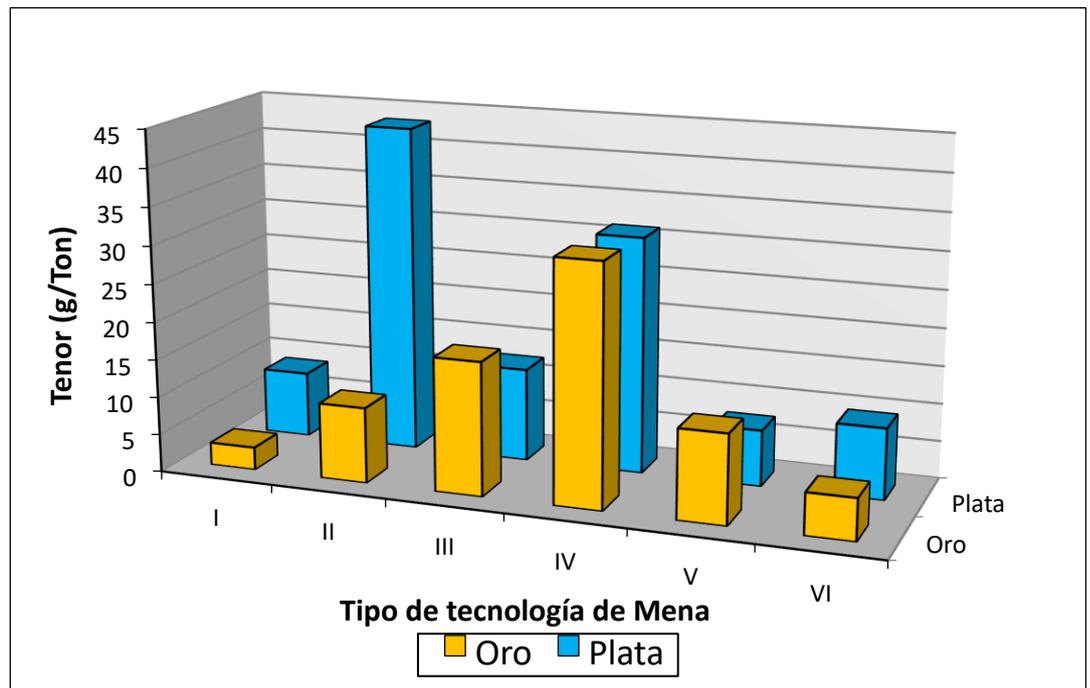
Las concentraciones de oro y plata de varios minerales técnicos se determinaron mediante una técnica de ensayo al fuego. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**Tabla 35: Contenido de oro y de plata de los tipos tecnológicos de mena**

CONTENIDO (g/T)	TIPO TECNOLOGICO DE MENA					
	I	II	III	IV	V	VI
<b>Oro</b>	3,0	10,0	17,64	31,75	11,80	5,52
<b>Plata</b>	8,74	43,25	12,35	31,24	7,45	9,45
<b>Au/Ag</b>	0,34	0,23	1,43	1,02	1,58	0,58

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 12: Contenido de oro y de plata de los diferentes tipos tecnológicos de mena**



FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 12, se observan bien los contenidos de oro y de plata de los diferentes tipos tecnológicos de mena conformados para fines de estudios superiores.

#### e) **Determinación de sales solubles**

Los minerales auroargentíferos suelen contener compuestos que son perjudiciales o complican el proceso de extracción, como sales solubles, sales de hierro, cobre y zinc que complican el proceso de cianuración. Si estas sales son solubles, se pueden eliminar lavando el mineral con agua antes del proceso de cianuración.

El análisis de las sales solubles inicialmente se hacía de forma cualitativa, pero para mejorar el método de determinación se propuso un método que permitiera determinarlas de forma cuantitativa, utilizando como herramienta analítica la espectrofotometría de

absorción atómica; el proceso para estos dos métodos de determinación se presenta en los Anexos 2 y 3.

**f) Determinación cualitativa de sales solubles**

La Tabla N° 36 nos muestra los datos estudiados en la determinación cualitativa de sales solubles.

**Tabla 36: Determinación cualitativa de sales solubles**

COMPOSITO	Sales ferrosas	Sales férricas	Sales de cobre	Sales de zinc
A			NEGATIVO	
B				
C				
D				
E				
F				

FUENTE: Elaboración propia

Las mediciones de sales solubles para varios compuestos dieron resultados negativos. Lo anterior pone a su favor el desarrollo de cianuración porque, como se mencionó anteriormente, complica el desarrollo al aumentar el consumo de cianuro y oxígeno necesarios para disolver el oro y plata.

**g) Determinación cuantitativa de sales de hierro**

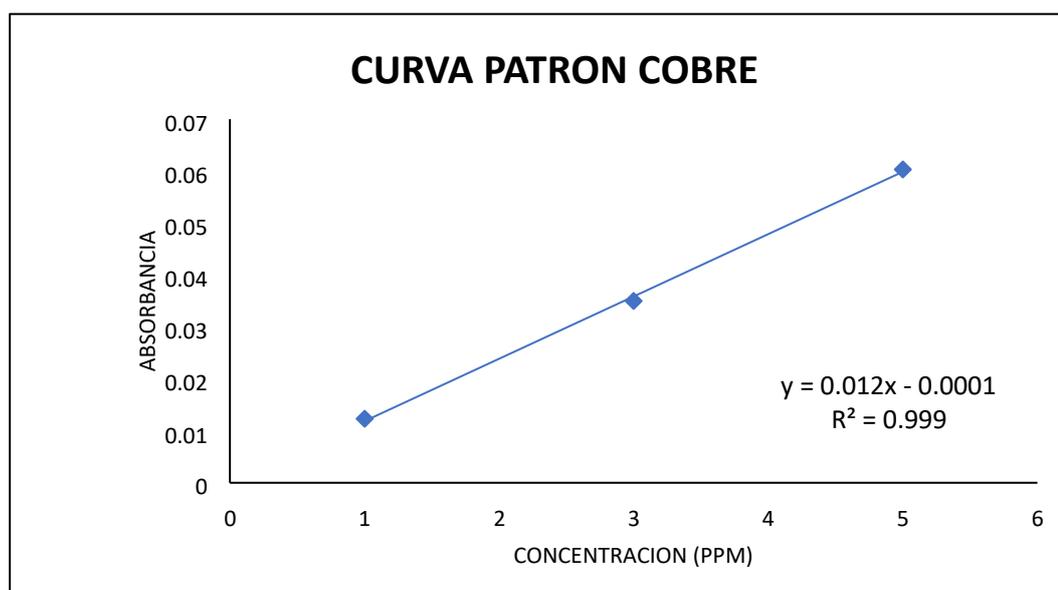
Para la medición de sales de hierro se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica con una longitud de onda de  $\lambda = 248,3$  nm y un tamaño de hoja de 0,2. Los resultados numéricos son los siguientes. La Tabla N° 37 muestra los valores de absorción para los distintos estándares de hierro utilizados. La curva estándar que se muestra en la Figura N° 13 se generó a partir de los datos obtenidos.

**Tabla 37: Valores de absorbancia patrones de hierro**

<b>PATRONES</b>	<b>1 ppm</b>	<b>3 ppm</b>	<b>5 ppm</b>
<b>ABS</b>	0,011	0,029	0,050
	0,010	0,029	0,050
	0,010	0,028	0,050
<b>ABS. PROM.</b>	0,0103	0,0287	0,0500

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 13: Curva patrón para la determinación de hierro**



FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 38: Concentración sales de hierro en los compósito**

<b>COMPOSITO</b>	<b>SALES SOLUBLES DE HIERRO</b>		<b>TOTAL (ppm)</b>
	<b>1er. Lavado</b>	<b>2do. Lavado</b>	
<b>A</b>	0,007	0,006	0,013
<b>B</b>	0,007	0,002	0,009
<b>C</b>	0,003	0,001	0,004
<b>D</b>	0,002	0,00	0,002
<b>E</b>	0,005	0,002	0,007
<b>F</b>	0,006	0,001	0,007

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla N°. 38 se muestran los valores de concentración de sales de hierro solubles. Como se puede observar, se trata de valores muy pequeños, por debajo del límite de detección de los instrumentos de

absorción atómica, y por tanto no son fiables. En tal sentido, podemos confiar en los resultados del análisis de calidad e informar de la ausencia de sales de hierro.

**h) Determinación cuantitativa de las sales de cobre**

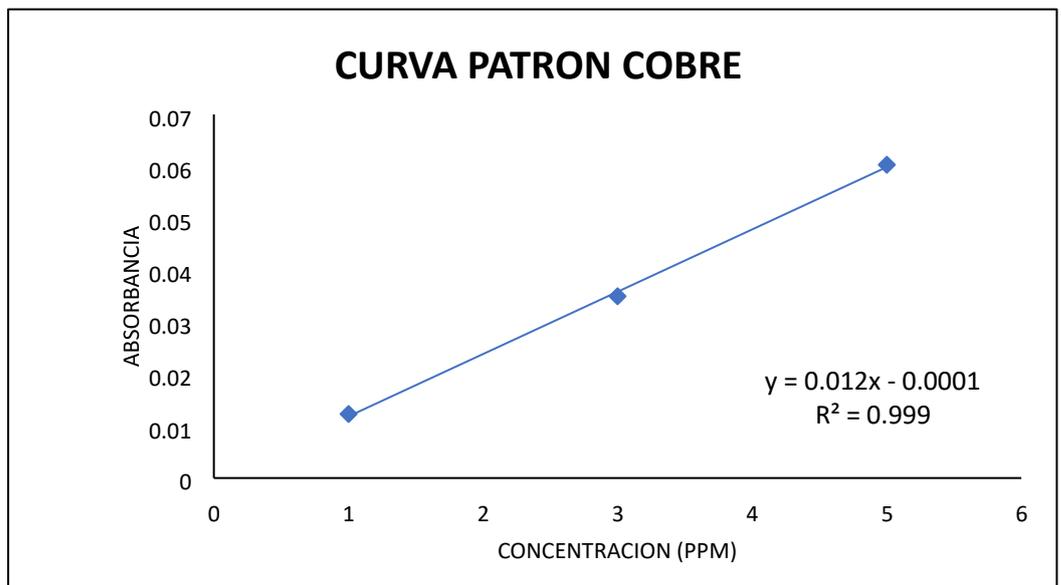
La primera línea de absorción y un slip de 0,7. Los valores de absorbancia reportados por el equipo de absorción atómica para los distintos patrones de cobre empleados se evalúan en la Tabla N° 39. Con estos datos se creó la curva patrón que se muestra en la Figura N° 14.

*Tabla 39: Valores de absorbancia patrones de cobre*

PATRONES	1 ppm	3 ppm	5 ppm
ABSORCION	0,012	0,035	0,061
	0,012	0,035	0,060
	0,013	0,035	0,060
ABS. PROM.	0,0123	0,0350	0,0603

FUENTE: Elaboración propia

*Figura 14: Curva patrón para la determinación de cobre*



FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 40: Concentración sales de cobre en los compósito**

COMPOSITO	SALES SOLUBLES DE COBRE		TOTAL (ppm)
	1er. Lavado	2do. Lavado	
<b>A</b>	0,001	0,00	0,001
<b>B</b>	0,00	0,00	0,00
<b>C</b>	0,00	0,00	0,00
<b>D</b>	0,00	0,00	0,00
<b>E</b>	0,002	0,00	0,002
<b>F</b>	0,00	0,00	0,00

FUENTE: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla N° 40, el análisis cuantitativo de las sales de cobre solubles mostró que, excepto para los complejos A y E, los valores de concentración estaban por debajo del límite de detección del equipo.

**i) Determinación cuantitativa de las sales de zinc**

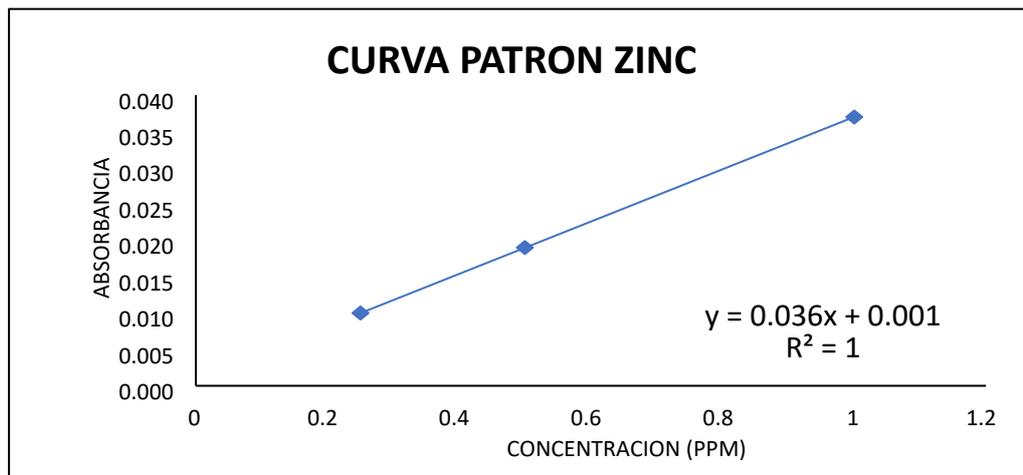
Como en el caso anterior, para las mediciones de zinc se utilizó espectrofotometría de absorción atómica, siendo las condiciones de operación longitud de onda  $\lambda = 213,9$  y apertura = 0,7. Los valores de absorbancia para los estándares se muestran en la Tabla N° 41 y las curvas estándar correspondientes se muestran en la Figura N° 15.

**Tabla 41: Valores de absorbancia patrones de zinc**

PATRONES	0,25 ppm	0,50 ppm	1 ppm
ABSORCION	0,010	0,019	0,037
	0,010	0,019	0,037
	0,010	0,019	0,037
<b>ABS. PROM.</b>	0,010	0,019	0,037

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 15: Curva patrón determinación de zinc**



FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 42: Concentración sales de zinc en los compósito**

COMPOSITO	SALES SOLUBLES DE ZINC		TOTAL (ppm)
	1er. Lavado	2do. Lavado	
<b>A</b>	0,00	0,00	0,00
<b>B</b>	0,00	0,00	0,00
<b>C</b>	0,00	0,00	0,00
<b>D</b>	0,00	0,00	0,00
<b>E</b>	0,00	0,00	0,00
<b>F</b>	0,00	0,00	0,00

FUENTE: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla N° 42, ninguno de los compuestos analizados cuantitativamente contenía sales de zinc.

Estos resultados confirman que, al igual que ocurre con las sales de hierro y cobre solubles en agua, el análisis cualitativo puede dar una idea clara de lo que se puede descubrir mediante un análisis más detallado que el análisis cuantitativo.

#### **j) Determinación de la acidez**

La acidez se considera una variable útil para determinar la solubilidad de los minerales y la movilidad de sus iones. Conocer el pH de las masas es muy importante cuando se llevan a cabo procesos químicos,

porque de esta forma se puede controlar la formación de algunas sustancias potencialmente disruptivas durante el procesamiento.

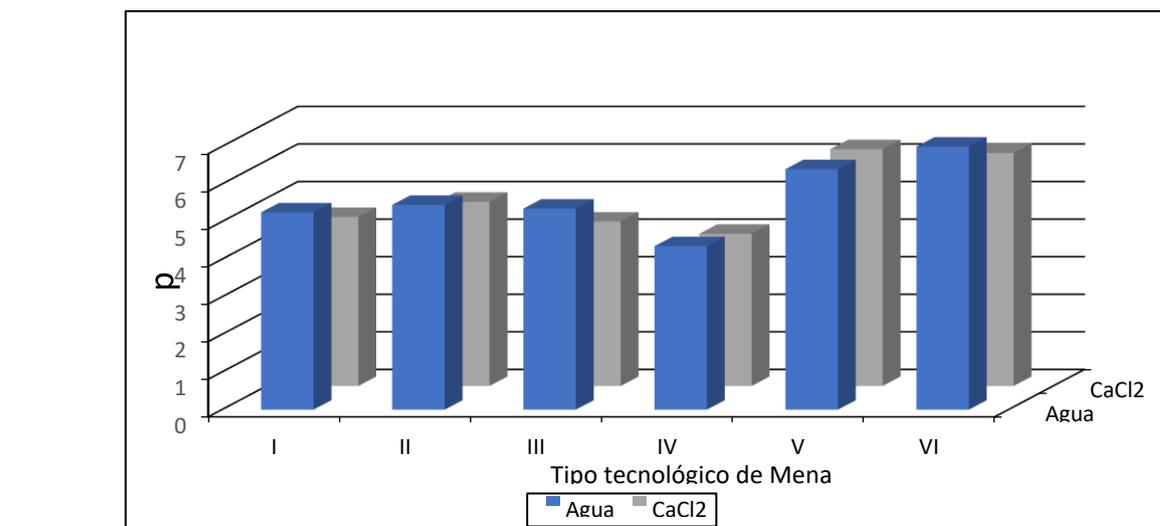
El método de prueba para determinar la acidez se proporciona en el Apéndice 4. El pH de diferentes compósitos se proporciona a continuación en la Tabla N° 43.

**Tabla 43: Acidez de los diferentes compósitos**

SOLUCION	pH compost					
	I	II	III	IV	V	VI
<b>Agua destilada</b>	5.25	5.45	5.35	4.35	6.4	7.0
<b>Cloruro de calcio</b>	4.5	4.9	4.375	4.05	6.3	6.2

Fuente: Elaboración propia

**Figura 16: Acidez diferentes tipos tecnológicos de mena**



FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla N° 43 y como se muestra en la Figura 16, la mayoría de los compuestos son ácidos, por lo que se deben utilizar reguladores de pH para adaptar la pulpa a condiciones que favorezcan la cianuración.

Al preparar celulosa con cloruro de calcio también se pueden observar cambios en el pH, lo que indica la presencia de aluminio intercambiable reemplazado por calcio.

**k) Distribución de oro por fracciones granulométricas**

Con la ayuda de esta prueba podemos conocer cómo se divide el oro en diferentes fracciones granulométricas ante un determinado grado de molienda. El mineral en estudio se muele hasta el tamaño de grano deseado, se prepara en fracciones granulométricas y se determina el contenido de oro y plata en la fracción de oro.

El procedimiento experimental seguido para su determinación se da en el Apéndice. Las Tablas N° 44 al 49 muestran la concentración y porcentaje de oro y plata en cada composición. La prueba se realizó tomando mineral D80 en granulometría Tyler de malla 200 y separándolo en diferentes fracciones.

**Tabla 44: Distribución granulométrica de oro y de plata en el compuesto I**

MALLA	COMPOSITO I				
	% Peso mineral	Contenido (g/Ton)		% Fracción	
		Au	Ag	Au	Ag
(+60)	19,20	1,99	8,46	10,19	18,61
(-60)	21,28	1,89	8,92	10,72	21,78
(+100,-100)	12,28	3,51	7,48	11,49	10,50
(+200,-200))	47,24	5,37	9,10	67,60	39,04
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>3,00</b>	<b>8,74</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 45: Distribución granulométrica de oro y de plata en el compuesto**

MALLA	COMPOSITO II				
	% Peso mineral	Contenido (g/Ton)		% Fracción	
		Au	Ag	Au	Ag
(+60)	23,03	9,98	45,41	20,80	25,00
(-60)	23,46	6,21	22,45	13,20	12,50
(+100,-100)	14,47	8,99	31,24	11,80	10,94
(+200,-200)	39,04	15,24	55,76	54,20	51,56
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>10,00</b>	<b>43,25</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 46: Distribución granulométrica de oro y plata en el compuesto III**

MALLA	COMPOSITO III				
	% Peso mineral	Contenido (g/Ton)		% Fracción	
		Au	Ag	Au	Ag
(+60)	16,45	13,05	16,32	9,34	22,65
(-60)	22,51	14,72	11,02	14,42	20,92
(-100,-100)	17,10	24,74	11,50	18,41	16,59
(+200,-200))	43,94	30,24	10,75	57,83	39,84
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>17,64</b>	<b>12,35</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 47: Distribución granulométrica de oro y plata en el compuesto IV**

MALLA	COMPOSITO IV				
	% Peso mineral	Contenido (g/Ton)		% Fracción	
		Au	Ag	Au	Ag
(+60)	13,15	5,98	13,02	2,66	6,18
(-60)	22,91	25,25	21,25	19,58	17,58
(-100,-100)	19,42	31,16	21,05	20,49	14,76
(+200,-200)	44,52	38,00	38,25	57,27	61,48
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>31,75</b>	<b>31,24</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 48: Distribución granulométrica de oro y plata en el compuesto V**

MALLA	COMPOSITO				
	% Peso mineral	Contenido (g/Ton)		% Fracción	
		Au	Ag	Au	Ag
(+60)	15,42	20,25	18,49	25,39	38,15
(-60)	6,21	9,56	5,79	4,83	4,81
(+100,-100)	36,19	8,19	1,94	24,11	9,39
(+200,-200)	42,18	13,31	8,44	45,67	47,64
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>11,80</b>	<b>7,45</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 49: Distribución granulométrica de oro y plata en el compuesto VI**

MALLA	COMPOSITO				
	% Peso mineral	Contenido (g/Ton)		% Fracción	
		Au	Ag	Au	Ag
(+60)	15,01	3,15	10,56	9,29	17,28
(-60)	22,95	3,94	6,56	17,49	16,36
(+100,-100)	19,26	0,97	9,28	3,83	19,44
(+200,-200)	42,78	8,42	10,06	69,40	46,91
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>5,52</b>	<b>9,45</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia

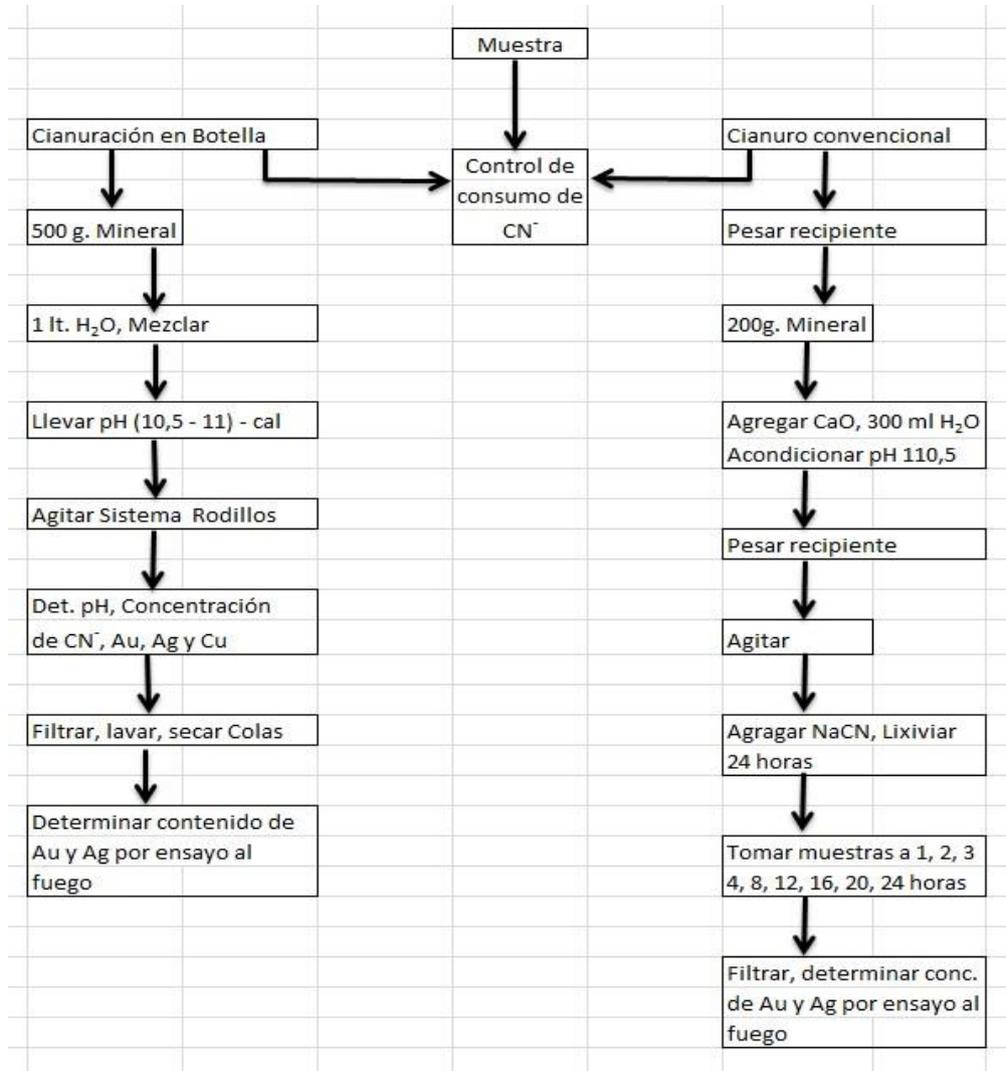
Los resultados obtenidos por la distribución granulométrica de diversos compuestos muestran que la concentración de oro y plata es mayor en la fracción fina, por lo que se puede decir que el tamiz Tyler-200 es el más adecuado para el proceso de extracción. Esto se debe a que el oro es un material muy fino, por lo que cuando se separa durante el proceso de molienda, se concentra en partículas finas.

#### 4.2.11.2. Control químico del proceso de lixiviación

La disolución del oro y la plata de las muestras minerales se llevó a cabo mediante el proceso de lixiviación con cianuro utilizando dos

métodos mostrados en la Figura N° 18: cianuración de vidrio y cianuración de diagnóstico.

**Figura 17: Metodología general de las pruebas de cianuración**



FUENTE: Elaboración propia

Para determinar el grado de disolución de los minerales se utilizó la cianuración en botellas, la cual se determinó comparando el porcentaje de oro recuperado en intervalos específicos. Si el porcentaje de oro disuelto es inferior al 65%, la muestra es poco soluble, entre el 65 y el 85% es moderadamente soluble y por encima del 85% es altamente soluble a la acción del cianuro.

**a) Consumo de cianuro durante el proceso de disolución de oro y de plata**

Con esta prueba se pudo determinar el consumo de cianuro de sodio, para lo cual periódicamente se probó con el matraz mediante el proceso de disolución, se tituló con nitrato de plata para determinar el contenido de cianuro libre en la solución, y a partir de esto se determinó la cantidad de cianuro consumido.

Los resultados obtenidos se dan en las Tablas N° 50 y 51 y se muestran en las Figuras N° 18 y 19.

**Tabla 50: Consumo de NaCN a una granulometría D80 100 Tyler**

TIEMPO (h)	CONSUMO DE NaCN (Kg/Ton. Mineral)					
	COMPÓSITO					
	A	B	C	D	E	F
0	0	0	0	0	0	0
4	0,50	1,09	0,70	0,79	0,98	0,80
8	1,06	1,66	1,01	1,21	1,45	1,50
16	1,76	2,60	1,64	1,93	2,13	2,16
24	2,23	3,17	2,19	2,64	2,83	2,56

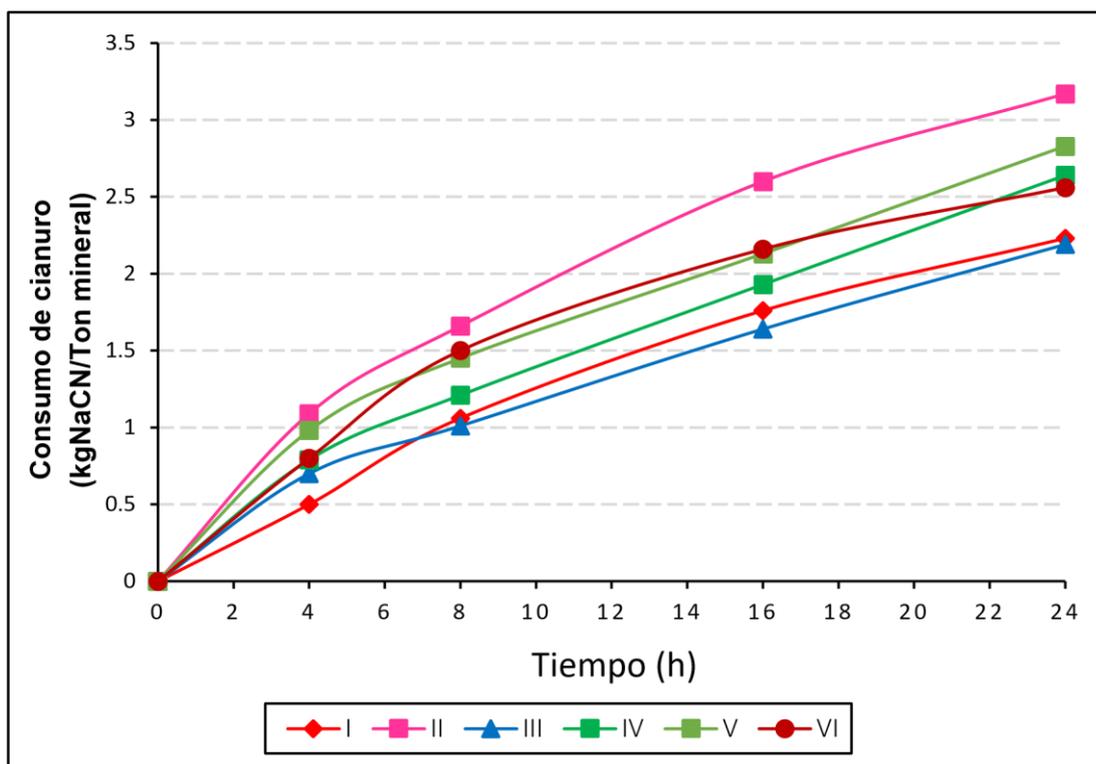
FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 51: Consumo de NaCN a una granulometría D80 200 Tyler**

TIEMPO (h)	CONSUMO DE NaCN (Kg/Ton. Mineral)					
	COMPOSITO					
	A	B	C	D	E	F
0	0	0	0	0	0	0
4	1,37	1,23	0,91	1,31	1,37	1,11
8	2,26	2,32	1,74	2,14	1,76	1,73
12	2,77	2,90	2,30	2,73	1,98	2,01
16	3,10	3,20	2,60	3,02	2,27	2,21
24	3,67	3,78	3,12	3,67	2,82	2,65

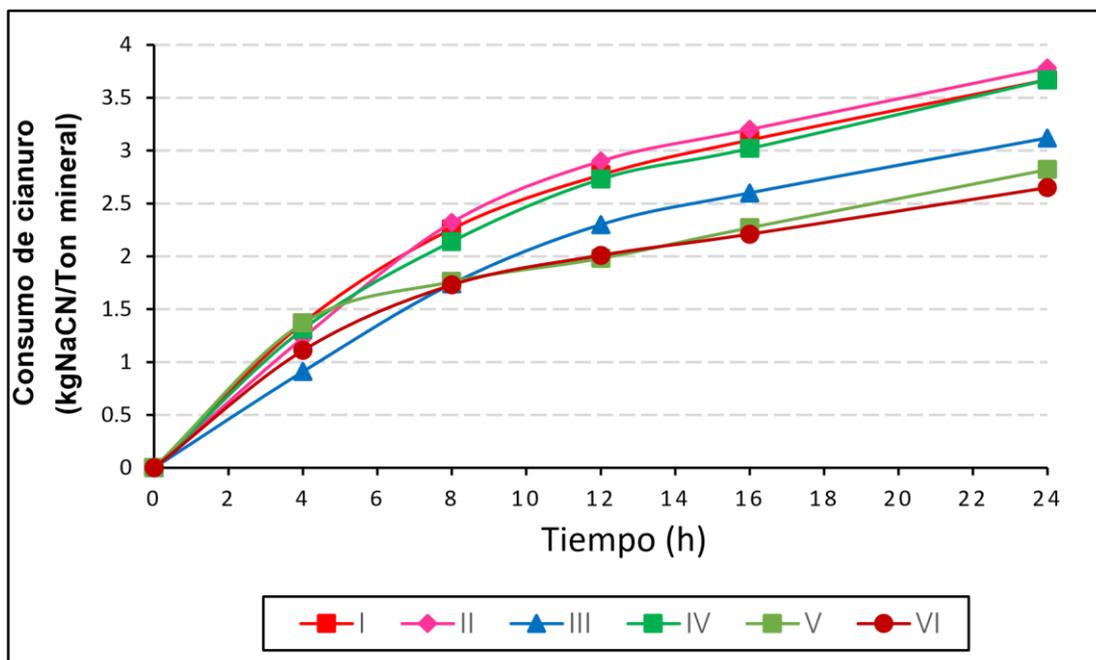
FUENTE: Elaboración propia

**Figura 18: Consumo de NaCN a una granulometría D80 100 Tyler**



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 19: Consumo de NaCN a una granulometría D80 200 Tyler**



FUENTE: Elaboración propia

De los resultados presentados en las Tablas N° 50 y 51, se puede observar que los compuestos sulfurados (II y IV) tienen el mayor

consumo de cianuro en comparación con los compuestos oxidados (I y III). Como también se puede observar en los gráficos N° 19 y 20, existe menor pérdida de cianuro en las mediciones de tamaño de partícula de D80 100 Tyler debido a que esta es la fracción fina con mayor cantidad de oro debido a la menor solubilidad.

**b) Control químico de la disolución de Au y de Ag en las pruebas de cianuración**

Los estudios de oro y plata de muestras líquidas se realizaron de acuerdo a la prueba de cianuro de vidrio y la prueba de diagnóstico de cianuro de solvente orgánico original (MIBK). Luego se realizaron experimentos utilizando patrones de cianuro.

En ambos casos, las muestras fueron analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica y se realizaron varios experimentos para lograr la reproducibilidad de los resultados.

**c) Soluciones cianuradas preparadas con solventes orgánicos (MIBK)**

En esta etapa, se realizaron experimentos para determinar la concentración de muestras de cianuro mediante extracción con solvente utilizando MIBK como solución de extracción y MIBK como absorbente atómico en el rango de  $\lambda = 267,6 \text{ nm}$  y  $\epsilon = 0,7$ . El método de extracción utilizando disolventes orgánicos. En este estudio, se realizaron varias series de pruebas y se prepararon muestras para cianuro libre y cianuro de diagnóstico.

**d) Cianuración en botella.**

Las muestras se procesaron mediante extracción con solventes utilizando muestras embotelladas con cianuro.

**ENSAYO 1**

Identificación de oro. Inicialmente, utilizamos dos modelos diferentes para comparar los resultados. Los valores de absorción de los materiales estándar de oro se muestran en la Tabla N° 52, y las Figuras N° 20 y 21 muestran curvas estándar derivadas de los valores de la Tabla N° 53.

*Tabla 52: Valores absorbancia de los patrones de oro*

<b>PATRONES(1)</b>	<b>0,5 ppm</b>	<b>1 ppm</b>	<b>1,5 ppm</b>	<b>2 ppm</b>
<b>ABSORCION</b>	0,015	0,023	0,035	0,046
	0,014	0,02	0,036	0,049
	0,014	0,023	0,038	0,047
<b>ABS. PROM.</b>	0,0143	0,022	0,0363	0,0473

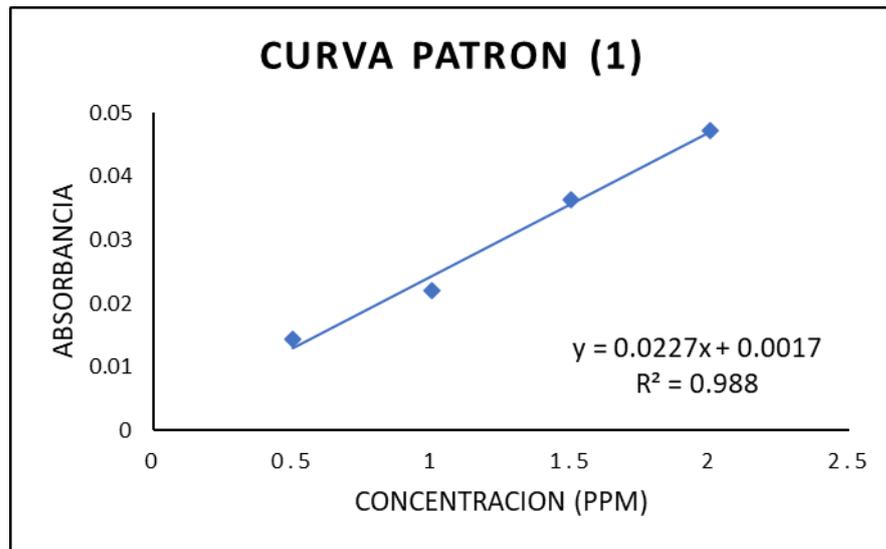
FUENTE: Elaboración propia

*Tabla 53: Valores absorbancia de los patrones de oro*

<b>PATRONES(2)</b>	<b>0,5 ppm</b>	<b>1 ppm</b>	<b>1,5 ppm</b>	<b>2 ppm</b>
<b>ABSORCION</b>	0,008	0,018	0,027	0,038
	0,008	0,017	0,025	0,038
	0,009	0,017	0,028	0,039
<b>ABS. PROM.</b>	0,0083	0,0173	0,0267	0,0383

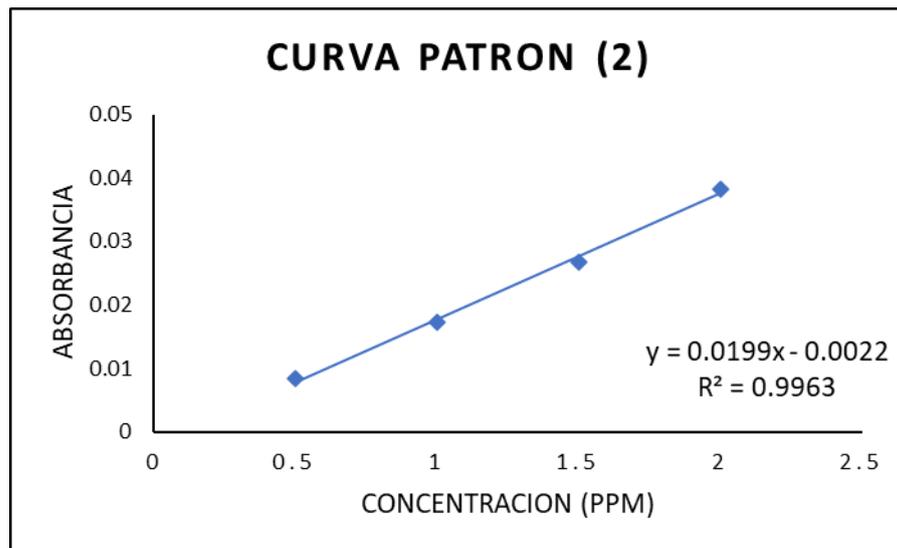
FUENTE: Elaboración propia

**Figura 20: Curvas patrones para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 21: Curvas patrones para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

Después de determinar los valores de absorbancia de los estándares y preparar las curvas estándar, continuamos con la determinación de la concentración de oro en las diversas muestras. Los resultados obtenidos para cuatro muestras diferentes se muestran en la Tabla N° 54.

En el Experimento 1, se graficaron dos curvas estándar debido a la inestabilidad del aparato de absorción atómica, porque no es posible estar seguro de los resultados obtenidos, esto es evidente a partir de los resultados dados en la Tabla N° 54, donde se ve claramente que la mayoría de los resultados son significativamente diferentes.

**Tabla 54: Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK**

<b>MUESTRAS</b>	<b>T. (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>			<b>PROM.</b>	<b>CONC.1(ppm)</b>	<b>CONC.2(ppm)</b>
<b>C1</b>	2	0,023	0,026	0,027	<b>0,0253</b>	<b>5,21</b>	<b>6,77</b>
	4	0,005	0,004	0,004	<b>0,0043</b>	<b>0,58</b>	<b>1,57</b>
	8	0,004	0,002	0,003	<b>0,0030</b>	<b>0,29</b>	<b>1,24</b>
	14	0,004	0,004	0,004	<b>0,0040</b>	<b>0,51</b>	<b>1,49</b>
	19	0,004	0,003	0,002	<b>0,0030</b>	<b>0,29</b>	<b>1,24</b>
	36	0,002	0,001	0,003	<b>0,0020</b>	<b>0,07</b>	<b>0,99</b>
	60	0,001	0,007	0,006	<b>0,0047</b>	<b>0,65</b>	<b>1,65</b>
<b>C2</b>	4	0,008	0,008	0,009	<b>0,0083</b>	<b>1,46</b>	<b>2,56</b>
	14	0,003	0,003	0,005	<b>0,0037</b>	<b>0,43</b>	<b>1,40</b>
	19	0,008	0,007	0,008	<b>0,0077</b>	<b>1,31</b>	<b>2,39</b>
	36	0,008	0,008	0,01	<b>0,0087</b>	<b>1,53</b>	<b>2,64</b>
	60	0,007	0,007	0,01	<b>0,0080</b>	<b>1,39</b>	<b>2,48</b>
<b>C3</b>	2	0,047	0,045	0,049	<b>0,0470</b>	<b>9,98</b>	<b>12,13</b>
	4	0,018	0,016	0,018	<b>0,0173</b>	<b>3,44</b>	<b>4,79</b>
	8	0,016	0,016	0,016	<b>0,0160</b>	<b>3,15</b>	<b>4,46</b>
	14	0,025	0,022	0,023	<b>0,0233</b>	<b>4,77</b>	<b>6,27</b>
	19	0,024	0,024	0,024	<b>0,0240</b>	<b>4,91</b>	<b>6,44</b>
	36	0,019	0,022	0,021	<b>0,0207</b>	<b>4,18</b>	<b>5,61</b>
	60	0,027	0,029	0,027	<b>0,0277</b>	<b>5,72</b>	<b>7,34</b>
<b>C4</b>	2	0,048	0,05	0,049	<b>0,0490</b>	<b>10,42</b>	<b>12,62</b>
	4	0,017	0,017	0,019	<b>0,0177</b>	<b>3,52</b>	<b>4,87</b>
	8	0,026	0,026	0,025	<b>0,0257</b>	<b>5,28</b>	<b>6,85</b>
	14	0,014	0,014	0,015	<b>0,0143</b>	<b>2,78</b>	<b>4,04</b>
	19	0,024	0,023	0,025	<b>0,0240</b>	<b>4,91</b>	<b>6,44</b>
	36	0,026	0,029	0,029	<b>0,0280</b>	<b>5,79</b>	<b>7,43</b>
	60	0,029	0,032	0,03	<b>0,0303</b>	<b>6,31</b>	<b>8,00</b>

FUENTE: Elaboración propia

El error más evidente es el que ocurre cuando la concentración disminuye al aumentar el tiempo de extracción, pues en este proceso la concentración de oro en la solución debe aumentar con el tiempo y los resultados muestran lo contrario.

## ENSAYO 2

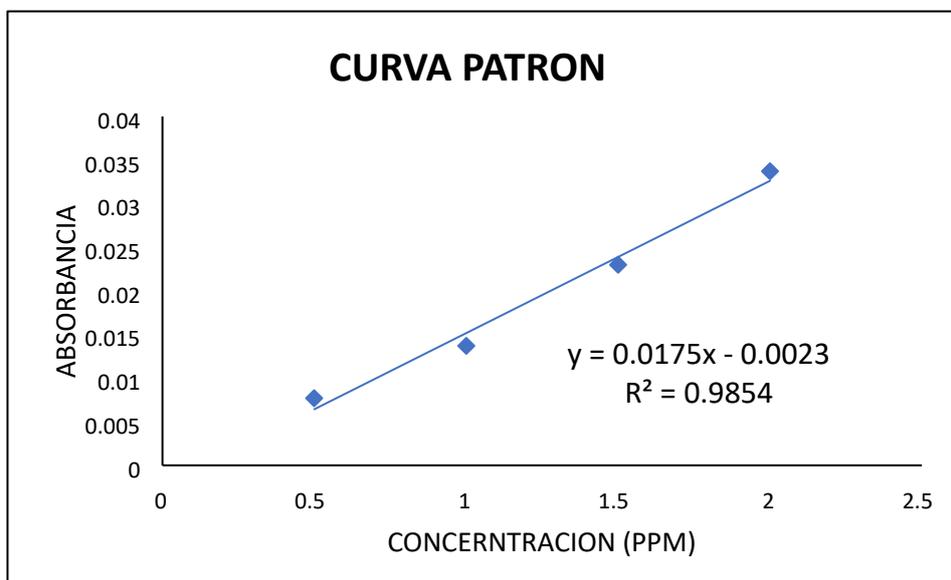
Identificación de oro. La Tabla N° 55 muestra los valores de absorbancia del patrón de oro utilizado en esta prueba. La Figura N° 22 muestra la curva estándar obtenida.

**Tabla 55: Valores de absorbancia de los patrones de oro**

PATRONES	0,5 ppm	1 ppm	1,5 ppm	2 ppm
ABS.	0.006	0.014	0.022	0.034
	0.008	0.014	0.023	0.032
	0.009	0.013	0.024	0.035
ABS. PROM.	0.0077	0.0137	0.0230	0.0337

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 22: Curva patrón para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

Los datos obtenidos de absorbancia y concentración de oro en las diferentes muestras se reportan en la siguiente tabla.

**Tabla 56: Valores de absorvancia y concentración de Au en muestras con MIBK**

<b>MUESTRAS</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>			<b>PRO MEDIO</b>	<b>CONCENTRACION</b>
<b>C1</b>	2	0,021	0,025	0,023	<b>0,023</b>	<b>7,229</b>
	4	0,004	0,008	0,007	<b>0,006</b>	<b>2,467</b>
	8	0,007	0,004	0,005	<b>0,005</b>	<b>2,181</b>
	14	0,006	0,005	0,003	<b>0,005</b>	<b>1,990</b>
<b>C2</b>	2	0,057	0,059	0,058	<b>0,058</b>	<b>17,229</b>
	4	0,011	0,011	0,009	<b>0,010</b>	<b>3,610</b>
	8	0,011	0,015	0,013	<b>0,013</b>	<b>4,371</b>
	14	0,011	0,011	0,009	<b>0,010</b>	<b>3,610</b>
<b>C3</b>	2	0,027	0,024	0,025	<b>0,025</b>	<b>7,895</b>
	4	0,011	0,013	0,013	<b>0,012</b>	<b>4,181</b>
	8	0,016	0,016	0,016	<b>0,016</b>	<b>5,229</b>
	14	0,012	0,012	0,011	<b>0,012</b>	<b>3,990</b>
<b>C4</b>	2	0,03	0,028	0,029	<b>0,029</b>	<b>8,943</b>
	4	0,018	0,02	0,018	<b>0,019</b>	<b>5,990</b>
	8	0,023	0,022	0,021	<b>0,022</b>	<b>6,943</b>
	14	0,014	0,016	0,012	<b>0,014</b>	<b>4,657</b>

FUENTE: Elaboración propia

En el experimento 2 se repitió la prueba en las mismas condiciones, siendo el tiempo como único parámetro variable, debido a que en el experimento 1 los valores de concentración de oro se mantuvieron casi constantes en el tiempo, por lo que en el experimento 2 se redujo. El tiempo fue de 14 horas y durante la prueba se tomaron 4 muestras.

Como se puede observar en la Tabla N° 56 los valores de concentración de oro arrojan valores que no dan certeza, debido a que los resultados obtenidos son diferentes a los de la prueba 1, por lo que es razonable realizar otra prueba para determinar si la técnica analítica. es confiable o no.

Además, esta prueba muestra el mismo fenómeno que en la prueba 1, pues como se puede observar en la Tabla N°. 56, los valores de contenido de oro disminuyen después de la primera hora del proceso 2 en todas las muestras analizadas.

### ENSAYO 3

Se realizó en las mismas condiciones que la prueba anterior, con el único cambio en el tiempo, ya que la prueba duró 96 horas.

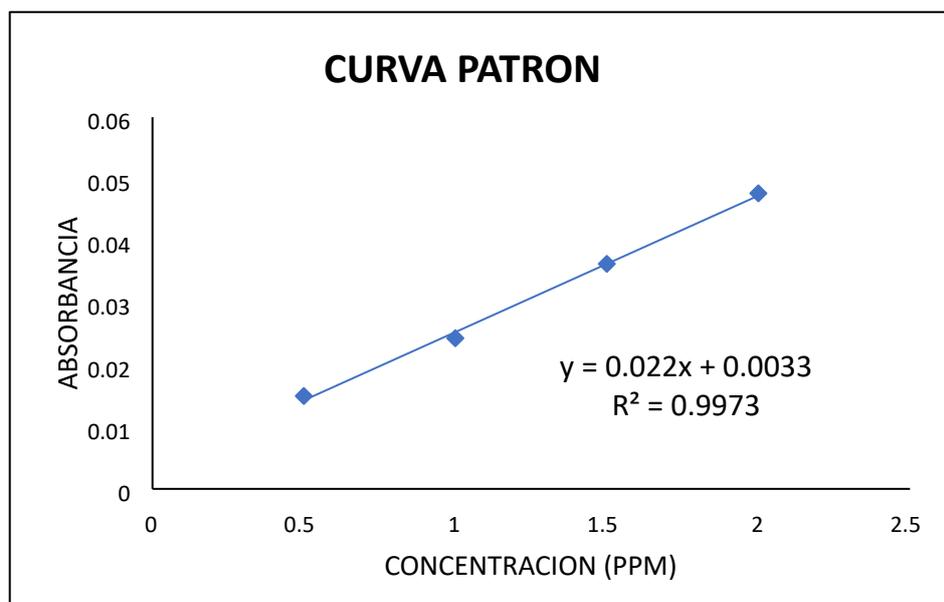
Identificación de oro. Los resultados de absorción de las sustancias estándar y la curva estándar obtenida a partir de ellas se muestran en la Tabla N° 57 y la Figura N° 23, respectivamente.

*Tabla 57: Valores de absorbancia de los patrones de oro*

PATRONES(1)	0,5 ppm	1 ppm	1,5 ppm	2 ppm
ABS.	0.015	0.024	0.037	0.046
	0.016	0.023	0.036	0.047
	0.014	0.026	0.036	0.05
ABS. PROM.	0.0150	0.0243	0.0363	0.0477

FUENTE: Elaboración propia

*Figura 23: Curva patrón determinación de oro*



FUENTE: Elaboración propia

Los datos obtenidos de absorbancia y concentración de oro se reportan en la Tabla N° 57.

**Tabla 58: Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK**

<b>MUESTRAS</b>	<b>TIE MPO (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>			<b>PROMEDIO</b>	<b>CONCENTRACION</b>
<b>C1</b>	2	0,003	0,003	0,003	<b>0,0030</b>	<b>0,000</b>
	4	0,006	0,004	0,004	<b>0,0047</b>	<b>0,621</b>
	8	0,008	0,007	0,005	<b>0,0067</b>	<b>1,530</b>
	14	0,007	0,006	0,007	<b>0,0067</b>	<b>1,530</b>
	19	0,007	0,009	0,007	<b>0,0077</b>	<b>1,985</b>
	36	0,008	0,006	0,008	<b>0,0073</b>	<b>1,833</b>
	60	0,01	0,011	0,009	<b>0,0100</b>	<b>3,045</b>
	84	0,01	0,007	0,007	<b>0,0080</b>	<b>2,136</b>
	96	0,01	0,011	0,011	<b>0,0107</b>	<b>3,348</b>
<b>C2</b>	2	0,007	0,007	0,007	<b>0,0070</b>	<b>1,682</b>
	4	0,009	0,009	0,01	<b>0,0093</b>	<b>2,742</b>
	8	0,011	0,012	0,012	<b>0,0117</b>	<b>3,803</b>
	14	0,015	0,012	0,01	<b>0,0123</b>	<b>4,106</b>
	19	0,015	0,015	0,014	<b>0,0147</b>	<b>5,167</b>
<b>C3</b>	36	0,014	0,014	0,013	<b>0,0137</b>	<b>4,712</b>
	60	0,013	0,013	0,013	<b>0,0130</b>	<b>4,409</b>
	84	0,015	0,013	0,015	<b>0,0143</b>	<b>5,015</b>
	96	0,015	0,013	0,014	<b>0,0140</b>	<b>4,864</b>
	2	0,026	0,027	0,026	<b>0,0263</b>	<b>10,470</b>
<b>C4</b>	4	0,028	0,026	0,027	<b>0,0270</b>	<b>10,773</b>
	8	0,034	0,033	0,034	<b>0,0337</b>	<b>13,803</b>
	14	0,035	0,035	0,037	<b>0,0357</b>	<b>14,712</b>
	19	0,038	0,038	0,036	<b>0,0373</b>	<b>15,470</b>
	36	0,032	0,033	0,032	<b>0,0323</b>	<b>13,197</b>
	60	0,036	0,035	0,034	<b>0,0350</b>	<b>14,409</b>
	84	0,036	0,037	0,036	<b>0,0363</b>	<b>15,015</b>
	96	0,039	0,039	0,038	<b>0,0387</b>	<b>16,076</b>
	2	0,014	0,015	0,014	<b>0,0143</b>	<b>5,015</b>
<b>C4</b>	4	0,019	0,021	0,021	<b>0,0203</b>	<b>7,742</b>
	8	0,027	0,025	0,024	<b>0,0253</b>	<b>10,015</b>
	14	0,029	0,028	0,027	<b>0,0280</b>	<b>11,227</b>
	19	0,029	0,027	0,027	<b>0,0277</b>	<b>11,076</b>
	36	0,025	0,027	0,025	<b>0,0257</b>	<b>10,167</b>
	60	0,025	0,023	0,023	<b>0,0237</b>	<b>9,258</b>
	84	0,025	0,024	0,025	<b>0,0247</b>	<b>9,712</b>
	96	0,023	0,022	0,022	<b>0,0223</b>	<b>8,652</b>

<b>C5</b>	2	0,006	0,008	0,007	<b>0,0070</b>	<b>1,682</b>
	4	0,008	0,011	0,01	<b>0,0097</b>	<b>2,894</b>
	8	0,011	0,01	0,01	<b>0,0103</b>	<b>3,197</b>
	14	0,011	0,014	0,013	<b>0,0127</b>	<b>4,258</b>
	19	0,013	0,014	0,012	<b>0,0130</b>	<b>4,409</b>
	36	0,01	0,011	0,012	<b>0,0110</b>	<b>3,500</b>
	60	0,014	0,013	0,014	<b>0,0137</b>	<b>4,712</b>
	84	0,013	0,013	0,014	<b>0,0133</b>	<b>4,561</b>
<b>C6</b>	2	0	0	0	<b>0,0000</b>	<b>0,000</b>
	4	0,011	0,011	0,011	<b>0,0110</b>	<b>3,500</b>
	8	0,011	0,011	0,011	<b>0,0110</b>	<b>3,500</b>
	14	0,014	0,012	0,014	<b>0,0133</b>	<b>4,561</b>
	19	0,01	0,011	0,01	<b>0,0103</b>	<b>3,197</b>
	36	0,011	0,011	0,011	<b>0,0110</b>	<b>3,500</b>
	60	0,01	0,01	0,01	<b>0,0100</b>	<b>3,045</b>
	84	0,01	0,01	0,013	<b>0,0110</b>	<b>3,500</b>

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla N° 58, se puede ver los resultados de absorción y concentración de oro de las muestras utilizadas en la prueba 3. A medida que aumentó el tiempo de lixiviación, la concentración de oro de cada muestra mostró una mejora significativa en los resultados. Esto sucedió en una prueba anterior.

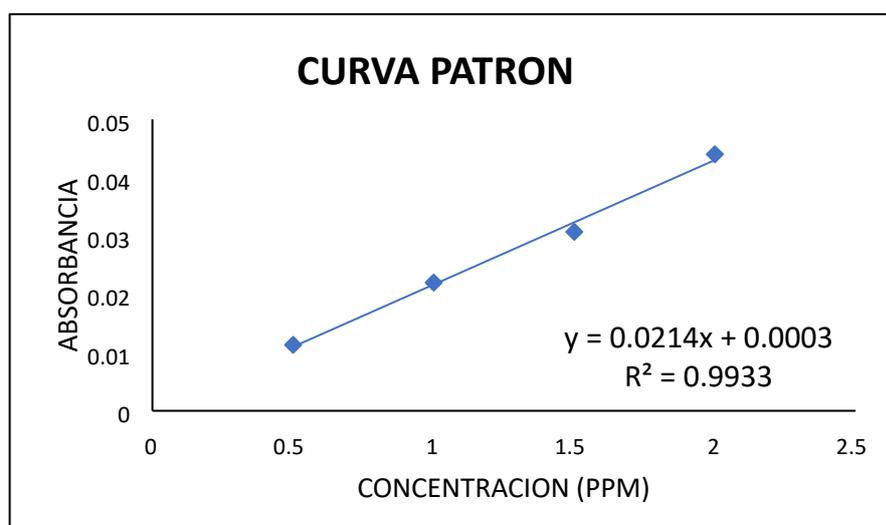
Para confirmar estos resultados, se realizaron pruebas repetidas utilizando las muestras C3 y C4 y un nuevo estándar. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla N° 59 a continuación, y la curva estándar correspondiente se muestra en la Figura N° 24.

**Tabla 59: Valores de absorbancia de los patrones de oro (Duplicado)**

<b>PATRONES(1)</b>	<b>0,5 ppm</b>	<b>1 ppm</b>	<b>1,5 ppm</b>	<b>2 ppm</b>
<b>ABS.</b>	0.011	0.021	0.03	0.042
	0.011	0.023	0.033	0.046
	0.012	0.022	0.029	0.044
<b>ABS. PROM.</b>	0.0113	0.0220	0.0307	0.0440

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 24: Curva patrón para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 60: Valores de absorbancia y concentración de oro (Duplicado)**

MUESTRAS	TIEMPO (h)	ABSORBANCIA			PROMEDIO	CONCENTRACION
<b>C3</b>	2	0,02	0,02	0,019	<b>0,0197</b>	<b>9,09</b>
	4	0,02	0,02	0,019	<b>0,0197</b>	<b>9,09</b>
	8	0,023	0,022	0,023	<b>0,0227</b>	<b>10,50</b>
	14	0,024	0,024	0,024	<b>0,0240</b>	<b>11,13</b>
	19	0,024	0,023	0,023	<b>0,0233</b>	<b>10,81</b>
	36	0,021	0,02	0,02	<b>0,0203</b>	<b>9,41</b>
	60	0,021	0,022	0,022	<b>0,0217</b>	<b>10,03</b>
	84	0,023	0,022	0,02	<b>0,0217</b>	<b>10,03</b>
	96	0,02	0,02	0,019	<b>0,0197</b>	<b>9,09</b>
<b>C4</b>	2	0,023	0,024	0,023	<b>0,0233</b>	<b>10,81</b>
	4	0,029	0,03	0,028	<b>0,0290</b>	<b>13,47</b>
	8	0,031	0,029	0,031	<b>0,0303</b>	<b>14,10</b>
	14	0,031	0,029	0,031	<b>0,0303</b>	<b>14,10</b>
	19	0,032	0,03	0,032	<b>0,0313</b>	<b>14,57</b>
	36	0,026	0,026	0,028	<b>0,0267</b>	<b>12,38</b>
	60	0,026	0,025	0,026	<b>0,0257</b>	<b>11,91</b>
	96	0,025	0,026	0,025	<b>0,0253</b>	<b>11,75</b>

FUENTE: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla N° 60, los resultados de concentración de oro obtenidos de las dos muestras no coinciden con los datos originales y existen diferencias significativas que hacen que los

resultados no sean confiables, lo cual no es cierto. La tecnología es confiable porque los resultados hablan por sí solos.

#### e) Cianuración diagnóstica

##### ENSAYO 1

El análisis de las muestras de cianuro para diagnóstico se realizó mediante el método de extracción con solvente (MIBK).

Identificación de oro. Este análisis se realizó de la misma manera que para el cianuro libre, utilizando inicialmente dos estándares para comparar la reproducibilidad de los resultados. Se utilizó el espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer a  $\lambda = 267,6$  nm y apertura = 0,7. El procedimiento de diagnóstico de cianuro se presenta en el Apéndice 8.

Los resultados obtenidos fueron los consignados en la Tabla N° 61 y 62, con los cuales se elaboró las curvas patrón de la Figura N° 25 y 26.

**Tabla 61: Valores de absorbancia de los patrones de oro**

<b>PATRONES(1)</b>	<b>0,5 ppm</b>	<b>1 ppm</b>	<b>1,5 ppm</b>	<b>2 ppm</b>
<b>ABS.</b>	0,006	0,014	0,022	0,034
	0,008	0,014	0,023	0,032
	0,009	0,013	0,024	0,035
<b>ABS. PROM.</b>	0,0077	0,0137	0,0230	0,0337

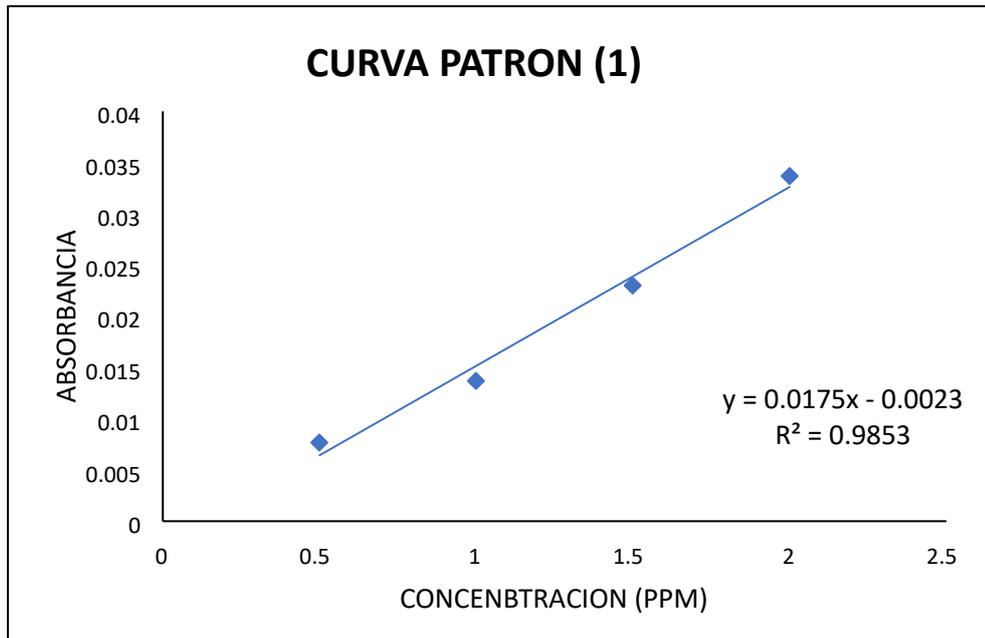
FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 62: Valores de absorbancia de los patrones de oro**

<b>PATRONES(2)</b>	<b>0,5 ppm</b>	<b>1 ppm</b>	<b>1,5 ppm</b>	<b>2 ppm</b>
<b>ABS.</b>	0,015	0,023	0,035	0,046
	0,014	0,02	0,036	0,049
	0,014	0,023	0,038	0,047
<b>ABS. PROM.</b>	0,0143	0,022	0,0363	0,0473

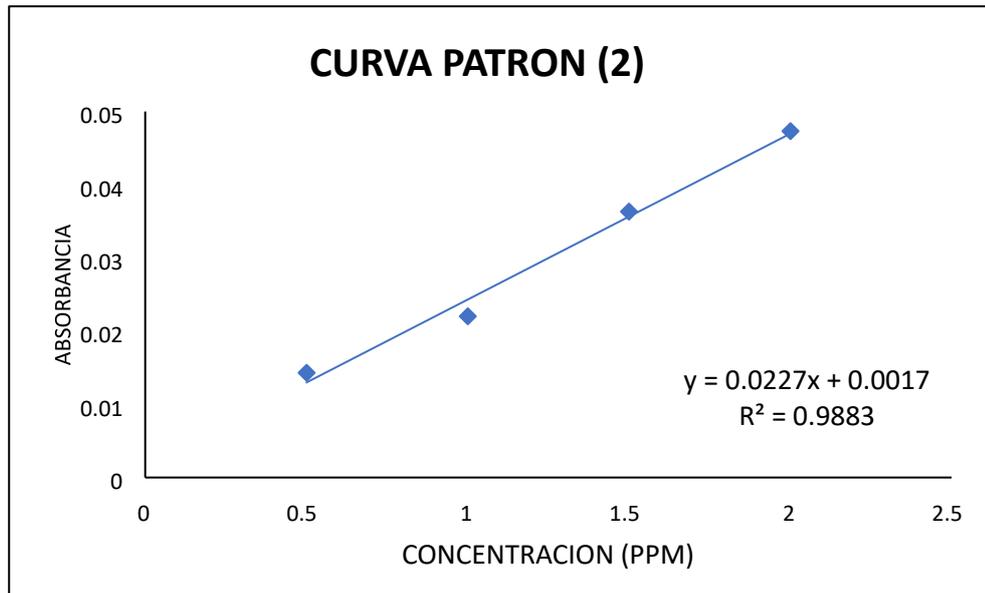
FUENTE: Elaboración propia

*Figura 25: Curvas patrones para la determinación de oro*



FUENTE: Elaboración propia

*Figura 26: Curvas patrones para la determinación de oro*



FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 63: Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK**

<b>MUESTRAS</b>	<b>T (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>			<b>PROMEDIO</b>	<b>CONC.1 (ppm)</b>	<b>CONC.2 (ppm)</b>
<b>C1</b>	½	0	0	0	<b>0,0000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,00</b>
	1½	0,004	0,005	0,006	<b>0,0050</b>	<b>2,086</b>	<b>0,73</b>
	3	0,005	0,007	0,006	<b>0,0060</b>	<b>2,371</b>	<b>0,95</b>
	4	0,003	0,003	0,003	<b>0,0030</b>	<b>1,514</b>	<b>0,29</b>
<b>C2</b>	½	0,039	0,039	0,038	<b>0,0387</b>	<b>11,705</b>	<b>8,14</b>
	1½	0,002	0,003	0,003	<b>0,0027</b>	<b>1,419</b>	<b>0,21</b>
	3	0,013	0,01	0,012	<b>0,0117</b>	<b>3,990</b>	<b>2,20</b>
	4	0,01	0,008	0,009	<b>0,0090</b>	<b>3,229</b>	<b>1,61</b>
<b>C3</b>	½	0,051	0,05	0,05	<b>0,0503</b>	<b>15,038</b>	<b>10,71</b>
	1½	0,016	0,017	0,019	<b>0,0173</b>	<b>5,610</b>	<b>3,44</b>
	3	0,017	0,017	0,017	<b>0,0170</b>	<b>5,514</b>	<b>3,37</b>
	4	0,016	0,016	0,014	<b>0,0153</b>	<b>5,038</b>	<b>3,00</b>
<b>C4</b>	½	0,04	0,04	0,038	<b>0,0393</b>	<b>11,895</b>	<b>8,29</b>
	1½	0,006	0,005	0,006	<b>0,0057</b>	<b>2,276</b>	<b>0,87</b>
	3	0,005	0,005	0,006	<b>0,0053</b>	<b>2,181</b>	<b>0,80</b>
	4	0,01	0,01	0,011	<b>0,0103</b>	<b>3,610</b>	<b>1,90</b>
<b>C5</b>	½	0,044	0,045	0,042	<b>0,0437</b>	<b>13,133</b>	<b>9,24</b>
	1½	0,007	0,006	0,008	<b>0,0070</b>	<b>2,657</b>	<b>1,17</b>
	3	0,017	0,017	0,017	<b>0,0170</b>	<b>5,514</b>	<b>3,37</b>
	4	0,01	0,01	0,009	<b>0,0097</b>	<b>3,419</b>	<b>1,75</b>
<b>C6</b>	½	0,041	0,044	0,043	<b>0,0427</b>	<b>12,848</b>	<b>9,02</b>
	1½	0,005	0,007	0,007	<b>0,0063</b>	<b>2,467</b>	<b>1,02</b>
	3	0,002	0,002	0,002	<b>0,0020</b>	<b>1,229</b>	<b>0,07</b>
	4	0,006	0,007	0,007	<b>0,0067</b>	<b>2,562</b>	<b>1,09</b>

FUENTE: Elaboración propia

La Tabla N° 63 muestra que, similar a los datos obtenidos para el cianuro en botella, los resultados obtenidos para la concentración de oro

en diferentes muestras de cianuro para diagnóstico son diferentes. Este método es discutible. Además de las diferencias en los resultados, existe incertidumbre sobre la técnica utilizada debido a que la concentración de la muestra disminuye durante el tiempo de lixiviación.

De esta manera, realizamos otras pruebas para ver si podemos confiar en el método de extracción con solvente y esperar la reproducibilidad de los resultados.

## ENSAYO 2

El único parámetro que cambió durante esta prueba fue el tiempo y la prueba duró 24 horas.

Identificación de oro. El procedimiento fue idéntico a la prueba anterior con dos estándares y condiciones idénticas utilizando un dispositivo de absorción atómica Perkin Elmer. Los datos obtenidos para los estándares utilizados se pueden ver en las Tablas N° 64 y 65, y las curvas estándar se pueden ver en las Figuras N° 27 y 28.

**Tabla 64: Valores de absorbancia de los patrones de oro**

<b>PATRONES(1)</b>	<b>0,5 ppm</b>	<b>1 ppm</b>	<b>1,5 ppm</b>	<b>2 ppm</b>
<b>ABS.</b>	0,015	0,023	0,037	0,045
	0,016	0,026	0,038	0,047
	0,014	0,026	0,039	0,043
<b>ABS. PROM.</b>	0,0150	0,0250	0,0380	0,0450

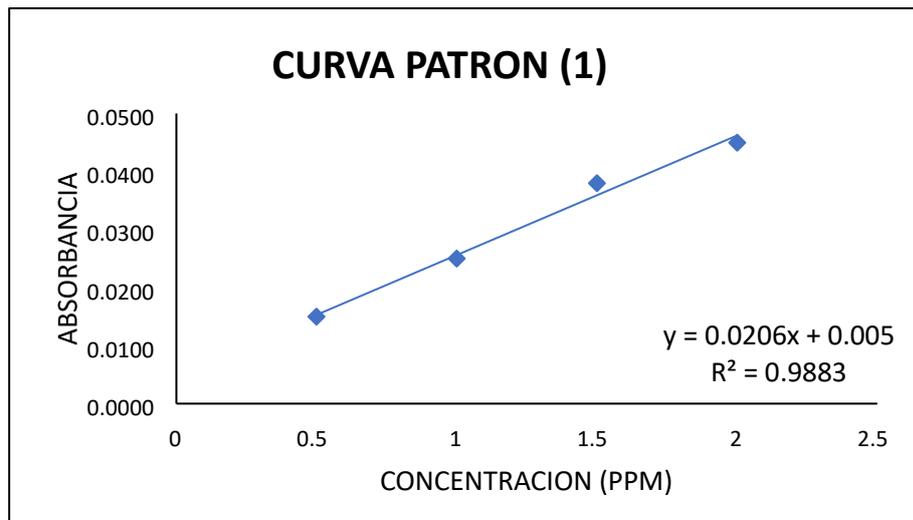
FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 65: Valores de absorbancia de los patrones de oro**

<b>PATRONES(2)</b>	<b>0,5 ppm</b>	<b>1 ppm</b>	<b>1,5 ppm</b>	<b>2 ppm</b>
<b>ABS.</b>	0,015	0,03	0,045	0,061
	0,014	0,033	0,044	0,061
	0,016	0,033	0,046	0,058
<b>ABS. PROM.</b>	0,0150	0,0320	0,0450	0,0600

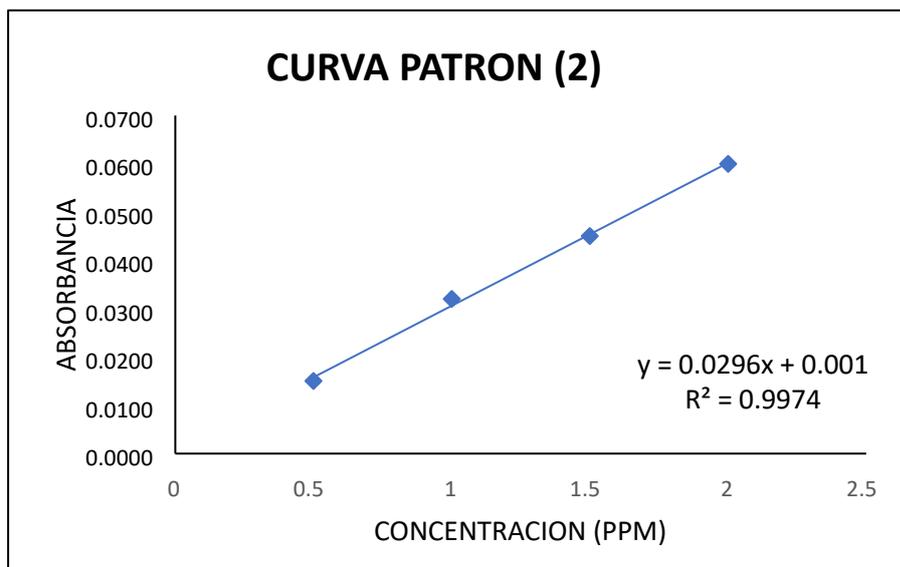
FUENTE: Elaboración propia

**Figura 27: Curvas patrones para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 28: Curvas patrones para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de absorbancia y concentración se presentan en la Tabla N° 66.

**Tabla 66: Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK**

<b>MUES TRAS</b>	<b>T. (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>			<b>PROM EDIO</b>	<b>CONC.1 (ppm)</b>	<b>CONC.2 (ppm)</b>
<b>C1</b>	½	0,002	0,003	0,002	<b>0,0023</b>	<b>0,00</b>	<b>0,45</b>
	2	0,005	0,006	0,006	<b>0,0057</b>	<b>0,32</b>	<b>1,58</b>
	3	0,007	0,006	0,006	<b>0,0063</b>	<b>0,65</b>	<b>1,80</b>
	4	0,006	0,006	0,006	<b>0,0060</b>	<b>0,49</b>	<b>1,69</b>
	5	0,008	0,008	0,007	<b>0,0077</b>	<b>1,29</b>	<b>2,25</b>
	6	0,005	0,005	0,005	<b>0,0050</b>	<b>0,00</b>	<b>1,35</b>
	8	0,003	0,003	0,003	<b>0,0030</b>	<b>0,00</b>	<b>0,68</b>
	10	0,006	0,007	0,007	<b>0,0067</b>	<b>0,81</b>	<b>1,91</b>
	12	0,008	0,009	0,007	<b>0,0080</b>	<b>1,46</b>	<b>2,36</b>
	16	0,009	0,009	0,009	<b>0,0090</b>	<b>1,94</b>	<b>2,70</b>
	20	0,006	0,006	0,006	<b>0,0060</b>	<b>0,49</b>	<b>1,69</b>
	24	0,006	0,006	0,006	<b>0,0060</b>	<b>0,49</b>	<b>1,69</b>
<b>C2</b>	½	0,006	0,008	0,007	<b>0,0070</b>	<b>0,97</b>	<b>2,03</b>
	2	0,008	0,009	0,01	<b>0,0090</b>	<b>1,94</b>	<b>2,70</b>
	3	0,012	0,011	0,009	<b>0,0107</b>	<b>2,75</b>	<b>3,27</b>
	4	0,011	0,011	0,011	<b>0,0110</b>	<b>2,91</b>	<b>3,38</b>
	5	0,012	0,012	0,012	<b>0,0120</b>	<b>3,40</b>	<b>3,72</b>
	6	0,012	0,011	0,013	<b>0,0120</b>	<b>3,40</b>	<b>3,72</b>
	8	0,012	0,012	0,012	<b>0,0120</b>	<b>3,40</b>	<b>3,72</b>
	10	0,011	0,011	0,011	<b>0,0110</b>	<b>2,91</b>	<b>3,38</b>
	12	0,01	0,011	0,012	<b>0,0110</b>	<b>2,91</b>	<b>3,38</b>
	16	0,011	0,011	0,011	<b>0,0110</b>	<b>2,91</b>	<b>3,38</b>
	20	0,009	0,009	0,009	<b>0,0090</b>	<b>1,94</b>	<b>2,70</b>
	24	0,009	0,01	0,01	<b>0,0097</b>	<b>2,27</b>	<b>2,93</b>
<b>C3</b>	½	0,022	0,02	0,021	<b>0,0210</b>	<b>7,767</b>	<b>6,76</b>
	1½	0,029	0,03	0,032	<b>0,0303</b>	<b>12,30</b>	<b>9,91</b>
	3	0,038	0,036	0,036	<b>0,0367</b>	<b>15,37</b>	<b>12,05</b>
	4	0,029	0,028	0,03	<b>0,0290</b>	<b>11,65</b>	<b>9,46</b>
	5	0,027	0,029	0,027	<b>0,0277</b>	<b>11,00</b>	<b>9,01</b>
	6	0,029	0,027	0,028	<b>0,0280</b>	<b>11,17</b>	<b>9,12</b>
	8	0,02	0,021	0,022	<b>0,0210</b>	<b>7,77</b>	<b>6,76</b>
	10	0,018	0,016	0,018	<b>0,0173</b>	<b>5,99</b>	<b>5,52</b>
	12	0,013	0,014	0,014	<b>0,0137</b>	<b>4,21</b>	<b>4,28</b>
	16	0,014	0,014	0,014	<b>0,0140</b>	<b>4,37</b>	<b>4,39</b>
	20	0,011	0,011	0,011	<b>0,0110</b>	<b>2,91</b>	<b>3,38</b>
	24	0,012	0,013	0,013	<b>0,0127</b>	<b>3,72</b>	<b>3,94</b>
<b>C4</b>	½	0,008	0,008	0,008	<b>0,0080</b>	<b>1,46</b>	<b>2,36</b>
	1½	0,014	0,015	0,015	<b>0,0147</b>	<b>4,69</b>	<b>4,62</b>
	3	0,022	0,022	0,022	<b>0,0220</b>	<b>8,25</b>	<b>7,09</b>
	4	0,024	0,024	0,022	<b>0,0233</b>	<b>8,90</b>	<b>7,55</b>

	5	0,024	0,0024	0,024	<b>0,0168</b>	<b>5,73</b>	<b>5,34</b>
	6	0,024	0,026	0,026	<b>0,0253</b>	<b>9,87</b>	<b>8,22</b>
	8	0,024	0,025	0,025	<b>0,0247</b>	<b>9,55</b>	<b>8,00</b>
	10	0,024	0,024	0,023	<b>0,0237</b>	<b>9,06</b>	<b>7,66</b>
	12	0,021	0,021	0,021	<b>0,0210</b>	<b>7,77</b>	<b>6,76</b>
	16	0,019	0,019	0,019	<b>0,0190</b>	<b>6,80</b>	<b>6,08</b>
	20	0,017	0,019	0,018	<b>0,0180</b>	<b>6,31</b>	<b>5,74</b>
	24	0,017	0,017	0,017	<b>0,0170</b>	<b>5,83</b>	<b>5,41</b>
C5	½	0,006	0,006	0,006	<b>0,0060</b>	<b>0,49</b>	<b>1,69</b>
	1½	0,007	0,007	0,007	<b>0,0070</b>	<b>0,97</b>	<b>2,03</b>
	3	0,012	0,012	0,012	<b>0,0120</b>	<b>3,40</b>	<b>3,72</b>
	4	0,014	0,014	0,012	<b>0,0133</b>	<b>4,05</b>	<b>4,17</b>
	5	0,015	0,013	0,017	<b>0,0150</b>	<b>4,85</b>	<b>4,73</b>
	6	0,014	0,013	0,012	<b>0,0130</b>	<b>3,88</b>	<b>4,05</b>
	8	0,013	0,014	0,013	<b>0,0133</b>	<b>4,05</b>	<b>4,17</b>
	10	0,013	0,014	0,012	<b>0,0130</b>	<b>3,88</b>	<b>4,05</b>
	12	0,009	0,011	0,01	<b>0,0100</b>	<b>2,43</b>	<b>3,04</b>
	16	0,009	0,01	0,01	<b>0,0097</b>	<b>2,27</b>	<b>2,93</b>
	20	0,01	0,01	0,01	<b>0,0100</b>	<b>2,43</b>	<b>3,04</b>
	24	0,01	0,009	0,009	<b>0,0093</b>	<b>2,10</b>	<b>2,82</b>

FUENTE: Elaboración propia

Se realizó un monitoreo más continuo del proceso de lixiviación como se muestra en la Tabla N° 66, con muestras tomadas en cada momento predeterminado durante un período de 24 horas.

La Tabla N° 66 también muestra que los valores de concentración tienen cierta similitud. En comparación con la prueba anterior, los resultados de concentración no fueron precisos, pero durante el proceso de lixiviación los resultados no fueron los esperados. En todas las pruebas, la concentración de oro de las muestras analizadas disminuyó a medida que avanzaba el proceso, lo que hizo pensar en la presencia de interferencias que pudieran afectar el proceso de disolución del oro en la solución de cianuro.

### ENSAYO 3

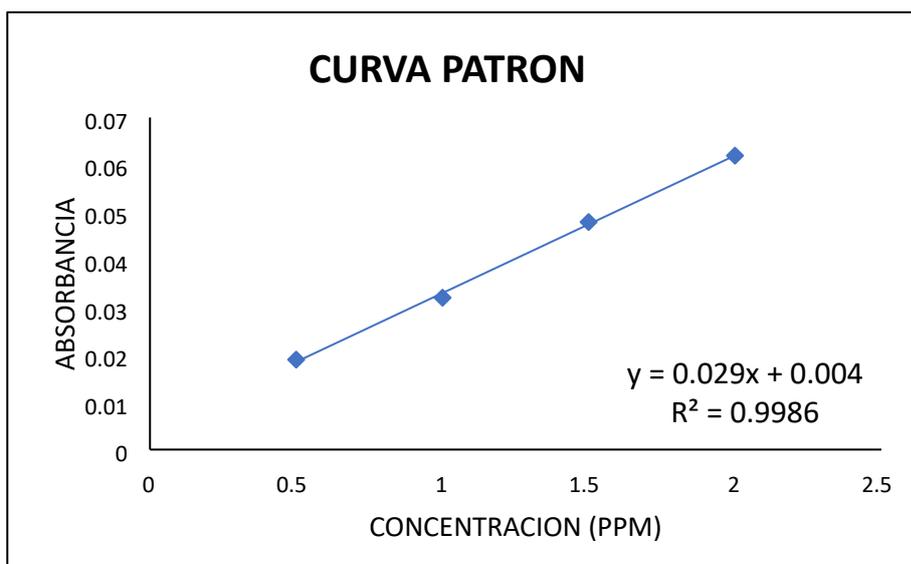
Determinación de oro. En este ensayo se analizaron varias muestras, cada una de ellas por duplicado, para observar el grado de precisión entre cada una de las concentraciones reportadas.

*Tabla 67: Valores de absorbancia de los patrones de oro*

PATRONES(1)	0,5 ppm	1 ppm	1,5 ppm	2 ppm
ABS.	0,019	0,032	0,047	0,06
	0,019	0,031	0,048	0,062
	0,019	0,033	0,049	0,064
ABS. PROM.	0,0190	0,0320	0,0480	0,0620

FUENTE: Elaboración propia

*Figura 29: Curva patrón para la determinación de oro*



FUENTE: Elaboración propia

La Tabla N° 67 y la Figura N° 29 muestran valores de absorbancia de materiales estándar y curvas estándar, respectivamente.

Los datos obtenidos para la concentración y absorbancia de las muestras se presentan en la Tabla N° 68 y 69.

**Tabla 68: Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK**

MUESTRAS	TIEMPO (h)	ABSORBANCIA			PROMEDIO	CONCENT.
C1	4	0,007	0,007	0,007	<b>0,0070</b>	<b>1,03</b>
	8	0,008	0,008	0,009	<b>0,0083</b>	<b>1,49</b>
	16	0,006	0,007	0,007	<b>0,0067</b>	<b>0,92</b>
	24	0,008	0,007	0,007	<b>0,0073</b>	<b>1,15</b>
C2	4	0,011	0,011	0,012	<b>0,0113</b>	<b>2,53</b>
	8	0,014	0,016	0,013	<b>0,0143</b>	<b>3,56</b>
	16	0,016	0,014	0,015	<b>0,0150</b>	<b>3,79</b>
	24	0,015	0,015	0,015	<b>0,0150</b>	<b>3,79</b>
C3	4	0,033	0,033	0,031	<b>0,0323</b>	<b>9,77</b>
	8	0,033	0,034	0,033	<b>0,0333</b>	<b>10,11</b>
	16	0,035	0,033	0,033	<b>0,0337</b>	<b>10,23</b>
	24	0,034	0,033	0,033	<b>0,0333</b>	<b>10,11</b>
C4	4	0,04	0,04	0,041	<b>0,0403</b>	<b>12,53</b>
	8	0,042	0,041	0,042	<b>0,0417</b>	<b>12,99</b>
	16	0,044	0,042	0,042	<b>0,0427</b>	<b>13,33</b>
	24	0,04	0,041	0,041	<b>0,0407</b>	<b>12,64</b>
C5	4	0,019	0,02	0,019	<b>0,0193</b>	<b>5,29</b>
	8	0,02	0,02	0,02	<b>0,0200</b>	<b>5,52</b>
	16	0,021	0,021	0,021	<b>0,0210</b>	<b>5,86</b>
	24	0,02	0,021	0,02	<b>0,0203</b>	<b>5,63</b>
C6	4	0,013	0,014	0,013	<b>0,0133</b>	<b>3,22</b>
	8	0,012	0,013	0,014	<b>0,0130</b>	<b>3,10</b>
	16	0,011	0,012	0,015	<b>0,0127</b>	<b>2,99</b>
	24	0,013	0,012	0,012	<b>0,0123</b>	<b>2,87</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 69: Valores de absorbancia y concentración de Au en muestras con MIBK (Duplicado)**

MUESTRAS	TIEMPO (h)	ABSORBANCIA			PROMEDIO	CONCENT.
C1	4	0,005	0,007	0,007	<b>0,0063</b>	<b>0,80</b>
	8	0,006	0,007	0,006	<b>0,0063</b>	<b>0,80</b>
	16	0,006	0,007	0,006	<b>0,0063</b>	<b>0,80</b>
	24	0,007	0,005	0,006	<b>0,0060</b>	<b>0,69</b>
C2	4	0,015	0,016	0,015	<b>0,0153</b>	<b>3,91</b>
	8	0,014	0,015	0,015	<b>0,0147</b>	<b>3,68</b>
	16	0,016	0,013	0,013	<b>0,0140</b>	<b>3,45</b>
	24	0,015	0,016	0,013	<b>0,0147</b>	<b>3,68</b>
	4	0,032	0,032	0,031	<b>0,0317</b>	<b>9,54</b>

<b>C3</b>	8	0,035	0,034	0,035	<b>0,0347</b>	<b>10,57</b>
	16	0,034	0,033	0,033	<b>0,0333</b>	<b>10,11</b>
	24	0,034	0,033	0,033	<b>0,0333</b>	<b>10,11</b>
<b>C4</b>	4	0,042	0,041	0,041	<b>0,0413</b>	<b>12,87</b>
	8	0,041	0,041	0,041	<b>0,0410</b>	<b>12,76</b>
	16	0,04	0,04	0,042	<b>0,0407</b>	<b>12,64</b>
	24	0,04	0,04	0,038	<b>0,0393</b>	<b>12,18</b>
<b>C5</b>	4	0,019	0,02	0,019	<b>0,0193</b>	<b>5,29</b>
	8	0,023	0,023	0,023	<b>0,0230</b>	<b>6,55</b>
	16	0,023	0,023	0,023	<b>0,0230</b>	<b>6,55</b>
	24	0,022	0,023	0,023	<b>0,0227</b>	<b>6,44</b>

FUENTE: Elaboración propia

Como puede verse en los datos de concentración de oro en las Tablas N° 68 y 69, esta prueba logra un alto nivel de similitud. La mayor diferencia con respecto a experimentos anteriores fue el tiempo necesario para la recolección de muestras. Esto se debe a que en este experimento las muestras se repartieron en un período superior a 24 horas.

Sin embargo, los resultados del ensayo son bastante confiables, pero se puede ver en las Tablas N° 68 y 69 que las concentraciones de oro determinadas para las diversas muestras permanecen casi constantes a lo largo del tiempo, lo que indica la presencia de sustancias extrañas que hacen esto. Incapacidad para disolver oro en solución de cianuro o ineficiencia de las técnicas de extracción utilizando solventes orgánicos. Según los datos obtenidos de todas las pruebas basadas en los datos obtenidos de todas las pruebas, la definición puede ser baja, porque no hay otro tipo de problema, así como otros tipos. La dificultad de la estabilización, como la prueba del equipo de absorción atómica, agrava el análisis, de modo que se pierde de la curva para diluir cada uno de ellos.

Por lo tanto, este método de análisis muy difícil se ha considerado debido al tiempo y la baja confiabilidad ofrecida para la preparación y análisis del modelo.

**f) Análisis de muestras cianuradas por A.A. empleando patrones cianurados**

Después de analizar la muestra de cianuro mediante extracción con disolventes orgánicos, la muestra de cianuro se analizó mediante espectrofotometría de absorción atómica utilizando una sustancia estándar de cianuro. Al preparar estos estándares, utilizamos una solución de cianuro de 1000 ppm y luego pesamos volúmenes de 50 ml en varios matraces volumétricos y agregamos la cantidad requerida de estándar de oro de 1000 ppm a cada matraz volumétrico para obtener estándares entre 1 y 15 ppm. El procedimiento para analizar muestras de cianuro utilizando estándares de absorción atómica de cianuro se detalla en el Apéndice 9.

Inicialmente, en esta etapa del proyecto, se realizaron una serie de pruebas preliminares para determinar la linealidad del método, el límite de cuantificación y el límite de detección del instrumento para asegurar la confianza en el análisis y los resultados.

A continuación, se muestran los resultados de estas pruebas preliminares.

**f.1). Adición estándar**

Este método implica agregar una o más cantidades iguales de una solución estándar a una muestra de la muestra. Este es un trabajo preliminar para la preparación de materiales estándar. A continuación, se muestran los resultados de dos dispositivos de absorción atómica diferentes disponibles en el laboratorio que utilizan diferentes longitudes de onda.

Grupo científico Buck. En esta prueba, las condiciones del equipo fueron longitud de onda  $\lambda = 242,8$  nm, rango = 0,7 y la muestra utilizada fue C4 diluido 1:1. Los valores reportados por los grupos se muestran en la Tabla N° 70.

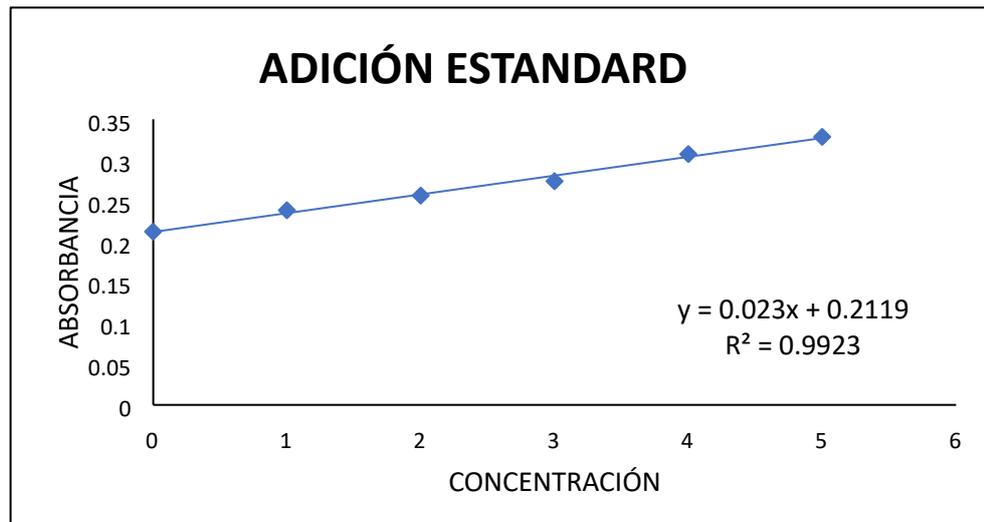
**Tabla 70: Resultados de absorbanza adición estándar muestra C4  $\lambda = 242,8$  nm**

<b>VALOR</b>	<b>Blanco C4</b>	<b>C4+1p pmAu</b>	<b>C4+2p pmAu</b>	<b>C4+3pp mAu</b>	<b>C4+4pp mAu</b>	<b>C4+5p pmAu</b>
<b>ABS.</b>	0,2178	0,2382	0,2504	0,2788	0,3006	0,3287
	0,2159	0,2374	0,2503	0,2748	0,2961	0,3304
	0,214	0,2355	0,2548	0,2734	0,2982	0,332
	0,2145	0,2364	0,2576	0,27	0,2965	0,334
	0,2102	0,2375	0,2562	0,2725	0,3032	0,3306
	0,2097	0,2387	0,2572	0,2728	0,3182	0,3244
	0,209	0,2406	0,2557	0,2739	0,3132	0,3269
	0,2095	0,2394	0,2563	0,2732	0,3163	0,3276
	0,2103	0,2403	0,2561	0,2764	0,3178	0,3239
	0,2094	0,2385	0,2563	0,2751	0,3089	0,3297
	0,2118		0,257	0,2781	0,3118	0,3244
	0,2138			0,2714	0,3089	0,328
0,2123				0,3058	0,3276	
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,2122</b>	<b>0,2383</b>	<b>0,2564</b>	<b>0,2742</b>	<b>0,3073</b>	<b>0,3283</b>

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura N° 30, se puede observar la linealidad a una longitud de onda de  $\lambda = 242,8$  nm mediante el método de adición estándar utilizando equipos de absorción atómica de Buck Scientific.

**Figura 30: Adición estándar equipo Buck Scientific  $\lambda = 242,8\text{nm}$**



FUENTE: Elaboración propia

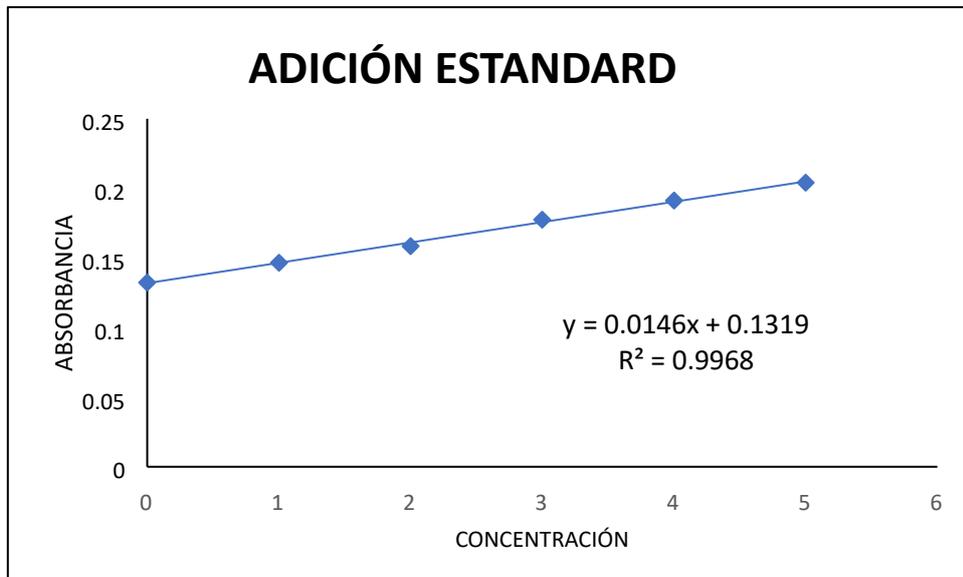
Se realizó otra prueba de conectividad estándar utilizando una longitud de onda de  $\lambda = 267,6\text{ nm}$  y variando la longitud de onda del instrumento. Otros parámetros se mantuvieron constantes. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla N° 71. Figura N° 31.

**Tabla 71: Resultado de absorbancia adición estándar muestra C 4  $\lambda=267,6\text{nm}$**

VALOR	Blanco	C4+1ppm Au	C4+2ppm Au	C4+3ppm Au	C4+4ppm Au	C4+5ppm Au
ABS.	0,1351	0,1498	0,1526	0,1755	0,1932	0,2005
	0,1343	0,1513	0,1531	0,1768	0,1942	0,2022
	0,131	0,1521	0,1535	0,1812	0,1931	0,2028
	0,1329	0,149	0,1528	0,1787	0,1911	0,2045
	0,1325	0,1472	0,1549	0,1786	0,1898	0,2063
	0,1325	0,1403	0,1651	0,1759	0,192	0,2034
	0,1319	0,1448	0,1629	0,176	0,1918	0,208
	0,1324	0,1413	0,1629	0,175	0,1899	0,2038
	0,1303	0,1457	0,1651	0,1792	0,1893	0,206
	0,1321	0,1443	0,1621	0,1776	0,1885	
<b>PROMEDIO</b>	0,1325	<b>0,1466</b>	<b>0,1585</b>	<b>0,1775</b>	<b>0,1913</b>	0,2042

FUENTE: Elaboración propia

*Figura 31: Adición estándar equipo Buck Scientific  $\lambda = 267,6\text{nm}$*



FUENTE: Elaboración propia

En las Figuras N° 30 y 31, podemos ver claramente que el coeficiente de correlación más alto  $R^2$  ocurre cuando el instrumento de absorción atómica opera a una longitud de onda de  $\lambda = 267,6\text{ nm}$ . Esto significa que, al analizar muestras de concentración desconocida, la linealidad es mayor en estas condiciones, lo que resulta en una mayor precisión de los resultados.

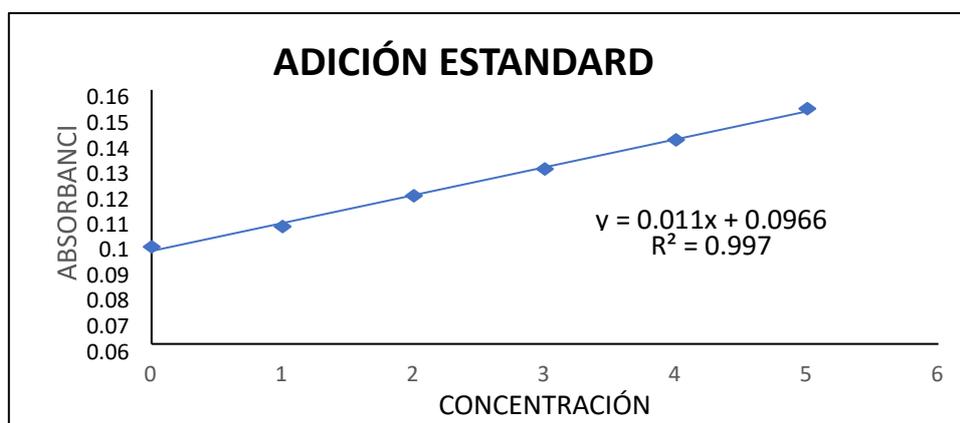
**Equipo Perkin Elmer.** Las condiciones del equipo para esta prueba fueron longitud de onda  $\lambda = 242,8\text{ nm}$ , rango = 0,7 y la muestra utilizada fue C4 diluido 1:1. La Tabla N° 72 proporciona datos de absorción y concentración de varios aditivos utilizados en la preparación; véase Figura N° 32.

**Tabla 72: Resultados de absorbancia adición estándar muestra C4  $\lambda = 242,8\text{nm}$**

VALOR	Blanco	C4+1ppm Au	C4+2pp mAu	C4+3p pmAu	C4+4 ppm Au	C4+5pp mAu
<b>ABS.</b>	<sup>C4</sup> 0,098	0,106	0,118	0,13	0,138	0,153
	0,098	0,106	0,119	0,129	0,139	0,153
	0,099	0,106	0,119	0,128	0,142	0,151
	0,098	0,107	0,118	0,129	0,141	0,152
	0,097	0,107	0,117	0,129	0,139	0,152
	0,099	0,107	0,117	0,129	0,142	0,153
	0,098	0,105	0,118	0,13	0,142	0,153
	0,098	0,105	0,119	0,127	0,141	0,154
	0,098	0,107	0,12	0,128	0,14	0,153
	0,099	0,106	0,118	0,129	0,139	0,152
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,0982</b>	<b>0,1062</b>	<b>0,1183</b>	<b>0,1288</b>	<b>0,1403</b>	<b>0,1526</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 32: Adición estándar equipo Perkin Elmer  $\lambda=242,8\text{nm}$**



FUENTE: Elaboración propia

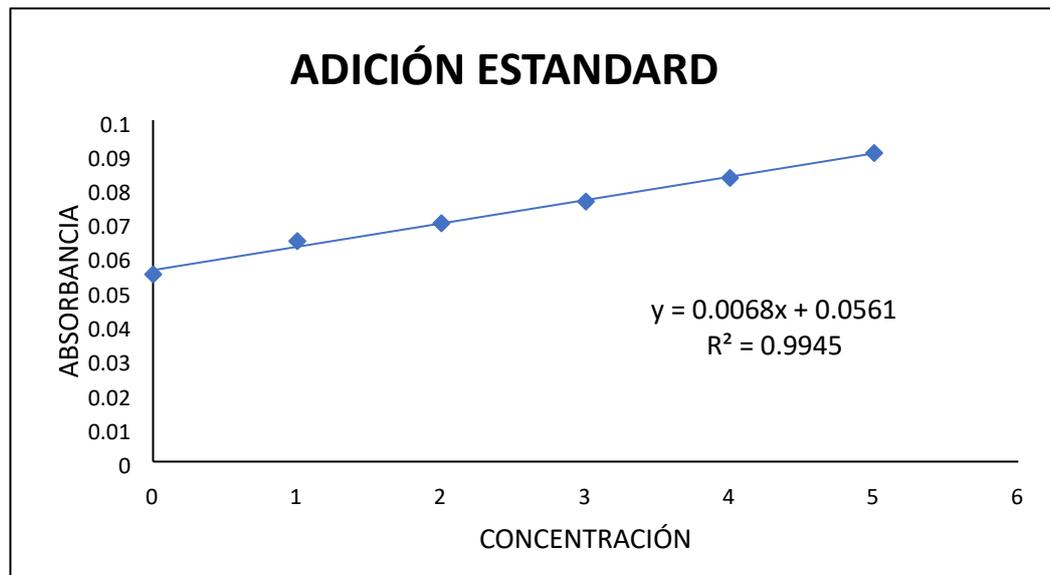
De manera similar, se realizó otra prueba de conexión estándar variando la longitud de onda del instrumento usando  $\lambda=267,6$  nm. Sin cambiar otras configuraciones. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla N° 73 y la Figura N° 33 respectivamente.

**Tabla 73: Resultados de absorbancia adición estándar muestra C 4  $\lambda=267,6\text{nm}$**

VALOR	Blanco C4	C4+1pp mAu	C4+2pp mAu	C4+3pp mAu	C4+4ppm Au	C4+5ppm Au
ABS.	0,053	0,065	0,07	0,076	0,084	0,092
	0,055	0,065	0,069	0,076	0,084	0,091
	0,057	0,064	0,07	0,076	0,083	0,09
	0,055	0,064	0,069	0,077	0,083	0,092
	0,055	0,065	0,07	0,075	0,083	0,09
	0,055	0,064	0,069	0,076	0,082	0,09
	0,054	0,065	0,071	0,078	0,084	0,089
	0,055	0,065	0,07	0,076	0,082	0,089
	0,055	0,064	0,07	0,076	0,083	0,091
	0,055	0,065	0,07	0,076	0,083	0,09
<b>PROM</b>	<b>0,0549</b>	<b>0,0646</b>	<b>0,0698</b>	<b>0,0762</b>	<b>0,0831</b>	<b>0,0904</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 33: Adición estándar equipo Perkin Elmer  $\lambda=267,6\text{nm}$**



FUENTE: Elaboración propia

Como se muestra en las Figuras N° 33 y 34, el instrumento Perkin Elmer exhibe un alto coeficiente R<sup>2</sup> de linealidad y correlación a una longitud de onda de  $\lambda=242,8\text{ nm}$ . Todo esto nos permite concluir que las mejores condiciones para el funcionamiento del instrumento son la longitud de onda

$\lambda=267,6$  nm para el instrumento de absorción atómica Buck Scientific y  $\lambda=242,8$  nm para el instrumento Perkin Elmer.

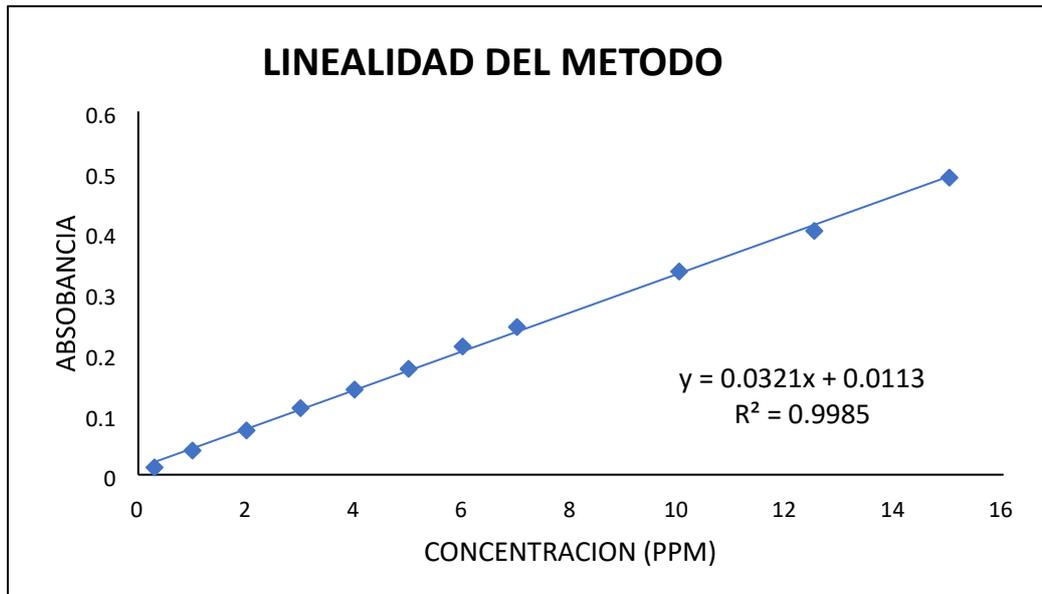
**Linealidad del método.** Esta prueba se realizó preparando estándares de 0,3 a 15 ppm para determinar cómo el aumento de la concentración de la muestra estándar afectaba la linealidad y para garantizar que la concentración de la muestra de prueba estuviera dentro de este rango para evitar la dilución, lo que provoca un error. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla N° 74, y el gráfico correspondiente se presenta en la Figura N° 34.

**Tabla 74: Valores de absorbancia patrones de oro Buck Scientific  $\lambda=242,8n$**

<b>0,3ppm</b>	<b>1ppm</b>	<b>2ppm</b>	<b>3ppm</b>	<b>4ppm</b>	<b>5ppm</b>	<b>6ppm</b>	<b>7ppm</b>	<b>10ppm</b>	<b>12,5pp</b>	<b>15ppm</b>
	<b>Au</b>	<b>m Au</b>	<b>Au</b>							
<b>0,0119</b>	0,0395	0,0716	0,1095	0,1415	0,1716	0,2109	0,2447	0,3384	0,4042	0,4866
<b>0,0125</b>	0,0401	0,0721	0,1084	0,1416	0,1747	0,2113	0,2435	0,3375	0,4026	0,4886
<b>0,0123</b>	0,04	0,072	0,1086	0,1416	0,1726	0,211	0,245	0,3376	0,4024	0,488
<b>0,0118</b>	0,0402	0,0723	0,1083	0,1415	0,176	0,2122	0,2433	0,3373	0,4013	0,4873
<b>0,0116</b>	0,0406	0,0732	0,1099	0,1416	0,1756	0,2112	0,2454	0,3342	0,3994	0,4876
<b>0,0126</b>	0,0398	0,0734	0,1123	0,1404	0,1777	0,2117	0,244	0,3321	0,405	0,4968
<b>0,0123</b>	0,0403	0,0742	0,1118	0,1393	0,1759	0,2115	0,244	0,3342	0,4013	0,493
<b>0,0124</b>	0,0408	0,0744	0,1101	0,1402	0,1756	0,2137	0,2454	0,3359	0,4018	0,495
<b>0,0126</b>	0,041	0,0748	0,1115	0,1396	0,1755	0,2133	0,2423	0,3334	0,4062	0,4942
<b>0,0122</b>	<b>0,0403</b>	<b>0,0731</b>	<b>0,1100</b>	<b>0,1408</b>	<b>0,1750</b>	<b>0,2119</b>	<b>0,2442</b>	<b>0,3356</b>	<b>0,4027</b>	<b>0,4908</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 34: Linealidad del método equipo Buck Scientific  $\lambda=242,8\text{nm}$**



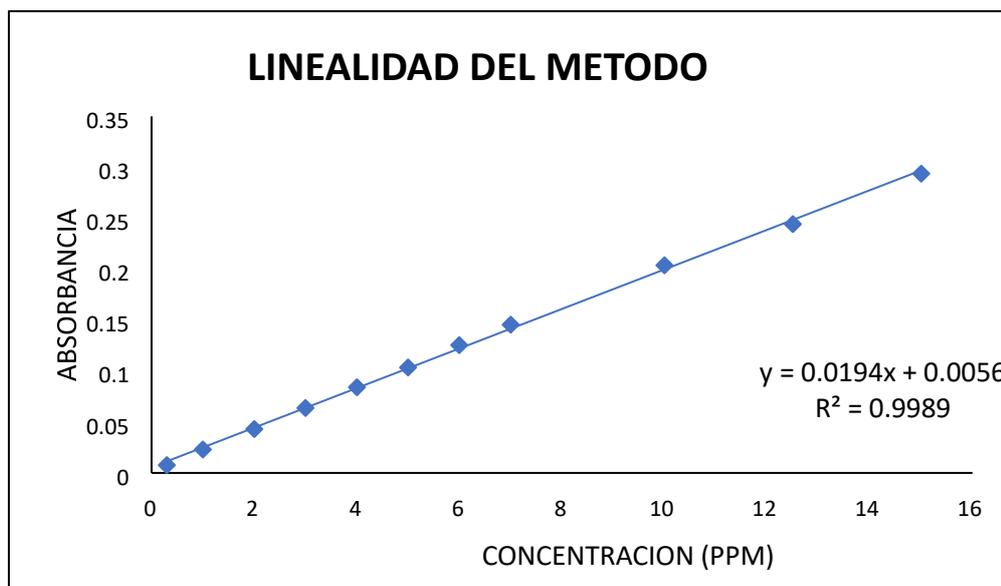
FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 75: Valores de absorbancia patrones de oro Buck Scientific  $\lambda=267,6\text{nm}$**

<b>0,3ppm</b>	<b>1ppm</b>	<b>2ppm</b>	<b>3ppm</b>	<b>4ppm</b>	<b>5ppm</b>	<b>6ppm</b>	<b>7ppm</b>	<b>10ppm</b>	<b>12,5p</b>	<b>15pp</b>
	<b>Au</b>		<b>Au</b>	<b>Au</b>	<b>Au</b>	<b>Au</b>	<b>Au</b>	<b>Au</b>	<b>pm</b>	<b>m Au</b>
									<b>Au</b>	
<b>0,0081</b>	0,0231	0,043	0,0648	0,0845	0,1043	0,1251	0,1464	0,2037	0,2433	0,2928
<b>0,0073</b>	0,0229	0,0423	0,0649	0,0852	0,103	0,1256	0,1465	0,2038	0,2437	0,2939
<b>0,0076</b>	0,0232	0,042	0,0647	0,0839	0,1028	0,1232	0,1456	0,2048	0,2426	0,2938
<b>0,0076</b>	0,0233	0,0419	0,0641	0,0827	0,1026	0,1254	0,1468	0,2038	0,2447	0,2941
	0,0225	0,0425	0,0648	0,0825	0,1036	0,1248	0,1462	0,2045	0,2428	0,2937
	0,0226	0,0449	0,0633	0,0844	0,1045	0,126	0,1452	0,2054	0,2447	0,2924
	0,0229	0,0446	0,0625	0,0842	0,1037	0,1266	0,145	0,2041	0,2461	0,2944
	0,0235	0,0434	0,0621	0,085	0,1039	0,1258	0,1451	0,2021	0,2449	0,2956
	0,0233	0,0432	0,0634	0,0853	0,1044	0,1262	0,1457	0,2035	0,2455	0,2942
	0,0232	0,0448	0,0639	0,0852	0,1041		0,145	0,2033	0,2468	0,2944
<b>0,0077</b>	<b>0,0231</b>	<b>0,0433</b>	<b>0,0639</b>	<b>0,0843</b>	<b>0,1037</b>	<b>0,1255</b>	<b>0,1458</b>	<b>0,2039</b>	<b>0,2445</b>	<b>0,2939</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 35: Linealidad del método equipo Buck Scientific  $\lambda=267,6\text{nm}$**



FUENTE: Elaboración propia

En las Figuras N° 34 y 35 se puede observar claramente la alta linealidad que exhibe el análisis al utilizar estándares de cianuro, alcanzando un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0,9985$  para la longitud de onda  $\lambda = 242,8 \text{ nm}$  y el coeficiente de correlación  $R^2$  para  $\lambda = 267,6 \text{ nm} = 0,9989$ . Como se puede observar, no existe una diferencia significativa entre los dos valores obtenidos, por lo que es posible cambiar las respectivas longitudes de onda al analizar las muestras de prueba.

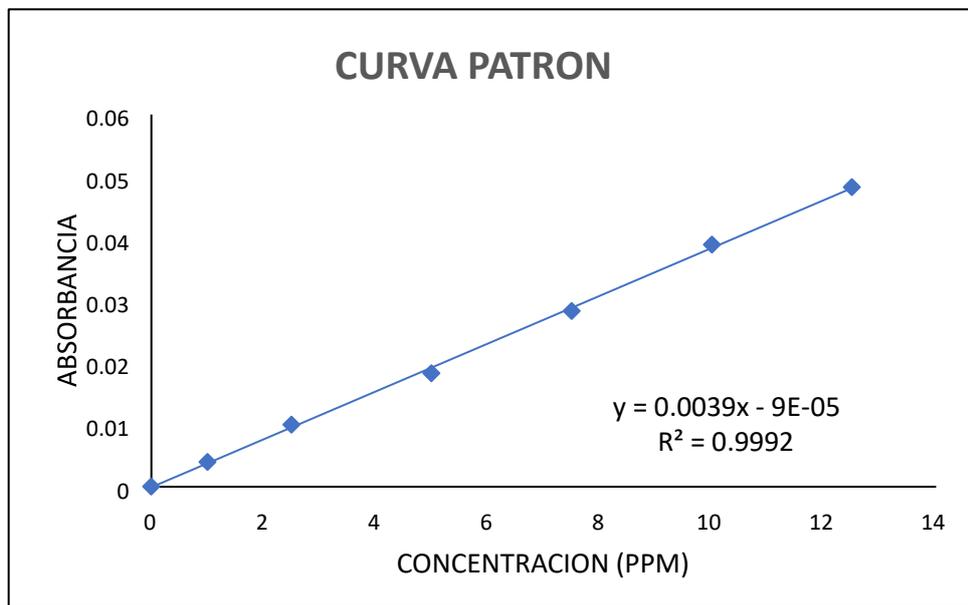
Detección y determinación de umbrales cuantitativos. Esta prueba se realizó para determinar los límites de detección y cuantificación de los equipos de absorción atómica de Buck Scientific. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla N° 76 y la Figura N° 36.

**Tabla 76: Absorbancia promedio patrones de oro**

<b>PATRON (ppm)</b>	<b>ABS. PROM.</b>
0	0
1	0,004
2,5	0,01
5	0,0183
7,5	0,0283
10	0,039
12,5	0,0486

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 36: Curva patrón para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

Luego se calcularon las capacidades de absorción del blanco, la solución de cianuro y el agua utilizada para comparar las dos soluciones y determinar otros parámetros.

**Tabla 77: Absorbancia de los blancos**

<b>AGUA</b>	<b>CIANURO</b>
0	0
0	0
0,002	0
0	0
0,002	-0,001
0,001	-0,001
0,001	-0,001
0,001	0
0,001	0
0,001	-0,001
0,001	-0,001
0,002	0
0,002	0
0,002	-0,001
0,002	0
0,002	0
0,003	-0,001
0,002	-0,001
0,002	-0,001
0,002	-0,001
0,002	-0,001
0,003	0
0,003	-0,001
0,002	0
0,003	-0,001

FUENTE: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos en la Tabla N°77, calculamos los límites de detección y cuantificación del equipo, como se aprecia en la Tabla N°78.

**Tabla 78: Límite de detección y cuantificación equipo Buck Scientific**

<b>SOLUCION</b>	<b>AGUA</b>	<b>CIANURO</b>
<b>Au (ppm)</b>	0,2564	0,156
<b>DESVEST</b>	0,0009	0,0005
<b>LIM. DETEC.</b>	0,6923	0,3910
<b>LIM. CUANT.</b>	2,3076	1,3035

FUENTE: Elaboración propia

Las soluciones de cianuro tienen límites más bajos de detección y cuantificación, lo que hace que el análisis sea conveniente.

### **Cálculo de la concentración de oro**

Inicialmente se calcularon las concentraciones de dos muestras C1 y C4 con diferentes contenidos de oro. Estos cálculos se realizaron en varias longitudes de onda utilizando equipos de absorción atómica disponibles en el laboratorio. Por tanto, evaluamos si había diferencias significativas entre el uso de equipos específicos y el uso de longitudes de onda específicas. El equipo de Perkin Elmer.

El instrumento se operó a una longitud de onda de  $\lambda = 267,6$  nm y una apertura = 0,7.

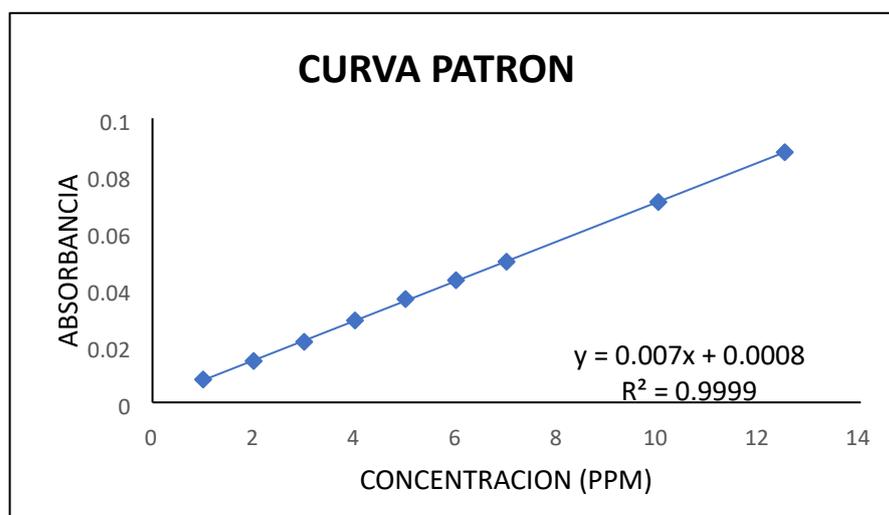
Los resultados de absorción de los productos estándar utilizados se muestran en la Tabla N° 79 y el gráfico correspondiente se muestra en la Figura N° 37.

**Tabla 79: Valores de absorbancia patrones de oro**

<b>1ppm Au</b>	<b>2ppm Au</b>	<b>3ppm Au</b>	<b>4ppm Au</b>	<b>5ppm Au</b>	<b>6pp m Au</b>	<b>7pp m Au</b>	<b>10pp m Au</b>	<b>12,5ppm Au</b>
<b>0,008</b>	0,015	0,021	0,028	0,036	0,043	0,05	0,071	0,088
<b>0,008</b>	0,014	0,022	0,029	0,037	0,043	0,049	0,07	0,088
<b>0,008</b>	0,015	0,021	0,029	0,036	0,043	0,05	0,07	0,089
<b>0,008</b>	0,014	0,021	0,029	0,036	0,043	0,049	0,071	0,087
<b>0,008</b>	<b>0,0145</b>	<b>0,0213</b>	<b>0,0288</b>	<b>0,0363</b>	<b>0,043</b>	<b>0,04 95</b>	<b>0,07 05</b>	<b>0,088</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 37: Curva patrón para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

La Tabla N° 80, muestra los valores de absorbancia y concentración de las dos muestras empleadas.

**Tabla 80: Valores de absorbancia y concentración muestras**

MUESTRAS	ABS.	ABS.PROM.	CONC.(ppm)
<b>C1</b>	0,011	0,0113	1,5
	0,012		
	0,011		
<b>C4 1:1</b>	0,056	0,0553	15,57
	0,055		
	0,055		

FUENTE: Elaboración propia

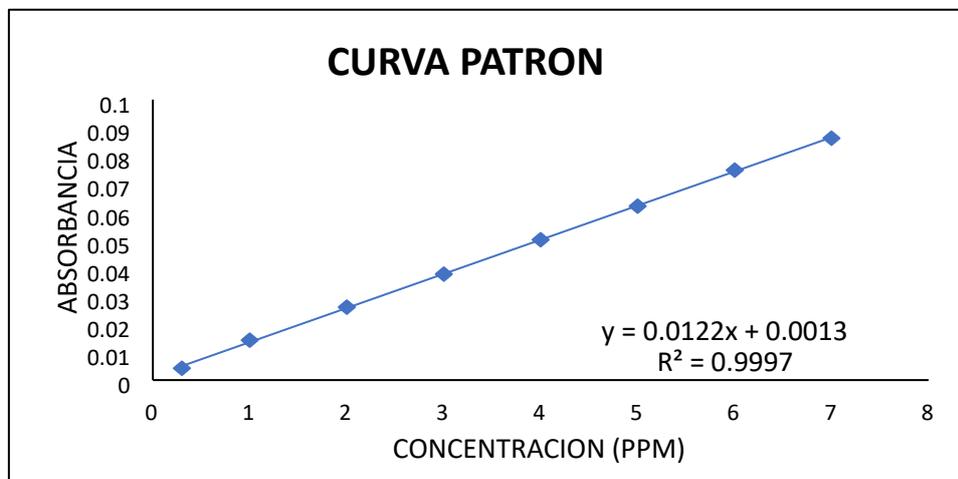
Grupo científico Buck. El instrumento utilizó una longitud de onda  $\lambda = 242,8$  nm y una apertura = 0,7. La Tabla N° 81 muestra los resultados de absorción de las sustancias estándar utilizadas en la prueba. Los datos calculados formaron la curva estándar en la Figura N° 38.

**Tabla 81: Valores de absorbancia patrones de oro**

<b>0,3ppm Au</b>	<b>1ppm Au</b>	<b>2ppm Au</b>	<b>3ppm Au</b>	<b>4ppm Au</b>	<b>5ppm Au</b>	<b>6ppm Au</b>	<b>7ppm Au</b>
<b>0,004</b>	0,014	0,026	0,038	0,051	0,063	0,076	0,086
<b>0,005</b>	0,014	0,026	0,038	0,05	0,061	0,075	0,087
<b>0,004</b>	0,015	0,026	0,037	0,05	0,062	0,074	0,087
<b>0,004</b>	0,014	0,026	0,038	0,05	0,062	0,075	0,086
<b>0,004</b>	0,014	0,026	0,038	0,049	0,062	0,074	0,085
<b>0,0042</b>	<b>0,0142</b>	<b>0,026</b>	<b>0,0378</b>	<b>0,05</b>	<b>0,062</b>	<b>0,0748</b>	<b>0,0862</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 38: Curva patrón para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

La Tabla N° 82, presenta los valores de absorbancia y concentración obtenidos.

**Tabla 82: Valores de absorbancia y concentración muestras**

<b>MUESTRAS</b>	<b>ABS.</b>	<b>ABS.PROM.</b>	<b>CONC.(ppm)</b>
<b>C1</b>	0,018	0,019	1,45
	0,017		
	0,02		
	0,02		
<b>C4 1:1</b>	0,095	0,094	15,197
	0,094		
	0,093		
	0,094		

FUENTE: Elaboración propia

Como se muestra en las Tablas N° 81 y 82, se obtuvieron valores muy similares para las concentraciones de las muestras analizadas. La muestra C4 muestra una gran diferencia debido a la mayor concentración, mientras que la muestra C1 muestra una pequeña diferencia debido a la menor concentración.

Estos resultados permiten el uso de cualquier instrumento de absorción atómica, ya que dan resultados prácticamente idénticos en estas condiciones operativas.

**g) Determinación de la concentración de oro en muestras cianuradas.**

Las muestras de cianuro de botella y de diagnóstico se analizaron utilizando estándares de cianuro.

Los minerales utilizados en este proceso de cianuración fueron previamente sometidos a un proceso de molienda a tamaños de partículas de 100 y 200 mallas. Cianuro de diagnóstico. Inicialmente, las pruebas se realizaron utilizando un instrumento de absorción atómica Perkin Elmer con material mineral de malla 100 y una longitud de onda de  $\lambda = 267,6$  nm. Los resultados de absorción obtenidos según la norma se dan en la Tabla N° 83.

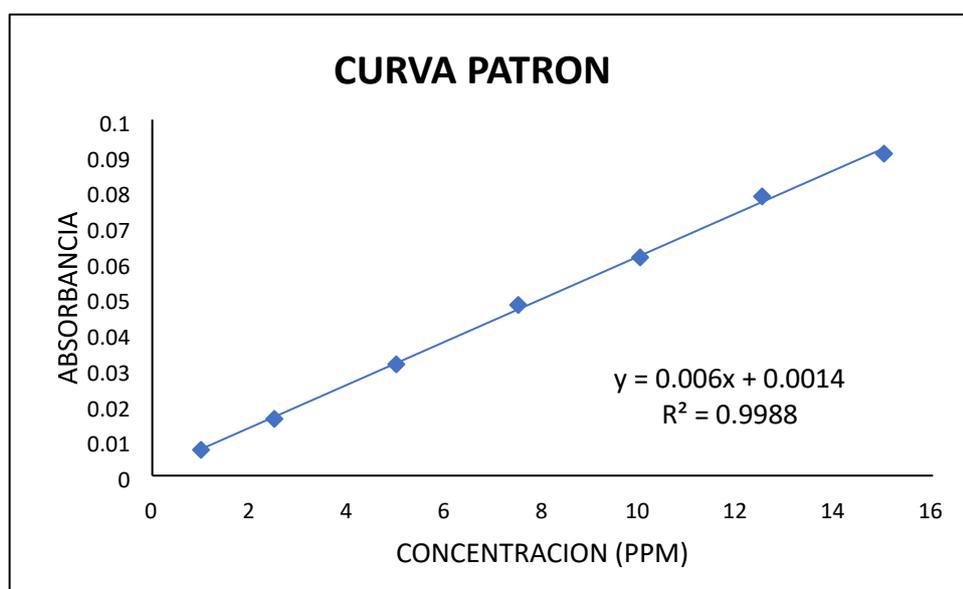
**Tabla 83: Valores de absorbancia patrones de oro**

PATRONES	1 ppm	2,5 ppm	5 ppm	7,5 ppm	10 ppm	12,5 ppm	15 ppm
<b>ABS.</b>	0,007	0,016	0,032	0,049	0,062	0,079	0,091
	0,008	0,016	0,031	0,047	0,062	0,078	0,09
	0,007	0,016	0,031	0,048	0,06	0,079	0,09
	0,007	0,016	0,031	0,048	0,061	0,078	0,091
<b>ABS. PROM.</b>	0,0073	0,016	0,0313	0,048	0,0613	0,0785	0,0905

FUENTE: Elaboración propia

La Figura N° 39, muestra la curva patrón obtenida a partir de los datos de la Tabla N° 85.

**Figura 39: Curva patrón para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

A continuación, en las Tablas N° 84 y 85, se muestran los valores de absorbancia y concentración tanto de las muestras originales como de los duplicados de las muestras analizadas.

**Tabla 84: Valores de absorbancia y concentración de oro**

<b>MUESTRAS</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>				<b>PROM EDIO</b>	<b>CONCENT. (ppm)</b>
<b>C1</b>	4	0,011	0,011	0,012	0,011	<b>0,0113</b>	<b>1,64</b>
	8	0,012	0,011	0,012	0,012	<b>0,0118</b>	<b>1,73</b>
	16	0,013	0,012	0,012	0,012	<b>0,0123</b>	<b>1,81</b>
	24	0,009	0,01	0,011	0,01	<b>0,0100</b>	<b>1,43</b>
<b>C2</b>	4	0,012	0,012	0,013	0,012	<b>0,0123</b>	<b>1,81</b>
	8	0,041	0,042	0,043	0,043	<b>0,0423</b>	<b>6,81</b>
	16	<b>NO HAY MUESTRA</b>					
	24	0,036	0,034	0,035	0,035	<b>0,0350</b>	<b>5,60</b>
<b>C3</b>	4	0,084	0,085	0,085	0,085	<b>0,0848</b>	<b>13,89</b>
	8	0,087	0,087	0,086	0,086	<b>0,0865</b>	<b>14,18</b>
	16	0,085	0,085	0,084	0,084	<b>0,0845</b>	<b>13,85</b>
	24	0,074	0,074	0,073	0,073	<b>0,0735</b>	<b>12,02</b>
<b>C4</b>	4	0,071	0,07	0,07	0,07	<b>0,0703</b>	<b>11,48</b>
	8	0,073	0,072	0,072	0,072	<b>0,0723</b>	<b>11,81</b>
	16	0,076	0,078	0,077	0,077	<b>0,0770</b>	<b>12,60</b>
	24	0,067	0,065	0,066	0,065	<b>0,0658</b>	<b>10,73</b>
<b>C5</b>	4	0,04	0,04	0,04	0,04	<b>0,0400</b>	<b>6,43</b>
	8	0,042	0,042	0,043	0,043	<b>0,0425</b>	<b>6,85</b>
	16	0,045	0,045	0,046	0,046	<b>0,0455</b>	<b>7,35</b>
	24	0,044	0,044	0,045	0,045	<b>0,0445</b>	<b>7,18</b>
	4	<b>NO HAY MUESTRA</b>					
<b>C6</b>	8	0,025	0,025	0,025	0,025	<b>0,0250</b>	<b>3,93</b>
	16	0,024	0,024	0,024	0,024	<b>0,0240</b>	<b>3,77</b>

24	0,026	0,027	0,025	0,026	<b>0,0260</b>	<b>4,10</b>
----	-------	-------	-------	-------	---------------	-------------

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 85: Valores de absorbancia y concentración de oro (Duplicado)**

<b>MUESTRAS</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>				<b>PRO MEDIO</b>	<b>CONCENTRACION (ppm)</b>
<b>C1</b>	4	0,012	0,012	0,013	0,013	<b>0,0125</b>	<b>1,85</b>
	8	<b>NO HAY MUESTRA</b>					
	16	0,016	0,017	0,017	0,016	<b>0,0165</b>	<b>2,52</b>
	24	0,011	0,011	0,009	0,01	<b>0,0103</b>	<b>1,48</b>
<b>C3</b>	4	0,084	0,084	0,083	0,084	<b>0,0838</b>	<b>13,73</b>
	8	0,089	0,088	0,089	0,088	<b>0,0885</b>	<b>14,52</b>
	16	0,086	0,086	0,086	0,086	<b>0,086</b>	<b>14,10</b>
	24	0,085	0,084	0,084	0,084	<b>0,0843</b>	<b>13,81</b>
<b>C4</b>	4	0,065	0,065	0,065	0,065	<b>0,0650</b>	<b>10,60</b>
	8	0,072	0,072	0,072	0,072	<b>0,0720</b>	<b>11,77</b>
	16	0,073	0,074	0,072	0,072	<b>0,0728</b>	<b>11,89</b>
	24	0,065	0,065	0,064	0,064	<b>0,0645</b>	<b>10,52</b>
<b>C5</b>	4	0,054	0,055	0,055	0,055	<b>0,0548</b>	<b>8,89</b>
	8	0,065	0,065	0,065	0,065	<b>0,0650</b>	<b>10,60</b>
	16	0,062	0,064	0,064	0,062	<b>0,0630</b>	<b>10,27</b>
	24	0,044	0,045	0,044	0,044	<b>0,0443</b>	<b>7,14</b>

FUENTE: Elaboración propia

Las Tablas N° 84 y 85 explican que la única muestra que indica una diferencia significativa y puede dar lugar a grandes errores es la muestra C5. Para otros modelos las diferencias son completamente mínimas y están en el mismo rango. Esta prueba también se realizó en mineral cribado con malla 200 y las muestras se analizaron continuamente durante 24 horas. Los resultados se presentan en la Tabla no. 86.

**Tabla 86: Valores de absorbancia y concentración de Au 200 mallas Tyler.**

<b>MUESTRAS</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>			<b>PROMEDIO</b>	<b>CONCENTRACION (ppm)</b>
<b>C3</b>	1½	0,068	0,067	0,067	<b>0,0673</b>	<b>10,99</b>
	3	0,06	0,059	0,059	<b>0,0593</b>	<b>9,66</b>
	4	0,047	0,048	0,047	<b>0,0473</b>	<b>7,66</b>
	5	0,051	0,05	0,051	<b>0,0507</b>	<b>8,21</b>
	6	0,046	0,046	0,045	<b>0,0457</b>	<b>7,38</b>
	8	0,049	0,05	0,048	<b>0,0490</b>	<b>7,93</b>
	10	0,063	0,063	0,062	<b>0,0627</b>	<b>10,21</b>
	12	0,047	0,047	0,047	<b>0,0470</b>	<b>7,60</b>
	14	0,062	0,062	0,063	<b>0,0623</b>	<b>10,16</b>
	16	0,044	0,044	0,043	<b>0,0437</b>	<b>7,04</b>
	20	0,039	0,038	0,038	<b>0,0383</b>	<b>6,16</b>
	24	0,039	0,039	0,038	<b>0,0387</b>	<b>6,21</b>
<b>C4</b>	1½	0,03	0,03	0,03	<b>0,0300</b>	<b>4,77</b>
	4	0,049	0,048	0,047	<b>0,0480</b>	<b>7,77</b>
	5	0,063	0,062	0,062	<b>0,0623</b>	<b>10,16</b>
	6	0,066	0,066	0,067	<b>0,0663</b>	<b>10,82</b>
	8	0,064	0,065	0,066	<b>0,0650</b>	<b>10,60</b>
	10	0,078	0,077	0,079	<b>0,0780</b>	<b>12,77</b>
	12	0,067	0,067	0,067	<b>0,0670</b>	<b>10,93</b>
	16	0,064	0,065	0,066	<b>0,0650</b>	<b>10,60</b>
	20	0,066	0,067	0,065	<b>0,0660</b>	<b>10,77</b>
	24	0,044	0,044	0,044	<b>0,044</b>	<b>7,10</b>
<b>C5</b>	1½	0,045	0,045	0,047	<b>0,0457</b>	<b>7,38</b>
	3	0,04	0,038	0,039	<b>0,039</b>	<b>6,27</b>
	4	0,055	0,056	0,058	<b>0,0563</b>	<b>9,16</b>
	6	0,042	0,042	0,043	<b>0,0423</b>	<b>6,82</b>
	8	0,055	0,055	0,055	<b>0,0550</b>	<b>8,93</b>
	10	0,052	0,052	0,052	<b>0,0520</b>	<b>8,43</b>
	12	0,04	0,041	0,041	<b>0,0407</b>	<b>6,54</b>
	16	0,042	0,042	0,042	<b>0,0420</b>	<b>6,77</b>
	20	0,045	0,046	0,046	<b>0,0457</b>	<b>7,38</b>
	24	0,037	0,036	0,035	<b>0,0360</b>	<b>5,77</b>

FUENTE: Elaboración propia

La Tabla N° 86 muestra claramente que los resultados obtenidos con minerales finos (malla 200) son algo diferentes de los obtenidos con minerales gruesos (malla 100). También podemos ver que la

lixiviación de minerales ocurre en la primera hora del proceso y luego de un tiempo, el oro lixiviado regresa a los minerales.

La razón por la que el oro vuelve a fundirse puede deberse a la presencia de arcilla. La arcilla tiene un efecto negativo en el proceso de cianuración al bloquear las partículas de oro e interferir con el proceso. En algunos casos, algunas arcillas pueden hacer que el oro disuelto precipite, reduciendo la velocidad de disolución.

Cianuro en botella. Esta prueba se realizó utilizando 200 g de minerales en bruto. Para algunas muestras, las pruebas se realizaron por duplicado utilizando la misma muestra de diagnóstico de cianuro y las mismas condiciones del instrumento. Los resultados se presentan en las Tablas N° 87 y 88.

**Tabla 87: Valores de absorbancia y concentración de oro**

<b>MUES TRAS</b>	<b>TIEMP O (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>			<b>PROME DIO</b>	<b>CONCENT.(p pm)</b>
<b>C3</b>	2	0,057	0,057	0,056	<b>0,0567</b>	<b>9,21</b>
	4	0,074	0,073	0,073	<b>0,0733</b>	<b>11,99</b>
	8	0,087	0,086	0,087	<b>0,0867</b>	<b>14,21</b>
	14	0,07	0,07	0,071	<b>0,0703</b>	<b>11,49</b>
	36	0,108	0,108	0,107	<b>0,1077</b>	<b>17,71</b>
	84	0,082	0,081	0,081	<b>0,0813</b>	<b>13,32</b>
	96	0,055	0,056	0,056	<b>0,0557</b>	<b>9,04</b>
<b>C4</b>	2	0,065	0,065	0,064	<b>0,06</b>	<b>10,54</b>
	4	0,076	0,078	0,078	<b>0,08</b>	<b>12,66</b>
	8	0,076	0,076	0,076	<b>0,08</b>	<b>12,43</b>
	14	0,085	0,085	0,083	<b>0,08</b>	<b>13,82</b>
	19	0,099	0,098	0,1	<b>0,10</b>	<b>16,27</b>
	36	0,114	0,112	0,11	<b>0,11</b>	<b>18,43</b>
	60	0,083	0,082	0,081	<b>0,08</b>	<b>13,43</b>
	84	0,111	0,109	0,108	<b>0,11</b>	<b>17,99</b>
96	0,068	0,069	0,069	<b>0,07</b>	<b>11,21</b>	
<b>C5</b>	2	0,019	0,019	0,019	<b>0,02</b>	<b>2,93</b>
	4	0,037	0,038	0,032	<b>0,04</b>	<b>5,71</b>
	8	0,04	0,04	0,04	<b>0,04</b>	<b>6,43</b>
	14	0,034	0,034	0,034	<b>0,03</b>	<b>5,43</b>

20	0,032	0,03	0,03	<b>0,03</b>	<b>4,88</b>
37	0,031	0,031	0,031	<b>0,03</b>	<b>4,93</b>
61	0,03	0,03	0,03	<b>0,03</b>	<b>4,77</b>
84	0,032	0,03	0,031	<b>0,03</b>	<b>4,93</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 88: Valores de absorbancia y concentración de oro (Duplicado)**

MUES TRAS	TIEM PO (h)	ABSORBANCIA			PROM EDIO	CONCEN T.
<b>C3</b>	2	0,06	0,06	0,061	<b>0,0603</b>	<b>9,82</b>
	4	0,065	0,065	0,065	<b>0,0650</b>	<b>10,60</b>
	8	0,066	0,065	0,066	<b>0,0657</b>	<b>10,71</b>
	19	0,06	0,059	0,06	<b>0,0597</b>	<b>9,71</b>
	36	0,058	0,058	0,057	<b>0,0577</b>	<b>9,38</b>
	60	0,057	0,058	0,058	<b>0,0577</b>	<b>9,38</b>
	84	0,054	0,054	0,055	<b>0,0543</b>	<b>8,82</b>
<b>C4</b>	2	0,051	0,051	0,05	<b>0,0507</b>	<b>8,21</b>
	4	0,041	0,042	0,04	<b>0,0410</b>	<b>6,60</b>
	8	0,051	0,051	0,05	<b>0,0507</b>	<b>8,21</b>
	14	0,056	0,054	0,054	<b>0,0547</b>	<b>8,88</b>
	19	0,057	0,057	0,058	<b>0,0573</b>	<b>9,32</b>
	36	0,057	0,058	0,057	<b>0,0573</b>	<b>9,32</b>
	60	0,061	0,061	0,06	<b>0,0607</b>	<b>9,88</b>
	84	0,063	0,064	0,064	<b>0,0637</b>	<b>10,38</b>
	96	0,065	0,066	0,066	<b>0,0657</b>	<b>10,71</b>

FUENTE: Elaboración propia

En los valores obtenidos para la concentración de oro obtenidos durante las pruebas de cianuración en botellas se puede observar un aumento de los valores con el tiempo hasta aproximadamente 36 horas. En este punto se puede observar cómo los valores de concentración empiezan a disminuir.

### **Porcentaje de disolución de oro a diferentes mallas**

El proceso de cianuración se estudió en diferentes mallas (100 y 200 Tyler) para determinar qué tamaño de partícula daba como resultado la mejor disolución del oro.

Las pruebas de cianuración se realizaron por duplicado para cada tipo de mineral de proceso. Los datos obtenidos se presentan en las Tablas N° 89 y 90 que corresponden a los valores promedio de los resultados obtenidos como resultado de la cianuración en las mismas condiciones.

**Tabla 89: Porcentaje de disolución de oro a D80 100 Tyler**

TIEMPO (h)	PORCENTAJE DE DISOLUCION DE ORO					
	Tipos tecnológicos de mena					
	I	II	III	IV	V	VI
0	0	0	0	0	0	0
4	68,15	52,24	76,88	65,31	62,60	82,88
8	70,12	61,25	86,49	69,72	73,67	88,69
16	64,26	67,96	88,41	74,50	77,13	90,21
24	65,81	71,76	93,53	74,91	80,56	91,67

FUENTE: Elaboración propia

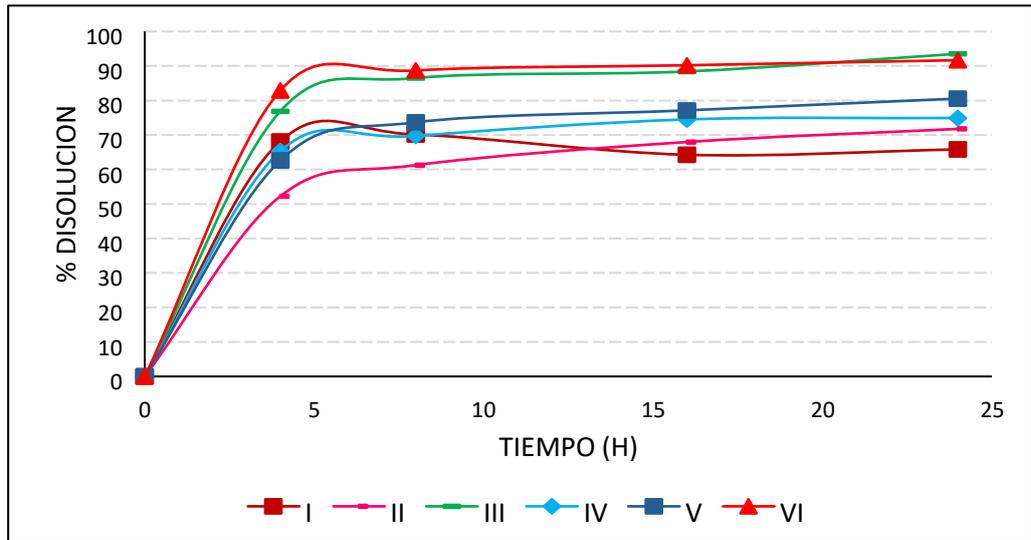
**Tabla 90: Porcentaje de disolución de oro a D80 200 Tyler**

TIEMPO (h)	PORCENTAJE DE DISOLUCION DE ORO					
	Tipos tecnológicos de mena					
	I	II	III	IV	V	VI
0	0	0	0	0	0	0
1,5	62,40	46,76	77,13	39,09	60,00	48,00
4	76,20	72,95	86,61	73,24	81,08	77,55
8	86,22	80,14	92,86	79,15	93,82	91,43
12	85,50	81,85	92,75	77,55	94,20	90,00
16	84,36	82,45	93,25	75,09	96,32	88,95
24	87,26	95,77	92,54	78,99	96,46	96,36

FUENTE: Elaboración propia

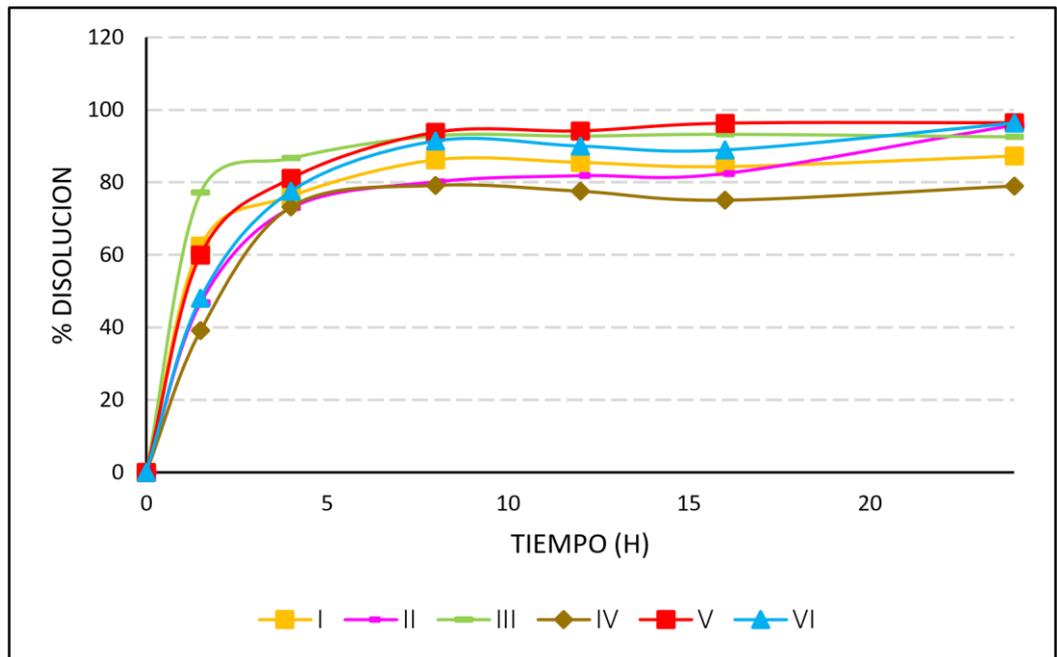
Las Figuras N° 40 y 41 nos muestran más claramente el comportamiento de las diferentes menas a diferentes granulometrías.

**Figura 40: Porcentaje de disolución de oro a D80 100 Tyler**



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 41: Porcentaje de disolución de oro a D80 200 Tyler**



FUENTE: Elaboración propia

Como se puede observar en las Tablas N° 89 y 90, Figuras N° 40 y 41, al reducir el tamaño de los minerales, la velocidad de disolución del oro aumenta en la primera hora de cianuración, principalmente para todo tipo de tecnología. Muy distinto del mineral Tipo IV. La

comparación de la disolución del oro después de 24 horas de cianuración continua, muestra que se logran tasas de disolución superiores al 90% para D80 200 Tyler grados II, III, V y VI; La tasa de disolución fue algo menor para los minerales I y IV; incidiendo en la muestra IV, mostrando tasa de disolución más baja con 78,99%.

Para mediciones de tamaño de partículas Tyler D80 100, los minerales I, II y V tuvieron tasas de disolución más bajas. Las tasas de disolución de los minerales III, IV y VI fueron muy similares a las obtenidas mediante granulometría Tyler D80 200. Además, se puede observar que la disolución del oro es muy rápida en las primeras 4 horas del proceso de cianuración, luego la velocidad de disolución comienza a disminuir y después de 8 horas se alcanza las más altas velocidades de disolución. La solubilidad permanece constante y en algunos casos disminuye ligeramente.

Para el tamaño de malla D80 200, se observa que el porcentaje de solución de oro para los minerales oxidados I, III y V es mayor que el obtenido para los minerales sulfurados II, IV y VI. Esta diferencia en las velocidades de disolución se debe a la ausencia de oro en los minerales oxidados, que pueden proporcionar una mayor superficie de reacción, mientras que, en los minerales sulfurados parte del oro se une a los sulfuros, lo que aumenta el tiempo de reacción entre los minerales.

#### **4.2.12. Análisis de muestras del proceso de adsorción con carbón activado**

Después de las pruebas de cianuración, se realizó una prueba de adsorción con carbón activado para separar el oro y la plata de la solución de cianuro. Las

pruebas realizadas tuvieron como objetivo determinar el tiempo de contacto entre el carbón activado y la solución cianurada, la cantidad exacta de carbón activado y el tipo de carbón que de los mejores resultados de adsorción. El método utilizado fue el carbón celulósico (CIP) utilizando dos tipos de carbón con las siguientes propiedades:

Carbón I. Carbón japonés de partículas finas (-16/40) y alto ratio de carga.  
 Carbono II. Carbón norteamericano de tamaño de partícula medio (-6/12) y velocidad de carga. Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente porque el oro puede desorberse del carbono a temperaturas más altas. Además, el proceso de lixiviación se realizó con pH alcalino y concentración de cianuro.

A continuación, se muestran los resultados de las distintas pruebas.

**a) Determinación de la concentración de Au y Ag empleando igual concentración de carbón tipo I y diferentes muestras**

En esta prueba se utilizó una relación peso de carbono/volumen de solución de 1,5. Se utilizó un dispositivo de absorción atómica Perkin Elmer a una longitud de onda  $\ell = 267,6$  nm y una apertura = 0,7.

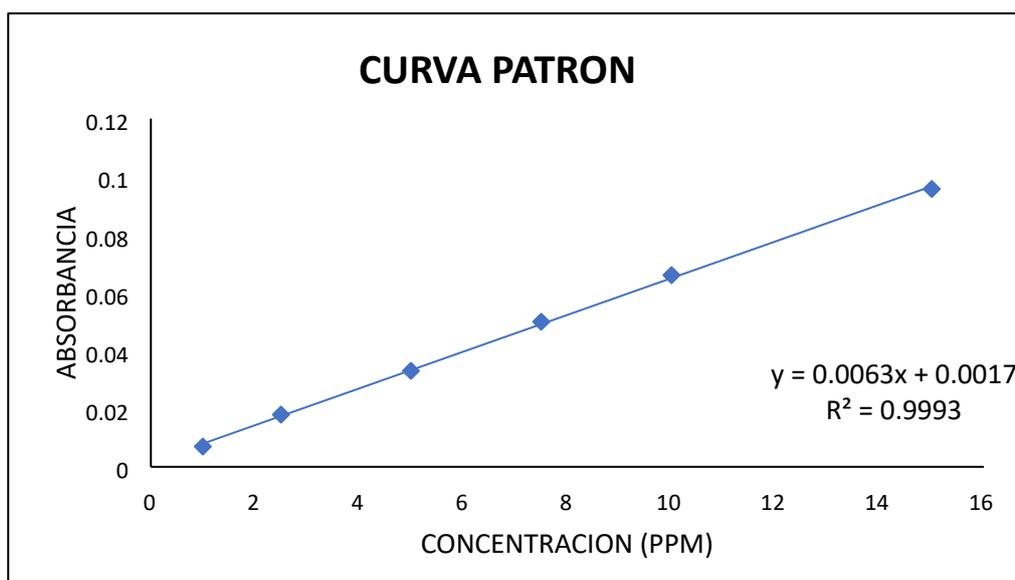
Identificación de oro. Para determinar el oro se utilizan estándares que van desde 1 ppm hasta 15 ppm. Los resultados de absorción obtenidos se muestran en la Tabla N° 91 y la curva estándar correspondiente se muestra en la Figura N° 42.

**Tabla 91: Valores de absorbancia patrones de oro**

	<b>1 ppm Au</b>	<b>2,5 ppm Au</b>	<b>5 ppm Au</b>	<b>7,5 ppm Au</b>	<b>10 ppm Au</b>	<b>15 ppm Au</b>
<b>PATRONES</b>	0,007	0,018	0,033	0,05	0,066	0,095
	0,007	0,018	0,033	0,05	0,066	0,096
<b>ABS. PROM.</b>	0,0070	0,018	0,0330	0,05	0,0660	0,0957

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 42: Curva patrón para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

Las muestras se analizaron por duplicado y los resultados se aprecian en las Tablas N° 92 y 93.

**Tabla 92: Valores de absorbancia y concentración de oro**

MUES TRAS	TIEM PO (h)	ABSORBANCIA			PRO MEDI O	CONCEN T.(ppm)
<b>C7</b>	0	0,065	0,065	0,065	<b>0,0650</b>	<b>10,05</b>
	½	0,023	0,023	0,023	<b>0,0230</b>	<b>3,38</b>
	1	0,018	0,018	0,018	<b>0,0180</b>	<b>2,59</b>
	1½	0,013	0,014	0,013	<b>0,0133</b>	<b>1,85</b>
	2	0,01	0,01	0,01	<b>0,0100</b>	<b>1,32</b>
	3	0,007	0,006	0,007	<b>0,0067</b>	<b>0,79</b>
	4	0,006	0,006	0,006	<b>0,0060</b>	<b>0,68</b>
<b>C8</b>	0	0,076	0,075	0,076	<b>0,0757</b>	<b>11,74</b>
	½	0,024	0,023	0,024	<b>0,0237</b>	<b>3,49</b>
	1	0,016	0,016	0,016	<b>0,0160</b>	<b>2,27</b>
	1½	0,012	0,012	0,012	<b>0,0120</b>	<b>1,63</b>
	2	0,01	0,01	0,01	<b>0,0100</b>	<b>1,32</b>
	3	0,007	0,008	0,007	<b>0,0073</b>	<b>0,89</b>
	4	0,006	0,006	0,006	<b>0,0060</b>	<b>0,68</b>
<b>C9</b>	0	0,067	0,067	0,067	<b>0,0670</b>	<b>10,37</b>
	½	0,019	0,018	0,019	<b>0,0187</b>	<b>2,69</b>
	1	0,014	0,014	0,014	<b>0,0140</b>	<b>1,95</b>
	2	0,01	0,01	0,01	<b>0,0100</b>	<b>1,32</b>

3	0,007	0,007	0,007	<b>0,0070</b>	<b>0,84</b>
4	0,006	0,006	0,006	<b>0,0060</b>	<b>0,68</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 93: Valores de absorbancia y concentración de oro (Duplicado)**

MUESTRAS	TIEMPO (h)	ABSORBANCIA			PROMEDIO	CONCENTRACION (ppm)
<b>C7</b>	0	0,061	0,061	0,061	<b>0,0610</b>	<b>9,41</b>
	½	0,025	0,025	0,025	<b>0,0250</b>	<b>3,70</b>
	1	0,018	0,018	0,018	<b>0,0180</b>	<b>2,59</b>
	1½	0,013	0,013	0,013	<b>0,0130</b>	<b>1,79</b>
	2	0,011	0,011	0,011	<b>0,0110</b>	<b>1,48</b>
	3	0,007	0,007	0,007	<b>0,0070</b>	<b>0,84</b>
	4	0,007	0,006	0,006	<b>0,0063</b>	<b>0,74</b>
<b>C8</b>	0	0,077	0,077	0,078	<b>0,0773</b>	<b>12,01</b>
	½	0,024	0,024	0,024	<b>0,0240</b>	<b>3,54</b>
	1	0,018	0,017	0,018	<b>0,0177</b>	<b>2,53</b>
	1½	0,013	0,013	0,013	<b>0,0130</b>	<b>1,79</b>
	2	0,01	0,01	0,01	<b>0,0100</b>	<b>1,32</b>
	3	0,008	0,008	0,008	<b>0,0080</b>	<b>1,00</b>
	4	0,007	0,006	0,007	<b>0,0067</b>	<b>0,79</b>
<b>C9</b>	0	0,072	0,072	0,072	<b>0,0720</b>	<b>11,16</b>
	½	0,024	0,024	0,024	<b>0,0240</b>	<b>3,54</b>
	1	0,016	0,016	0,016	<b>0,0160</b>	<b>2,27</b>
	1½	0,012	0,012	0,012	<b>0,0120</b>	<b>1,63</b>
	2	0,01	0,01	0,01	<b>0,0100</b>	<b>1,32</b>
	3	0,007	0,007	0,007	<b>0,0070</b>	<b>0,84</b>
	4	0,006	0,006	0,006	<b>0,0060</b>	<b>0,68</b>

FUENTE: Elaboración propia

Las Tablas N° 92 y 93 muestran cómo la concentración de oro de la solución de cianuro disminuye a medida que aumenta el tiempo de contacto entre la solución de cianuro y el carbón activado. Se puede observar que después de 4 horas la concentración de la solución alcanza un valor inferior a 1 ppm.

**Cristales de plata.** Los resultados obtenidos para la adsorción de plata usando carbón activado se muestran en la Tabla N° 94. Se utilizó un dispositivo de absorción atómica Perkin Elmer con longitud de onda  $\lambda =$

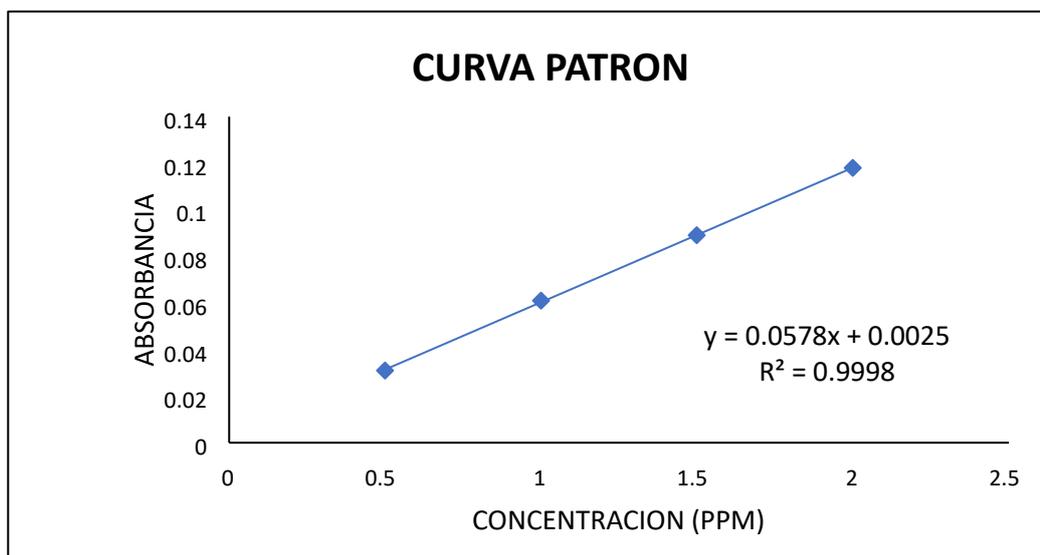
328,1 nm y apertura = 0,7. La curva estándar correspondiente se muestra en la Figura N° 43.

**Tabla 94: Valores de absorbancia patrones de plata**

<b>PATRONES</b>	<b>0,5ppm Ag</b>	<b>1 ppm Ag</b>	<b>1,5 ppm Ag</b>	<b>2 ppm Ag</b>
<b>ABSORBANCIA</b>	0.031	0.061	0.089	0.118
	0.031	0.061	0.089	0.118
	0.031	0.061	0.089	0.118
<b>ABS. PROMEDIO</b>	0.0310	0.061	0.0890	0.118

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 43: Curva patrón para la determinación de plata**



FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 95: Valores de absorbancia y concentración de plata**

<b>MUESTRAS</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>			<b>PROMEDIO</b>	<b>CONCENT. (ppm)</b>
<b>C7</b>	0	0,246	0,246	0,246	<b>0,2460</b>	<b>4,04</b>
	½	0,126	0,128	0,127	<b>0,1270</b>	<b>2,15</b>
	1	0,108	0,109	0,108	<b>0,1083</b>	<b>1,83</b>
	1½	0,117	0,117	0,117	<b>0,1170</b>	<b>1,98</b>
	2	0,09	0,09	0,09	<b>0,0900</b>	<b>1,51</b>
	3	0,091	0,091	0,091	<b>0,0910</b>	<b>1,53</b>
	4	0,079	0,079	0,079	<b>0,0790</b>	<b>1,32</b>
<b>C8</b>	0	1,251	1,251	1,251	<b>1,2510</b>	<b>21,60</b>
	½	0,491	0,49	0,49	<b>0,4903</b>	<b>8,44</b>
	1	0,419	0,419	0,419	<b>0,4190</b>	<b>7,21</b>
	1½	0,377	0,377	0,377	<b>0,3770</b>	<b>6,48</b>
	2	0,368	0,368	0,369	<b>0,3683</b>	<b>6,33</b>
	3	0,363	0,364	0,363	<b>0,3633</b>	<b>6,24</b>
	4	0,372	0,372	0,372	<b>0,3720</b>	<b>6,39</b>
<b>C9</b>	0	0,671	0,671	0,671	<b>0,6710</b>	<b>11,57</b>
	½	0,25	0,251	0,248	<b>0,2497</b>	<b>4,28</b>
	1	0,232	0,233	0,232	<b>0,2323</b>	<b>3,98</b>
	1½	0,22	0,22	0,22	<b>0,2200</b>	<b>3,76</b>
	2	0,196	0,195	0,195	<b>0,1953</b>	<b>3,34</b>
	3	0,2	0,201	0,2	<b>0,2003</b>	<b>3,42</b>
	4	0,215	0,215	0,215	<b>0,2150</b>	<b>3,68</b>

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 96: Valores de absorbancia y concentración de plata (Duplicado)**

<b>MUESTRAS</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>			<b>PROMEDIO</b>	<b>CONCENT. (ppm)</b>
<b>C7</b>	0	0,029	0,029	0,029	<b>0,0290</b>	<b>4,13</b>
	½	0,025	0,025	0,025	<b>0,0250</b>	<b>3,59</b>
	1	0,018	0,018	0,018	<b>0,0180</b>	<b>2,48</b>
	1½	0,013	0,013	0,013	<b>0,0130</b>	<b>1,68</b>
	2	0,011	0,011	0,011	<b>0,0110</b>	<b>1,37</b>
	3	0,007	0,007	0,007	<b>0,0070</b>	<b>0,73</b>
	4	0,007	0,006	0,006	<b>0,0063</b>	<b>0,62</b>
<b>C8</b>	0	0,143	0,143	0,143	<b>0,1430</b>	<b>22,32</b>
	½	0,024	0,024	0,024	<b>0,0240</b>	<b>3,43</b>
	1	0,018	0,017	0,018	<b>0,0177</b>	<b>2,42</b>
	1½	0,013	0,013	0,013	<b>0,0130</b>	<b>1,68</b>
	2	0,01	0,01	0,01	<b>0,0100</b>	<b>1,21</b>

	3	0,008	0,008	0,008	<b>0,0080</b>	<b>0,89</b>
	4	0,007	0,006	0,007	<b>0,0067</b>	<b>0,68</b>
<b>C9</b>	0	0,084	0,084	0,084	<b>0,0840</b>	<b>12,95</b>
	½	0,024	0,024	0,024	<b>0,0240</b>	<b>3,43</b>
	1	0,016	0,016	0,016	<b>0,0160</b>	<b>2,16</b>
	1½	0,012	0,012	0,012	<b>0,0120</b>	<b>1,52</b>
	2	0,01	0,01	0,01	<b>0,0100</b>	<b>1,21</b>
	3	0,007	0,007	0,007	<b>0,0070</b>	<b>0,73</b>
	4	0,006	0,006	0,006	<b>0,0060</b>	<b>0,57</b>

FUENTE: Elaboración propia

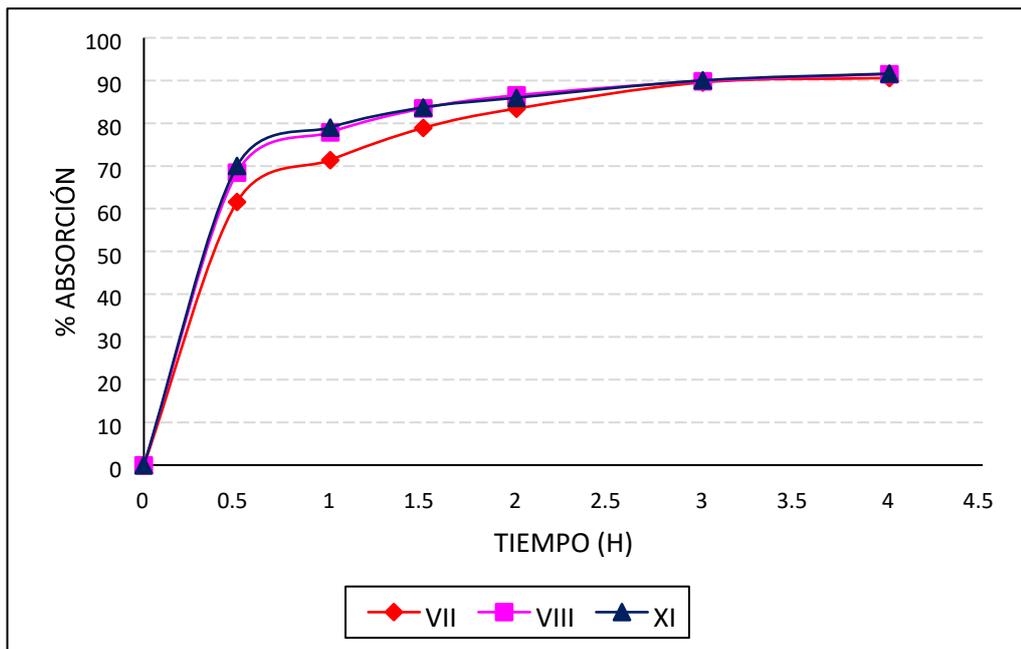
Las Tablas N° 95 y 96 muestran que, al igual que el oro, la adsorción de plata sobre carbón activado es rápida y eficiente durante el primer tiempo de contacto entre el carbón y la solución cargada, pero la adsorción posterior es lenta. Podemos ver que más del 50% de la plata en la solución de cianuro se adsorbe en la superficie del carbón activado en 4 horas. Además, se puede observar que, en experimentos repetidos al mismo tiempo de absorción, la cantidad de plata adsorbida es mayor que en el primer experimento. Es importante señalar que todas las muestras analizadas para detectar plata se diluyeron 1:10 porque el rango estándar era tan bajo, de 0,5 a 2,0 ppm, que esta dilución era necesaria. La Tabla N° 97 a continuación muestra las tasas de adsorción de oro y plata en carbón activado tipo I para diferentes tipos de compost.

**Tabla 97: Porcentaje de absorción de oro y plata sobre igual peso de carbón activado**

TIEMPO (h)	PORCENTAJE DE ADSORCION - CARBON I					
	COMPOST VII		COMPOST VIII		COMPOST IX	
	Oro	Plata	Oro	Plata	Oro	Plata
0	0	0	0	0	0	0
½	61,63	44,92	68,48	57,93	70,02	29,83
1	71,39	52,67	77,88	63,68	79,02	59,93
1 ½	78,92	54,77	83,51	63,99	83,72	64,26
2	83,44	61,54	86,55	65,31	85,97	63,83
3	89,58	63,93	89,86	65,69	90,04	67,46
4	90,59	62,7	91,51	66,08	91,62	65,49

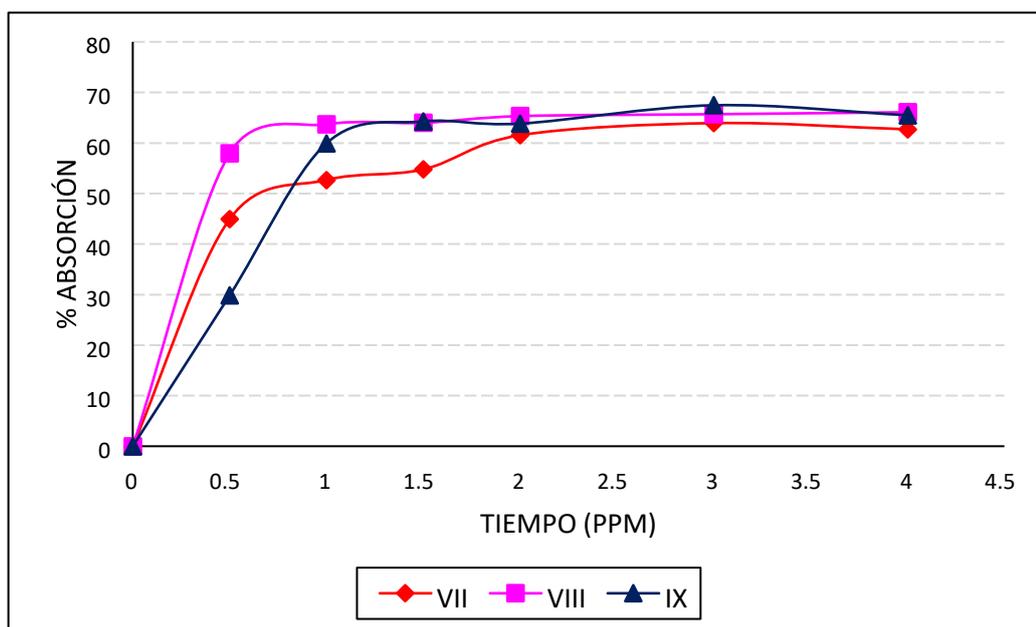
FUENTE: Elaboración propia

**Figura 44: Porcentaje de adsorción de oro sobre igual peso de carbón activado Tipo I**



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 45: Porcentaje de adsorción de plata sobre igual peso de carbón activado Tipo I**



FUENTE: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura N° 44 y la Tabla N° 97, la tasa de adsorción de oro en carbón activado tipo I es superior al 90% para todas las muestras analizadas; además, el tiempo de contacto entre el carbón y la solución es relativamente corto es decir de 4 horas. La razón por la cual las tasas de adsorción obtenidas en esta prueba se lograron en tan poco tiempo puede deberse al bajo contenido de oro de la solución de cianuro en comparación con el contenido de carbón activado utilizado. En la Figura N° 45 se muestra que la tasa de adsorción de plata fue inferior al 70%. Esto puede deberse a que no había suficiente carbón en la solución para adsorber la mayor cantidad de plata.

**b) Determinación de la concentración de Au, Ag y Cu empleando una misma solución y diferente peso de carbón activado tipo I**

Estas pruebas se realizaron utilizando el Complejo IX porque combinan minerales de las tres minas investigadas. En estas pruebas se utilizaron

diferentes proporciones de carbón activado. Inicialmente se utilizaron concentraciones de soluciones impregnadas de 2 g/l, 5 g/l y 10 g/l. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Prueba 1. Se midieron las concentraciones de oro, plata y cobre adsorbidos sobre carbón activado en solución de cianuro.

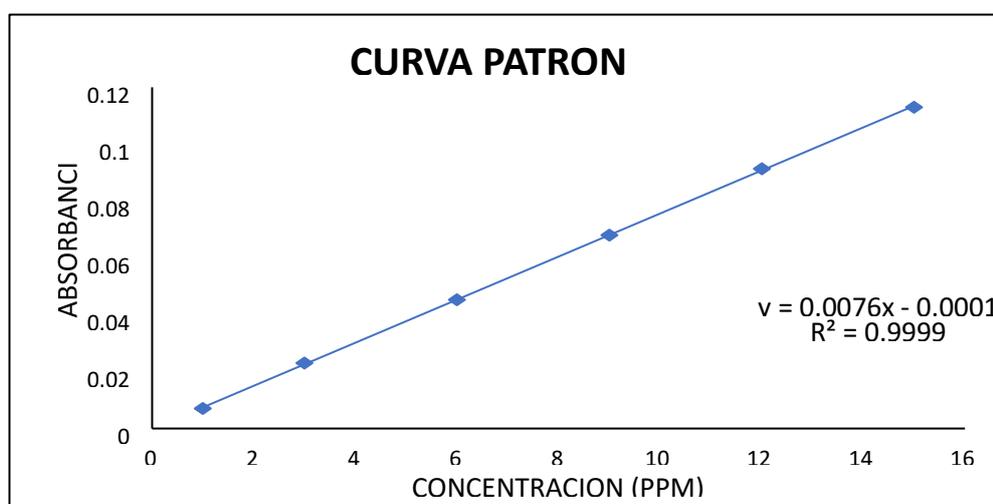
Identificación de oro. La concentración de oro restante en la solución de cianuro a lo largo del tiempo se calculó utilizando un espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer a una longitud de onda de  $\lambda = 267,6$  nm. Los resultados de absorbancia para los estándares se muestran en la Tabla N° 98 y las curvas estándar correspondientes se muestran en la Figura N° 46.

**Tabla 98: Valores de absorbancia patrones de oro**

<b>PATRONES</b>	<b>1 ppm Au</b>	<b>3 ppm Au</b>	<b>6 ppm Au</b>	<b>9 ppm Au</b>	<b>12 ppm Au</b>	<b>15 ppm Au</b>
<b>ABSORBANCIA</b>	0.007	0.023	0.046	0.068	0.092	0.113
	0.007	0.023	0.045	0.068	0.091	0.113
	0.007	0.023	0.045	0.068	0.091	0.113
<b>ABS. PROMEDIO</b>	0.0070	0.023	0.0453	0.068	0.0913	0.1130

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 46: Curva patrón para la determinación de oro**



FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 99: Valores de absorbancia y concentración de oro**

<b>MUEST</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>ABSORBANCIA</b>			<b>PROME</b>	<b>CONCENT.</b>
<b>RAS</b>	<b>(h)</b>				<b>DIO</b>	<b>(ppm)</b>
<b>A</b>	¼	0,041	0,041	0,041	<b>0,0410</b>	<b>5,41</b>
	½	0,031	0,031	0,031	<b>0,0310</b>	<b>4,09</b>
	1	0,017	0,017	0,017	<b>0,0170</b>	<b>2,25</b>
	1½	0,012	0,012	0,012	<b>0,0120</b>	<b>1,59</b>
	2	0,007	0,007	0,007	<b>0,0070</b>	<b>0,93</b>
	3	0,005	0,005	0,005	<b>0,0050</b>	<b>0,67</b>
	4	0,004	0,004	0,004	<b>0,0040</b>	<b>0,54</b>
	6	0,003	0,004	0,004	<b>0,0037</b>	<b>0,50</b>
	8	0,003	0,003	0,003	<b>0,0030</b>	<b>0,41</b>
<b>B</b>	¼	0,081	0,082	0,081	<b>0,0813</b>	<b>10,71</b>
	½	0,014	0,014	0,014	<b>0,0140</b>	<b>1,86</b>
	1	0,004	0,004	0,004	<b>0,0040</b>	<b>0,54</b>
	1½	0,002	0,002	0,002	<b>0,0020</b>	<b>0,28</b>
	2	0,001	0,001	0,001	<b>0,0010</b>	<b>0,14</b>
	3	0,003	0,002	0,002	<b>0,0023</b>	<b>0,32</b>
	4	0	0	0	<b>0,0000</b>	<b>0,01</b>
	6	0,003	0,002	0,002	<b>0,0023</b>	<b>0,32</b>
	8	0	0	0	<b>0,0000</b>	<b>0,01</b>
<b>C</b>	¼	0,03	0,031	0,03	<b>0,0303</b>	<b>4,00</b>
	½	0,004	0,004	0,004	<b>0,0040</b>	<b>0,54</b>
	1	0,003	0,002	0,002	<b>0,0023</b>	<b>0,32</b>
	1½	0,002	0,002	0,002	<b>0,0020</b>	<b>0,28</b>
	2	0,001	0,002	0,002	<b>0,0017</b>	<b>0,23</b>
	3	0,001	0,001	0,002	<b>0,0013</b>	<b>0,19</b>
	4	0	0	0	<b>0,0000</b>	<b>0,01</b>
	6	0	0	0	<b>0,0000</b>	<b>0,00</b>
	8	0	0	0	<b>0,0000</b>	<b>0,00</b>

FUENTE: Elaboración propia

La Tabla N° 99 corresponde a los valores calculados de absorbancia y concentración de oro, y se puede observar que, aunque el tiempo de exposición entre el carbón activado y la solución de cianuro fue de 8 horas, todo el oro disuelto se eliminó después de 4 horas. En las pruebas B y C adsorbidas con carbón activado, la proporción adsorbida es relativamente alta por lo tanto lo que queda en solución es muy pequeña.

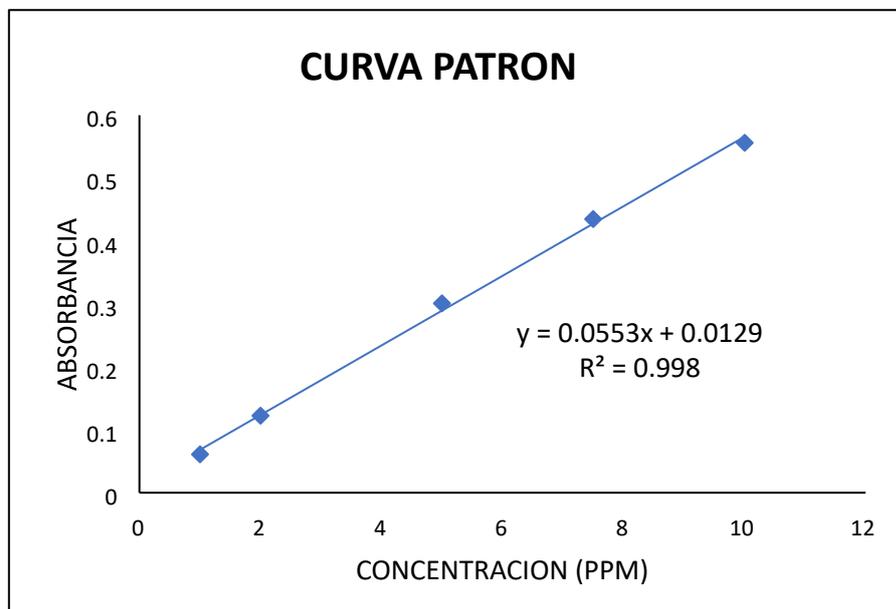
Cristales de plata. La concentración de plata disuelta en los contaminantes durante el proceso de adsorción se midió utilizando un dispositivo de absorción atómica Perkin Elmer a una longitud de onda de  $\lambda = 328,1$  nm. Los datos obtenidos para la absorbancia estándar se muestran en la Tabla N° 100, y la curva estándar construida a partir de esos datos se muestra en la Figura N° 47.

**Tabla 100: Valores de absorbancia patrones de plata**

<b>PATRONES</b>	<b>1ppm Ag</b>	<b>2ppm Ag</b>	<b>5 ppm Ag</b>	<b>7,5 ppm Ag</b>	<b>10 ppm Ag</b>
<b>ABS.</b>	0.061	0.122	0.301	0.433	0.557
	0.061	0.122	0.301	0.434	0.559
	0.061	0.122	0.301	0.437	0.551
<b>ABS. PROM.</b>	0.0610	0.122	0.3010	0.4347	0.5557

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 47: Curva patrón para la determinación de plata**



FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 101: Valores de absorbancia y concentración de plata**

<b>MUESTRAS</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>ABSORBANCIA</b>		<b>PROMEDIO</b>	<b>CONCENT. (ppm)</b>
<b>A</b>	¼	0,408	0,408	0,408	<b>7,14</b>
	½	0,336	0,336	0,336	<b>5,84</b>
	1	0,267	0,266	0,2665	<b>4,59</b>
	1½	0,227	0,225	0,226	<b>3,85</b>
	2	0,203	0,203	0,203	<b>3,44</b>
	3	0,186	0,186	0,186	<b>3,13</b>
	4	0,19	0,191	0,1905	<b>3,21</b>
	6	0,184	0,184	0,184	<b>3,09</b>
	8	0,183	0,183	0,183	<b>3,08</b>
<b>B</b>	¼	0,573	0,573	0,573	<b>10,13</b>
	½	0,177	0,178	0,1775	<b>2,98</b>
	1	0,107	0,107	0,107	<b>1,70</b>
	1½	0,081	0,081	0,081	<b>1,23</b>
	2	0,068	0,068	0,068	<b>1,00</b>
	3	0,064	0,063	0,0635	<b>0,92</b>
	4	0,065	0,065	0,065	<b>0,94</b>
	6	0,062	0,061	0,0615	<b>0,88</b>
	8	0,061	0,062	0,0615	<b>0,88</b>
<b>C</b>	¼	0,279	0,277	0,278	<b>4,79</b>
	½	0,074	0,073	0,0735	<b>1,10</b>
	1	0,04	0,04	0,04	<b>0,49</b>
	1½	0,029	0,029	0,029	<b>0,29</b>
	2	0,025	0,025	0,025	<b>0,22</b>
	3	0,023	0,023	0,023	<b>0,18</b>
	4	0,022	0,022	0,022	<b>0,16</b>
	6	0,021	0,021	0,021	<b>0,15</b>
	8	0,022	0,021	0,0215	<b>0,16</b>

FUENTE: Elaboración propia

A pesar del aumento del tiempo de contacto de la solución con carbón activado y del peso de este último, no fue posible eliminar completamente la plata de la solución de cianuro, a pesar del aumento de carbono y del aumento de concentración, como se puede observar en la Tabla N°101. La cantidad de plata que queda en la solución disminuye y alcanza un valor cercano a cero. Además, observamos que la mayor parte de la plata fue adsorbida dentro de los primeros 30 minutos del proceso.

### **4.3. Prueba de Hipótesis**

#### **4.3.1. Prueba de Hipótesis general**

**Ho:** La determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos no mejorara mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C.-Arequipa.

**Ha:** La determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mejorara mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C.-Arequipa.

De acuerdo a los datos obtenidos y realizando una comparación mediante gráficos, determinamos que si tenemos una mejora y con buenos resultados en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C.-Arequipa. Concluyendo que aceptamos la hipótesis alterna y rechazamos la hipótesis nula.

### **4.4. Discusión de resultados**

Según la investigación de Delgado Velasquez & Arce Rado, (2022) en su tesis titulada “Evaluación metalúrgica en la recuperación de oro para la mitigación del consumo de cianuro de sodio en la compañía minera Ares S.A.C. - Arequipa” concluye que la mayor recuperación obtenida de oro, está en la aplicación de los tres pretratamientos, alcanzando una recuperación mayor al 90 %, superando al obtenido en un proceso convencional alcanzo al 76 % de recuperación, en nuestro caso con los estándares de absorción atómica de Au y Ag preparados en soluciones que contienen 1000 ppm de cianuro de sodio permiten una determinación más precisa de las concentraciones de estos metales

en muestras del proceso de cianuración de mineral de oro. Los cambios anteriores se debieron principalmente a eliminar la posibilidad de interferencia de señal causada por altas concentraciones de cianuro de sodio en muestras reales.

De acuerdo a la investigación de Isauro Rivera, (2004), en su tesis titulada “Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurosos con ozono” menciona que su investigación logró su objetivo que fue el de mejorar la cianurabilidad de un mineral considerado refractario a dicho proceso. Su obtuvo un 10.8 % más de disolución de Ag y un 53 % más de disolución de Au que para el caso de la cianuración del mineral sin preoxidación, en nuestro caso con el uso del método MIBK para extraer complejos de oro de soluciones de cianuradas para eliminar barreras a la cuantificación del oro resultó ser un proceso que no proporcionó ningún beneficio analítico para los minerales utilizados en este estudio. La extracción con solventes se puede utilizar con éxito para determinar el contenido de oro de muestras acuosas resultantes de la reacción de cianuración de minerales de plata más complejos o de muestras de minerales completamente digeridos.

## CONCLUSIONES

- El uso del método MIBK para extraer complejos de oro de soluciones de cianuradas para eliminar barreras a la cuantificación del oro resultó ser un proceso que no proporcionó ningún beneficio analítico para los minerales utilizados en este estudio. La extracción con solventes se puede utilizar con éxito para determinar el contenido de oro de muestras acuosas resultantes de la reacción de cianuración de minerales de plata más complejos o de muestras de minerales completamente digeridos.
- Los métodos de análisis químico utilizados para analizar las propiedades fisicoquímicas de los minerales de plata y los métodos de análisis fisicoquímicos utilizados en los procesos metalúrgicos de producción de oro y plata han sido revisados y mejorados sistemáticamente por el grupo de investigación de Minerales, Biohidromecánica y Medio Ambiente. Mejorar el apoyo y asistencia técnica local y nacional al sector minero.
- Los efectos de los estándares de absorción atómica de Au y Ag preparados en soluciones que contienen 1000 ppm de cianuro de sodio permiten una determinación más precisa de las concentraciones de estos metales en muestras del proceso de cianuración de mineral de oro. Los cambios anteriores se debieron principalmente a eliminar la posibilidad de interferencia de señal causada por altas concentraciones de cianuro de sodio en muestras reales.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la efectividad de la determinación de oro mediante el método de extracción por solvente (MIBC) en soluciones de cianuro con altas concentraciones de sales solubles de hierro, cobre y zinc.
- También es conveniente comparar los resultados del análisis cuantitativo de oro y plata mediante la prueba compleja de plasticidad por absorción atómica con el método de análisis cuantitativo de metales mediante descomposición computacional y extracción de minerales de oro con MIBK.
- Los laboratorios de minerales, bioaleaciones y grupos de investigación medioambiental suelen procesar grandes cantidades de muestras ácidas para análisis de absorción atómica. Por esta razón, se recomienda tener especial cuidado para evitar mezclar residuos acuosos de soluciones de cianuro en equipos de absorción atómica. Esto se debe a que el procesamiento de muestras de cianuro requiere un pH básico estricto para evitar el envenenamiento por cianuro.
- Un simple tratamiento con peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) puede prevenir la acumulación dañina de cianuro. Es económico y eficaz para oxidar cianuro y eliminar algunos metales pesados.
- La evaluación electrónica periódica y la calibración de los espectrofotómetros de absorción atómica son importantes debido principalmente a las fluctuaciones eléctricas de los objetos del grupo de investigación.
- Es importante realizar periódicamente la inspección y calibración electrónica de los espectrofotómetros de absorción atómica, debido principalmente a las fluctuaciones eléctricas en las instalaciones del grupo de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Delgado Velasquez, C. D., & Arce Rado, A. J. (2022). Efecto de la cianuración intensiva en reactor IRL para tratar concentrados de flotación de minerales argentíferos de una mina ubicada en la región de Arequipa. Arequipa–Perú.
- Habashi F. (1970). Principles of extractive metallurgy, hydrometallurgy, vol. 2. New York, NY: Gordon and Breach.
- Isauro Rivera, E. S. (2004). Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurosos con ozono. Universidad Autónoma de Coahuila - México.
- Marsden, John; House, Lain. (1960) The Chemistry of Gold Extraction. 2nd ed. Colorado, EE.UU: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. 350 p.
- Martín, Ana M, & Speltini, Cristina. (2010). Química Analítica: Una Oportunidad para la Inclusión de Aspectos Sociales y Culturales en Ingeniería Química. Formación universitaria, 3(2), 3-10. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062010000200002>.
- Oyarce Guarniz, E. J., & Lescano Terán, M. A. (2015). “Proceso de lixiviación a nivel artesanal para la obtención de los parámetros óptimos en la recuperación de plata y oro en el distrito de Simbron de la provincia de Gran Chimú”. Trujillo – Perú.
- Parra, A. (2020, septiembre 11). ¿Qué es la investigación cuasi experimental? Question Pro. <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-cuasiexperimental/>
- Salinas, Eleazar, Rivera, Isauro, Carrillo, F. Raúl, Patiño, Francisco, Hernández, Juan, & Hernández, Leticia E.. (2004). Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurosos con ozono. Revista de la Sociedad.

- Química de México, 48(4), 315-320. Recuperado en 20 de julio de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0583-76932004000400021&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932004000400021&lng=es&tlng=es).
- Venturo Uscamayta, G. M. R. (2016). “Evaluación metalúrgica en la recuperación de oro para la mitigación del consumo de cianuro de sodio en la compañía minera Ares S.A.C. - Arequipa”. Cerro De Pasco – Perú.
- AMERICAN ESTÁNDAR TEST METHODS. (1990). Standard Practices for Digestion of Samples for Determination of Metals by Flame Atomic Absorption or Plasma Emission Spectroscopy. USA. ASTM. Pág. 440-442.
- AMERICAN STANDARD TEST METHODS. (1996). Standard Test Method for Determination of Gold in Cyanide Solutions by Atomic Absorption Spectrometry. USA. ASTM. Pág. 1-3.
- BUSTAMANTE, R. O. (1992). Programa modular: Procesamiento de minerales auroargentíferos. Módulo 6 Concentración de minerales. Convenio CIMEX, MINERALCO, SENA. Colombia.
- CARDENAS Revilla, Agustín. Metalurgia Extractiva del Oro. Imprenta Offset Ltda. Bolivia. Pág. 13-29.
- GOMEZ, Agustín Alberto. Manual de laboratorio planta de cianuración de oro y plata. Instituto de investigaciones mineras. Universidad Nacional de Ingeniería. Pág. 41-46.
- KELLY, E. G. & SPOTTISWOOD. (1982). Introducción al procesamiento de minerales. Jhon Wiley. USA.
- LOPEZ, Maria Esperanza. (1998). Determinación de oro y plata. Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ingeniería química. Pág.12-44.

- MISARI, Fidel Sergio. (1993). Metalurgia del oro. CEPECT Ediciones. Primera Edición. Perú. Pág. 90-91.
- VASQUEZ García, Jorge. Procesamiento de Minerales Auríferos, el control analítico en el procesamiento de minerales. Ministerio de minas y energía. Cartilla N° 2.
- WILLARD, Hobart. (1991). Métodos Instrumentales de Análisis. Grupo - Editorial Iberoamérica. México. Pág. 237-238.



## RECURSOS FINANCIEROS

Combustible y lubricantes	50.00
Implementos de seguridad	100.00
Pasajes y gastos de transporte	100.00
Redacción e impresión del informe	100.00
Materiales de enseñanza	150.00
Útiles de escritorio	100.00
Equipamiento de bienes duraderos	1 500.00
Imprevistos	100.00
	-----
TOTAL	S/. 2 200.00

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

<b>TÍTULO:</b> Mejora en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C.-Arequipa.						
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	METODOLOGIA
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable Dependiente</b>	Determinación de Au	Au (ppm)	<b>METODO DE INVESTIGACION:</b> Inductivo - deductivo <b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Cuasi experimental <b>ENFOQUE DE INVESTIGACION:</b> Cuantitativo <b>NIVEL DE INVESTIGACION:</b> Correlacional <b>POBLACION:</b> Como población de estudio se consideró a los minerales auroargentíferos de la Compañía Minea Ares de su unidad operativa
¿Cómo realizar la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares S.A.C.-Arequipa?	Verificar la influencia en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa.	La determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mejorara mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa.	Mejora en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos.	Determinación de Ag	Ag (ppm)	
Problemas Específicos	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicos</b>	<b>Variable Independiente</b>			
¿Cuál será el método adecuado para la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa?.	Determinar el método adecuado para la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa.	El método adecuado mejorara en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa.	Estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación.	Procesos de Absorción atómica	Absorbancia Au	

¿Cuál será las propiedades químicas en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a	Determinar las propiedades químicas en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a	Las propiedades químicas mejoraran en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a			Absorbancia Ag	de Arcata en la región Arequipa. MUESTRA: Como muestra de estudio es la recolección de minerales auroargentíferos con
nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa?	nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa	nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa.				contenido de oro y plata en una cantidad aproximada de 50 kilos en un muestro aleatorio por mallas del cual
¿Qué efectos se darán en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa?	Determinar los efectos que se darán en la mejora de la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa.	Los efectos mejoraran en la determinación de oro y plata en los minerales auroargentíferos mediante estandarización de procesos a nivel de laboratorio de lixiviación en la compañía minera Ares SAC Arequipa.				utilizaremos diez kilos para realizar su tratamiento metalúrgico mediante la lixiviación.

FUENTE: Elaboración propia

## PANEL FOTOGRAFICO

