



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

“Optimización de la fusión de mineral, en el análisis cuantitativo del oro con determinación gravimétrica de un mineral sulfurado”

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

AUTORES

Jordan Cristhian BASILIO VILLANUEVA

Sara ROMERO ASTUPIÑAN

ASESOR

Daniel Florencio LOVERA DÁVILA

Lima, Perú

2020



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

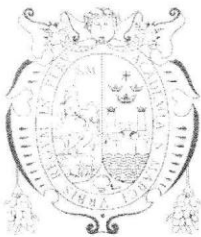
Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Basilio, J. (2020). *Optimización de la fusión de mineral, en el análisis cuantitativo del oro con determinación gravimétrica de un mineral sulfurado*. Tesis para optar el título de Ingeniero Metalúrgico. Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

Código ORCID del autor	--
DNI o pasaporte del autor	Jordan Cristhian, BASILIO VILLANUEVA DNI 476474181 Sara, ROMERO ASTUPIÑAN DNI 46093440
Código ORCID del asesor	0000-0003-2815-0716
DNI o pasaporte del asesor	DNI 06450640
Grupo de investigación	TECNOLOGIAS METALURGIAS SOSTENIBLES
Agencia financiadora	INGENIERIA METALURGICA – IIGEO- VRI - UNMSM
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	PERU, LIMA, LIMA, LIMA, CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, AVENIDA ÓSCAR RAIMUNDO BENAVIDES. GD (grados decimales) Latitud: - 12.0602778 Longitud: -77.08463888888889
Año o rango de años que la investigación abarcó.	2018-2020
Disciplinas OCDE	QUIMICA ANALITICA http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.04.07 MINEROLOGIA http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.02 INGENIERIA DE PROCESOS http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02



Universidad Nacional Mayor De San Marcos
Universidad del Perú - Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS MANCOMUNADA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO

En el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día lunes 24 de febrero del año 2020, siendo las 5:00 p.m. en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

- | | |
|--|------------|
| - Dr. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS | Presidente |
| - Ing. MANUEL PRUDENCIO CABALLERO RÍOS | Miembro |
| - Mg. LUIS ALFREDO ORIHUELA SALAZAR | Miembro |

Reunidos para el acto Académico Público de Colación de Tesis mancomunada de don: **JORDAN CRISTHIAN BASILIO VILLANUEVA**, Bachiller en Ingeniería Metalúrgica quien sustentará la Tesis mancomunada titulada "OPTIMIZACIÓN DE LA FUSIÓN DE MINERAL EN EL ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL ORO CON DETERMINACIÓN GRAVIMÉTRICA DE UN MINERAL SULFURADO", para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico.

Los miembros del Jurado, escuchada la colación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

SATISFACCION

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

QUINCE (15)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis mancomunada por el Jurado examinador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico a don **JORDAN CRISTHIAN BASILIO VILLANUEVA**.

Siendo las *18:10* horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la sustentación de Tesis.

Ciudad Universitaria, 24 de febrero 2020

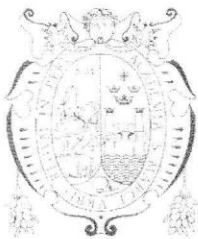
[Firma]
Dr. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS
Presidente

[Firma]
Ing. MANUEL PRUDENCIO CABALLERO RÍOS
Miembro

[Firma]
Mg. LUIS ALFREDO ORIHUELA SALAZAR
Miembro

[Firma]
Mg. SÓSIMO ISIDORO FERNÁNDEZ SALINAS
DIRECTOR
Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica





Universidad Nacional Mayor De San Marcos

Universidad del Perú - Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS MANCOMUNADA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO

En el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día lunes 24 de febrero del año 2020, siendo las 5:00 p.m. en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

- Dr. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS	Presidente
- Ing. MANUEL PRUDENCIO CABALLERO RÍOS	Miembro
- Mg. LUIS ALFREDO ORIHUELA SALAZAR	Miembro

Reunidos para el acto Académico Público de Colación de Tesis mancomunada de doña: SARA ROMERO ASTUPIÑAN, Bachiller en Ingeniería Metalúrgica quien sustentará la Tesis mancomunada titulada "OPTIMIZACIÓN DE LA FUSIÓN DE MINERAL EN EL ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL ORO CON DETERMINACIÓN GRAVIMÉTRICA DE UN MINERAL SULFURADO", para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico.

Los miembros del Jurado, escuchada la colación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

SATISFACCION

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

QUINCE (15)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis mancomunada por el Jurado examinador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico a doña SARA ROMERO ASTUPIÑAN.

Siendo las *18:10* horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la sustentación de Tesis.

Ciudad Universitaria, 24 de febrero 2020

[Firma]
Dr. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS
Presidente

[Firma]
Ing. MANUEL PRUDENCIO CABALLERO RÍOS
Miembro

[Firma]
Mg. LUIS ALFREDO ORIHUELA SALAZAR
Miembro

[Firma]
Mg. SÓSIMO ISIDORO FERNÁNDEZ SALINAS
DIRECTOR
Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

INDICE

	Pág.
Dedicatoria	3
Agradecimiento	5
Resumen	6
Nomenclatura	7
Lista de tablas	8
Lista de figuras	10
 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	 12
 CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	 13
2.1 Descripción del problema	13
2.1.1 Formulación del problema	14
2.2 Justificación de la investigación	15
2.2.1 Justificación técnica	15
2.2.2 Justificación ambiental	15
2.2.3 Justificación administrativa	16
2.2.4 Justificación económica	16
2.3 Objetivos	16
2.3.1 Objetivo general	16
2.3.2 Objetivos específicos	16
 CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	 17
3.1 Antecedentes	17
3.2 Base teórica	18
3.2.1 Oro en el mundo y el Perú	18
3.2.2 El oro en la naturaleza	19
3.2.3 Propiedades físicas del oro	22
3.2.4 Propiedades químicas	23
3.2.5 Propiedades mecánicas	23
3.2.6 Utilidad del oro	24
3.2.7 Métodos de análisis de oro	26
3.2.8 Descripción de los procesos para el análisis de oro	27
3.2.9 Acción de los reactivos	32
3.2.10 Análisis químico cuantitativo del oro por el método gravimétrico	36
3.3 Marco conceptual - glosario	37

CAPÍTULO IV: HIPOTESIS Y VARIABLES	38
4.1 Hipótesis general	38
4.2 Hipótesis específica	38
4.3 Identificación de variables	38
4.3.1 Variables dependientes	38
4.3.2 Variables independientes	39
4.4 Operacionalización de variables	40
4.4.1 Número de fusión aurífera (NFAu)	40
4.4.2 Tolerancia	42
4.5 Matriz de consistencia	43
4.6 Marco lógico	44
 CAPÍTULO V: METODOLOGÍA	 45
5.1 Tipo y diseño de investigación	45
5.2 Unidad de análisis	46
5.3 Población de estudio	46
5.4 Tamaño de muestra	47
5.5 Técnica de recolección	47
5.6 Análisis e interpretación de información	47
5.6.1 Caracterización de la muestra de estudio	47
5.7 Diagrama de flujo	52
5.7.1 Procedimiento del ensayo al fuego	53
5.7.2 Determinación de porcentaje de humedad	56
5.7.3 Área de vía seca (método fire assay)	58
5.8 Análisis cuantitativo con determinación gravimétrica del oro	69
5.8.1 Diagnóstico	69
5.9 Análisis y discusión de resultados	91
 CONCLUSIONES	 95
RECOMENDACIONES	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXOS	103
 I. Pruebas experimentales en el laboratorio UNMSM	 104
II. Cronograma	118
III. Producción y exportación	119
VI. Plomo en el medio ambiente	131

DEDICATORIA

Todo lo que he logrado hasta el momento es gracias a mis padres **Rodolfo** y **Gloria**, a mis hermanos **Rodolfo**, **Kevin**, **Diana** y mi **abuelito Papito**, por el gran apoyo incondicional ante situaciones difíciles, la ayuda de cada uno de ellos fue esencial para la culminación de este proyecto y quizás en muchos más proyectos de mi vida.

DEDICATORIA

Dios gracias por regalarme un día más de vida, por darme más bendiciones de las que merezco y por ayudarme a alcanzar cada una de mis metas. Gracias por mi familia, mis amigos y todas las personas que fueron parte de mi vida.

Agradezco a mi tío **Oscar Romero Astupiñan** que siempre confió en mí a pesar de las dificultades.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica por el préstamo de las instalaciones donde se realizó las pruebas necesarias para la sustentación de este proyecto de tesis y también al Ingeniero Daniel Florencio Lovera Dávila MSc, por ser nuestro asesor de tesis y apoyarnos con todo su conocimiento y su larga trayectoria en el campo pirometalúrgico para la correcta culminación de este proyecto.

RESUMEN

El mineral de investigación procede del departamento de Arequipa, debido a su complejo análisis y su riqueza mineralógica fue apto para el estudio de investigación. Se le realizó 20 pruebas a la misma muestra, obteniendo como resultado menor 3.556 g/ton y como ley mayor 9.000 g/ton. Por esta razón, vimos conveniente optimizar la fusión del mineral en el análisis cuantitativo de oro con determinación gravimétrica, para la muestra sulfurada que mayor dispersión presenta en sus resultados.

Investigando las plantas procesadoras del distrito Chala – Arequipa y otros laboratorios que también realizan ensayos al fuego, se observó la variación en la composición del flux para cada laboratorio que analiza minerales sulfurados. Después de varias pruebas en el laboratorio de Arequipa desarrollamos una nueva composición del flux, los cuales se encuentran dentro de los parámetros establecidos por los laboratorios; esto fue respaldado por el teorema de Pi Buckingham llegando a la siguiente composición de flux: 54.50% Litargirio, 25.50% Carbonato, 15% Sílice y 5% Bórax. Es así como se Obtuvieron leyes confiables con una variación de resultados mínimo en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Para comprobar si estos nuevos resultados de las 20 muestras del mineral sulfurado son confiables, nos respaldamos en el patrón interno de trabajo de un prestigioso Laboratorio Químico Metalúrgico que labora en Lima. El propósito fue verificar la exactitud del ensayo con las sistematizaciones y operacionalizaciones de las variables, con los modelos pirometalúrgicos desarrollados en el laboratorio, para lograr resultados reproducibles con tolerancias dentro de los laboratorios de empresas que reportan análisis de oro

NOMENCLATURA

ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
Oz/TM	Onza por tonelada métrica
°C	Grados centígrados
Cal/g	Caloría por gramo
mm	Milímetro
ml	Mililitro
t/h	Toneladas por hora
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
μ	Micra
G's	Fuerza de gravedad
kg/h	Kilogramos por hora
"	Pulgada
US\$	Dólares Americanos
h	Horas
m ²	Metro cuadrado
cm ³	Centímetro cúbico
kg	Kilogramo
m	Metro
TM	Toneladas métricas
mg/l	Miligramo por litro
g	Gramo
cm ²	Centímetro cuadrado
g/TM	Gramo por tonelada métrica
Psi	Libra por pulgada cuadrada
min	Minuto
g/L	Gramo por litro
mm ²	Milímetro cuadrado
mg/cm ²	Miligramo por centímetro cuadrado
lb/Oz	Libra por onza
mg/cm ² /h	Miligramo por centímetro cuadrado por hora

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla N°1: Propiedades físicas del oro.	22
Tabla N°2: Estados de los métodos analíticos.	27
Tabla N°3: Identificación de variable.	39
Tabla N°4: Desarrollo de la matriz de consistencia.	43
Tabla N°5: Matriz de marco lógico.	44
Tabla N°6: Minerales de la muestra.	48
Tabla N°7: Distribución volumétrica.	49
Tabla N°8: Grado de liberación del mineral de estudio.	50
Tabla N°9: Cuadro de pulverizado.	56
Tabla N°10: Porcentaje del flux del laboratorio de Chala.	69
Tabla N°11: Leyes (gr/ton) del laboratorio de Chala.	71
Tabla N°12: Porcentaje del flux en diferentes laboratorios de Chala.	72
Tabla N°13: Flux usado en el laboratorio de la UNMSM.	73
Tabla N°14: Resultados de las leyes de oro con la composición de flux propuesto.	78
Tabla N°15: Patrón interno de trabajo con ley de 0.006 a 0.014 (gr/ton).	80
Tabla N°16: Límites de control del patrón de la tabla N°15.	80
Tabla N°17: Patrón interno de trabajo con ley de 0.021 a 0.039 (gr/ton).	81
Tabla N°18: Límites de control del patrón de la tabla N°17.	81
Tabla N°19: Patrón interno de trabajo con ley de 0.100 a 0.122 (gr/ton).	82
Tabla N°20: Límites de control del patrón de la tabla N°19.	82
Tabla N°21: Patrón interno de trabajo con ley de 0.425 a 0.741 (gr/ton).	83
Tabla N°22: Límites de control del patrón de la tabla N°21.	83
Tabla N°23: Patrón interno de trabajo con ley de 0.905 a 1.088 (gr/ton).	84
Tabla N°24: Límites de control del patrón de la tabla N°23.	84
Tabla N°25: Patrón interno de trabajo con ley de 3.658 a 4.350 (gr/ton).	85
Tabla N°26: Límites de control del patrón de la tabla N°25.	85
Tabla N°27: Tabla de concentración vs tolerancia.	86
Tabla N°28: Comparación de las funciones.	89
Tabla N°29: Simulación según la función potencial para diferentes leyes.	90
Tabla N°30: Leyes obtenidas con la composición del flux propuesto.	91
Tabla N°31: Rangos de tolerancia para que los resultados sean aceptables.	92
Tabla N°32: Morfología y tamaño del oro en función de la fuente.	109

Tabla N°33:	Tabla para obtener la constante C2 según el número de observaciones en la muestra.	111
Tabla N°34:	Fórmula para obtener la tabla N° 29.	112
Tabla N°35:	Datos de tolerancia máxima y mínima para obtener los límites de la figura N° 44.	113
Tabla N°36:	Datos de tolerancia máxima y mínima para obtener los límites de la figura N° 45.	114
Tabla N°37:	Tiempo de desarrollo de Tesis.	118
Tabla N°38:	Producción mundial de oro por país entre el 2009 al 2018 (Tmf).	125
Tabla N°39:	Producción nacional de oro por empresa entre el 2009 al 2018 (gramos finos).	126
Tabla N°40:	Producción nacional de oro por regiones entre el 2009 al 2018 (gramos finos).	127
Tabla N°41:	Producción nacional de oro según estratos de la minería entre el 2009 al 2018 (gramos finos).	128

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°1: Diagrama ternario de B_2O_3 - Na_2O - SiO_2 .	35
Figura N°2: Ecuación para el cálculo del oro.	36
Figura N°3: Formula de la operacionalización.	40
Figura N°4: Ecuación del número de fusión aurífera.	41
Figura N°5: Fórmula final de oro (g/Tm).	41
Figura N°6: Formula de los límites de Control.	42
Figura N°7: Diseño de investigación.	45
Figura N°8: Fotos micrográficas de las partículas libres del mineral sulfurado.	51
Figura N°9: Diagrama de flujo de una empresa estándar.	52
Figura N°10: Muestras de mineral en rocas.	53
Figura N°11: Procedimiento de cuarteo por coneo.	54
Figura N°12: Procedimiento de cuarteo con Jones.	55
Figura N°13: Muestreo representativa del mineral sulfurado.	56
Figura N°14: Porcentaje de humedad	57
Figura N°15: Homogenización del flux.	59
Figura N°16: Adición del flux y enumerado de los crisoles.	59
Figura N°17: Cuarteo por hoyos del mineral homogenizado.	60
Figura N°18: Pesado de gruesos y finos por el método Newmont.	61
Figura N°19: Adición del mineral según el método Newmont.	61
Figura N°20: Pesado y dosificación del nitrato de potasio.	62
Figura N°21: Colada en las lingoteras.	63
Figura N°22: Chancado de régulo.	64
Figura N°23: Pesado del régulo.	64
Figura N°24: Colocar los régulos en las copelas.	65
Figura N°25: Retirado de copelas del horno de copelación.	66
Figura N°26: Enfriado de las copelas	66
Figura N°27: Pesado final de los botones de oro.	68
Figura N°28: Resultado final de las leyes de oro.	68
Figura N°29: Composición del flux usado en el laboratorio de Chala.	70
Figura N°30: Dispersión de las leyes finales de oro.	72
Figura N°31: Composición del flux propuesto.	73
Figura N°32: Porcentaje de sílice vs el número de fusión aurífera.	74
Figura N°33: Porcentaje de bórax vs el número de fusión aurífera.	75

Figura N°34:	Porcentaje de carbonato vs el número de fusión aurífera.	75
Figura N°35:	Porcentaje de litargirio vs el número de fusión aurífera.	76
Figura N°36:	Diferencia del número de flux por empresa.	77
Figura N°37:	Diferencia del número de fusión aurífera por empresas.	77
Figura N°38:	Linealidad en las leyes finales de oro.	79
Figura N°39:	Función logarítmica.	87
Figura N°40:	Función potencial.	87
Figura N°41:	Función exponencial.	88
Figura N°42:	Función lineal.	88
Figura N°43:	Función potencial resultante .	89
Figura N°44:	Límites de las leyes con la composición del flux de Chala.	93
Figura N°45:	Límites de las leyes con la composición del flux propuesto.	93
Figura N°46:	limpieza de lamas.	104
Figura N°47:	Plateo del mineral.	104
Figura N°48:	Crisol de fundición.	105
Figura N°49:	Flux.	105
Figura N°50:	Colada de la fundición.	105
Figura N°51:	Enfriar lingoteras.	106
Figura N°52:	Copela de fundición.	106
Figura N°53:	Copelación.	106
Figura N°54:	Enfriamiento de las copelas.	107
Figura N°55:	Botón de oro 1.	107
Figura N°56:	Botón de oro 2.	107
Figura N°57:	Importancia de la entrega de resultados del área de laboratorio químico.	108
Figura N°58:	Morfología de las partículas de oro.	110
Figura N°59:	Diagrama de fase ternario de los reactivos para los 2 fundentes.	115
Figura N°60:	Cotización comercial de reactivos de para ensayos al fuego.	116
Figura N°61:	Porcentaje de ahorro para 15% de ensayos rechazados.	117
Figura N°62:	Producción nacional de oro del 2009 al 2018(TMF).	120
Figura N°63:	Producción nacional de oro por regiones del 2018 (distribución porcentual).	121
Figura N°64:	Producción de las exportaciones nacionales de oro del 2018.	122
Figura N°65:	Destino de las exportaciones nacionales de oro del 2018.	124
Figura N°66:	Posición del Perú en el ránking mundial de producción minera en el año 2018.	130

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Como señalan diversos autores, a lo largo del Perú se desarrollaron grandes culturas que ejercieron una larga tradición metalúrgica que se remota a más de 10 000 años de antigüedad. Esta práctica por excelencia se origina con la extracción de los minerales no metálicos como por ejemplo el cuarzo, cuarcita, riolita, toba y calcedonia; con el propósito de crear instrumentos de caza, pesca y recolección; estableciéndose en los andes peruanos principalmente. La cuna de la metalurgia en el Perú se inicia en las épocas pre incas donde el poblador andino logró el dominio de las técnicas para fundir, alear, amalgar, laminar, y soldar los metales adaptándolo a sus necesidades básicas. (Lovera Dávila; 2003)

El especialista profesional en análisis de oro es llamado “ensayador”, quien va a realizar determinaciones cuantitativas del oro, que depende de disciplinas científicas, pero más de la experiencia de muchos años. El método es llamado también análisis seco, análisis por vía seca o al fuego. Este procedimiento antiguo ya estaba desde el siglo XIX. (Tantaleán Vanini; 1972)

El análisis de oro o ensayo al fuego, es el método que nos sirve para determinar el contenido de oro que hay en una muestra dependiendo de su naturaleza. Para este análisis se aprovecha la elevada solubilidad de los metales nobles utilizando al plomo líquido como colector de estos, separándolos de la escoria que es la fase líquida de menor densidad. Los reactivos básicos que funden la muestra a analizar es el flux compuesto de litargirio, carbonato, sílice, bórax y de acuerdo a la naturaleza del mineral se le adiciona harina o nitrato de potasio.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los alrededores del departamento de Arequipa cuentan con gran actividad minera que han ido desarrollando los pequeños mineros artesanales, las plantas de procesamiento y las comercializadoras del metal oro y plata.

En la planta de acopio el ingeniero metalúrgico tiene la necesidad de saber el procedimiento del análisis químico cuantitativo de los metales plata y oro para obtener información de la ley del mineral que ingresa a la planta, de ese modo podrá realizar el balance metalúrgico en los diferentes procesos de concentración y lixiviación.

El resultado de la determinación analítica cuantitativa del oro, es el punto de inicio para la transacción comercial entre el área de comercialización y los mineros artesanales. Estos reportes se realizan dentro de las veinticuatro horas de haber ingresado el mineral en la tolva de gruesos.

El problema inicia en los reportes finales de los minerales sulfurados al presentar dispersión en sus leyes finales de oro. Como ya sabemos, durante el proceso analítico del oro, un punto crítico es la fusión del mineral en la etapa de fundición.

Según Misari la fundición es de vital importancia para obtener resultados eficientes al finalizar el proceso del análisis.

2.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1.1.1 PROBLEMA PRINCIPAL

El análisis con determinación gravimétrica de oro en los minerales sulfurados, que reporta el laboratorio de Chala-Arequipa, viene a ser un problema para la planta de beneficio debido a la falta de confiabilidad en sus resultados de las leyes finales de oro. Es el mineral sulfurado que más rechazo tiene por su resultado de leyes finales.

De lo antes mencionado planteamos el problema principal en los siguientes términos:

¿De qué manera podemos optimizar la fusión del mineral de oro en los sulfurados por determinación gravimétrica?

2.1.1.2 PROBLEMA ESPECÍFICO

1. ¿Las leyes obtenidas como resultado del análisis no son confiables porque una misma muestra no presenta reproducibilidad?
2. ¿Trabajar con un solo tipo de flux para muestras oxidadas y sulfuradas está originando problemas en el proceso de fusión de los minerales sulfurados?
3. ¿Existe la necesidad de evaluar el flux para una nueva composición y así evitar reensayos para que nuestros resultados sean confiables, lo cual origina una pérdida de tiempo, material y reactivos?

2.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizará con el objetivo de reportar las leyes finales en el tiempo requerido de los análisis de oro. Durante el proceso del análisis un punto crítico es la fusión del mineral debido a la existencia de un solo flux estándar. Esto está generando reensayos, motivo por el cual se correrán diversas pruebas con la composición de un flux que se ha propuesto para muestras de un mineral sulfurado y así evitar los constantes reensayos. La finalidad es aportar resultados confiables cumpliendo con la fecha de reporte de los análisis de oro.

De lo mencionado anteriormente podemos tener las siguientes justificaciones valederas:

2.2.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

En el proceso de análisis cuantitativo de oro se requiere un análisis confiable y la reproducibilidad de la determinación de la ley, por eso se modificará la composición del flux para una muestra representativa de un mineral sulfurado.

2.2.2 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

En el proceso de análisis de oro, los reensayos generan mayor consumo de flux y plomo particulado al manipular mayores cantidades de flux que el necesario, al igual que los crisoles usados, copelas usadas y escorias generadas por falta de optimizar la fusión del mineral.

2.2.3 JUSTIFICACIÓN ADMINISTRATIVA

El área comercial tiene un plazo de 24 horas para negociar la compra del mineral, al no cumplirse genera disconformidad del cliente y este se direcciona a otro laboratorio.

2.2.4 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Los reensayos generan costos adicionales en el proceso de análisis para la determinación del oro, tanto en consumo de energía, insumos, mano de obra calificada y gastos administrativos.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar la fusión del mineral en el análisis por vía seca para una muestra sulfurada, desarrollando una nueva composición del flux para tener leyes confiables de oro.

2.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Mejorar la dosificación en las muestras y fundentes para lograr una óptima homogenización del mineral y del flux.
2. Encontrar el flux adecuado para el mineral sulfurado.
3. Respaldar los resultados obtenidos con los laboratorios que están acreditados con la sistematización y operacionalización de las variables usadas en el análisis.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 ANTECEDENTES

En el Perú, tanto la amalgamación como la fundición con litargirio y copelación de minerales de oro se practican desde hace 3 milenios; es una ruta corta y de baja inversión para obtener oro refinado, especialmente en la minería de pequeña escala (MPE). El litargirio (PbO) continúa siendo el fundente universal para coleccionar el oro en el análisis por vía seca y en la metalurgia de estos metales. (Villachica León; 2017)

En diversos laboratorios del Perú se aplica los ensayos al fuego, dependiendo de las características del mineral y del laboratorio, se van a desarrollar técnicas que les permitan optimizar su proceso, identificando y cuantificando su procedimiento en el análisis, motivándolos a la búsqueda de mayor información.

Se encontró varios casos donde se busca optimizar el método de ensayos al fuego por oro, dándonos ideas para poder desarrollar nuestro presente proyecto y son las siguientes:

- Existen investigaciones para sustituir el colector “plomo” ya que es un agente muy contaminante, por el hidróxido de cobre en polvo como agente colector en la universidad de San Francisco de Quito. (Toapanta Cartagena; 2011)
- Se encontró estudios sobre el control de calidad en ensayos al fuego donde se optimizó sus técnicas básicas de ensayo. (Espilco de la Cruz; 2013)
- También hay estudios comparativos en los resultados obtenidos de la ley de oro, aplicados en análisis de vía seca y vía húmeda. (Mercado Escalante; 2013)

- Así mismo en el laboratorio químico de la empresa minera Chungar del centro del Perú, encontramos estudios de técnicas de encuarte por filtración aplicados a los ensayos al fuego. (Castro Damián; 2011)

Los distintos laboratorios mineros que radican en el Perú deberían apoyar el lado de la investigación en todos los campos de la industria, ya que nuestro país es rico en minerales. Se debería explotar más ese sector para generar un desarrollo sostenible y a la vez éstas se beneficien mejorando su productividad y eficiencia en sus procesos.

3.2 BASES TEÓRICAS

3.2.1 ORO EN EL MUNDO Y EN EL PERÚ

Según Zavaleta el papel que cumple el oro a través de la historia. Es un metal valioso, atesorado y pilar de economías nacionales e internacionales en forma de lingotes o monedas. A la vez es utilizado en la fabricación de objetos ornamentales, cultos y joyas en diversas culturas que se desarrollan en la historia. El génesis sobre el oro se inicia en Egipto a más de 6000 años por las afueras del río Nilo, los moradores empezaron a fabricar objetos decorativos en diversas áreas que no se alteraban con el tiempo reflejando luces doradas. En el año 1350 a.c. época donde se desarrolló la dinastía del faraón Nemes, ya se escuchaba hablar sobre el “electrum”, aleación de oro y plata que destacó en su época. (Guillermo Zavaleta; 2000)

Es muy probable que la minería del oro en Egipto, provenía de Sudan, Nubia donde los placeres auríferos abarcaban extensas áreas cuadradas que se iniciaron hace unos 6000 años, donde posteriormente pasan a extraer filones auríferos. Los documentos hallados

han considerado a Egipto la mayor potencia aurífera de todos los tiempos antiguos, donde se desarrolla la metalurgia del oro y técnicas mineras, alcanzando un elevado nivel de desarrollo en las diferentes dinastías. (Josefina Koch Tovar; 2018)

La transferencia de conocimiento técnicos sobre la metalurgia incaica y su metalistería comenzó en el Horizonte Temprano, donde se inició y floreció la artesanía laminar en oro nativo, que, debido a los conocimientos aprendidos en la elaboración del metal por laminación, estirado y recocido para recuperar sus propiedades mecánicas y devolverle la maleabilidad prosperaron la obtención de láminas de espesores sorprendentemente delgados. Las habilidades aprendidas fueron cada vez más sofisticadas y fueron aplicándose a otros metales como por ejemplo la plata, el cobre y sus aleaciones (cobre arsenical y bronce al estaño). El desarrollo de la metalurgia laminar abarca principalmente los andes centrales de América siendo los incas, quienes le dan características propias a sus múltiples objetos creados con técnicas de moldeo en todo tipo de metal o aleación disponible para la época. (Salvador Rovira; 2017)

3.2.2 ORO EN LA NATURALEZA

Desde el punto de vista del autor el ciclo geoquímico del oro se va a separar por periodos, en medio hipógeno donde el oro es beneficiado por la fase magmática, esta etapa se inicia generándose la fusión parcial de las zonas profundas del continente donde las rocas poseen 0.005 ppm de oro, que, al ser estimuladas por el agua, la presión y temperaturas elevadas, se empiezan a cristalizar formándose la corteza terrestre donde el oro alcanza a dispersarse en 0.004 ppm. Cuando empieza a descender la temperatura y presión, las concentraciones del oro se asocian al cuarzo – pirita – arsenopirita alrededor de 0 a 45 ppm. de Au.

Cuando empiezan a actuar los agentes externos del intemperismo como el agua, el oxígeno, el CO₂, la temperatura y la materia orgánica sobre los sulfuros y sulfosales que poseen Au y Ag se solubilizan por partes, apartando Au⁰ y Ag⁰ libre en un medio ácido; los cuales al interactuar en medios carbonatados, incrementan el Eh y pH , logrando precipitar y oxidar, el Fe⁻², que actúa sobre la Ag⁺, produce Ag⁰ y enriquecimiento del oro cerca o en la superficie asociado a pizarras, calizas, goetitas y limonitas. (Marsden y House; 1960)

3.2.2.1 TIPOS DE YACIMIENTOS AURÍFEROS

3.2.2.1.1 Vetas y filones.

Las vetas y filones de cuarzo con mineralización aurífera y otros metales se desarrollan en las siguientes partes geológicas:

- 1.a). En la parte media del Batolito Occidental Andino (área de Nazca, Ocoña).
- 1.b). En la Cordillera Oriental donde se desarrolló las rocas paleozoicas y rocas intrusivas. (Hulburt; 1986)

La muestra de investigación es del tipo de yacimiento de vetas y filones.

3.2.2.1.2 Depósitos epitermales.

Las vetas epitermales se encuentran en espacios abiertos en su mayoría en rocas volcánicas que se desarrollaron en la edad terciaria. Las encontramos en vetas hidrotermales de cuarzo, baritina, fluorita y carbonatos, que contienen Au nativo y telururos de oro y cantidades variables de Ag. (Hulburt; 1986)

3.2.2.1.3 Placeres

Son depósitos de arena no consolidadas o semi-consolidadas y de gravas que fueron concentrados por agentes mecánicos, que pueden poseer pequeñas proporciones de oro nativo y otros minerales pesados. Lo encontramos en depósitos fluvioglaciales y glaciales o a lo largo de valles, cauces actuales o terrazas de flujos preexistentes. (Hulburt; 1986)

3.2.2.1.4 Placeres fósiles

Estos placeres fueron formados en épocas geológicas muy antiguas, que a lo largo del tiempo han sido litificados hasta convertirse en conglomerados llegando a formar parte del basamento, están mezclados con cuarzo, pirita y minerales micáceos (Hulburt; 1986).

3.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ORO

TABLA N°1: Propiedades físicas del oro.

PROPIEDADES FÍSICAS	ORO (Au)
Símbolo químico	Au
Peso atómico	197
Color	Amarillo
Número atómico	79
Temperatura de fusión C°	1063
Temperatura de ebullición C°	2530
Temperatura de vaporización C°	2808
Estado de oxidación	3.1
Densidad específica	19.3
Calor de fusión, cal/gr.	16.3
Dureza (Mohs)	2.5
Resistencia Eléctrica, MHm.	2.25
Radio atómico, A°	1.46
Radio iónico. A°	1.37
Potencial normal, voltios	1.498
Electronegatividad	2.4

Fuente: Misari Ch., Fidel Sergio; Franco Jiménez, Juan Antonio (1990)

3.2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS

- El oro es un metal soluble en agua regia o en sustancias que emanan cloro. Es disuelto también en yodo y los cianuros.
- Este metal no es atacado por el ácido clorhídrico ni por el ácido nítrico ni por los álcalis fundidos, pero si es atacado por el ácido sulfúrico cuando está por encima de los 300 °C.
- El mercurio posee una gran afinidad por el oro con el que se combina fácilmente formando amalgama de mercurio, que sirve para extraer el metal valioso de las rocas, arena, etc. Al calentar la amalgama se empieza a volatilizar el mercurio quedando el oro en forma esponjosa.
- Es un metal "no-reactivo" en comparación con los otros metales, no afecta los ambientes naturales e industriales, ya que no reacciona con O₂ por ende nunca se corroerá. (Misari y Jiménez; 1993)

3.2.5 PROPIEDADES MECÁNICAS

El oro por naturaleza es el único metal que posee mayor maleabilidad y ductilidad, ya que puede formar laminillas de espesores de 0.006 mm llamado “pan de oro”. En forma de hilo puede alcanzar increíbles longitudes que se puede torcer, modelar y martillar en frío, donde una onza de metal abarcaría más de 90 Km. Este metal posee una tenacidad alta, es muy resistente, de fácil soldadura, un buen conductor eléctrico y buen aislante del calor y frío. (Misari y Jiménez; 1993)

3.2.6 UTILIDADES DEL ORO

El oro es un metal que se usa a nivel mundial abarcando el 70% en joyería, el 20% en reservas e inversiones y solo el 10% en industrias que cada vez logra abarcar mayor campo en diferentes industrias.

3.2.6.1 Joyería

Desde tiempos antiguos el oro es valorado por su belleza siendo símbolo de poder, belleza, pureza y realización de diversas culturas que gobernaron civilizaciones enteras. La India sigue siendo el principal mercado de joyas a nivel mundial debido a su cultura y tradición que lograron mantener a través del tiempo. Los chinos tienen un incremento acelerado de joyas, queriendo lograr un nivel de pureza del 80 % en joyas de oro, pero es EEUU el mercado más importante en el consumo de joyas de oro en comparación con otras potencias. (Gomis y Noguera; 2012)

3.2.6.2 Reservas e inversiones

Al invertir en oro no solo va a mantener su valor, sino que podría incrementarse. Una de las ventajas de comprar oro físicamente es que se evita la necesidad de pagar comisiones por operación y se puede vender en cualquier momento, en cambio el dinero a través del tiempo va disminuyendo su valor capital, o incluso podría colapsar, mientras que el oro u otro metal incrementa su valor.

Se va a utilizar al oro como cobertura de la fluctuación de la moneda, en especial el dólar americano. Si el dólar baja, el oro sube.

3.2.6.3 Industria

3.2.6.3.1 Electrónica

El oro va ser utilizado en casi todos los dispositivos eléctricos creados por el hombre como los teléfonos celulares, televisores y computadoras, etc. Este metal valioso es el mejor conductor de calor y electricidad muy eficiente y confiable que no se degrada con el paso del tiempo manteniéndose libre de corrosión, podemos mencionar a los conectores que se usan para ensamblar el microprocesador y los chips de memoria que usa la placa madre en forma de alambres muy finos que se conecta a los circuitos de los semiconductores. Millones de aparatos se fabrican cada año a nivel mundial por el hombre en donde el oro es fundamental para el funcionamiento de sus dispositivos modernos. (Gomis y Noguera; 2012)

3.2.6.3.2 Medicina

El oro es biocompatible con el cuerpo humano, es utiliza en la medicina como en pastas dentales, cremas para la piel y medicamentos para la artritis, también es resistente a las bacterias y suelen ser usados en implantes donde se presenta alto riesgo de infección.

Este metal está siendo estudiado para aplicaciones biomédicas que incluyen el uso de alambres de oro en los marcapasos, implantes para el ojo y el oído interno. (Gomis y Noguera; 2012)

3.2.6.3.3 Aviación y construcción

En el campo de la aviación a los aviones modernos y a las naves espaciales se le ha cubierto con una película de oro la cabina del piloto para protegerlos de los efectos dañinos de los rayos solares y a la vez resistir temperaturas extremas. Muchas partes de

estas naves son a base de poliéster cubierto con una película de oro que ayuda a estabilizar grandes cantidades de calor.

En el campo de la construcción se recubre con una lámina delgada de oro las ventanas de los nuevos edificios ubicados en Canadá para que actúe como un aislante térmico que busca reducir gastos de calefacción.

3.2.7 MÉTODOS EN EL ANÁLISIS DE ORO

El método tradicional preferido a nivel mundial para analizar cuantitativamente al oro es el ensayo al fuego, ya sea para menas, concentrados, lamas de refinería, precipitados o para aleaciones, entre otros; este método ha demostrado eficiencia en sus resultados. Hoy en día el análisis de oro se realiza por el método gravimétrico más conocido como vía seca, y combinándolo con el método de absorción atómica. (Misari y Jiménez; 1993)

3.2.7.1 MÉTODO GRAVIMÉTRICO

3.2.7.1.1 El principio del método de oro

Tal como expresa Misari en la tabla N°2, nos resume el estado de los métodos analíticos más importantes del análisis del oro y plata, que se han usado en la industria minerometalúrgica a lo largo del tiempo, llegando a permanecer algunos métodos en los laboratorios por su fácil aplicación.

Tabla N° 2: Estados de los métodos analíticos.

MÉTODO	ESTADO
Análisis al fuego	Cuantitativo de rutina para la mayoría de tipos; usando como colector para AAS y métodos espectrográficos.
Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS)	Cuantitativo de rutina para todos los tipos de muestra, probablemente el método más usado.
Espectrografía de Emisión	Cuantitativo para algunas aplicaciones; semi -cuantitativas para otras, el más popular, desarrollado antes que AAS.
Espectroscopia inductiva acoplado con plasma	En estapa de inicio, muestra potencial.
Espectrofotométrico	Método popular a nivel de traza en 50' y 60' seg. de reserva y confirmatorio.
Rayos X (XRF, EDX)	Aplicaciones especiales, generalmente cualitativo.
Activación de Neutrón	Mejor método para niveles de ultra traza en pequeñas muestras.
Gravimétrico	Usado para muestras de mayor grado.
Titrimétrico	Usado para muestras de alto grado, algunas aplicaciones de alto grado
Electrométrico (polarográfico amperométrico y coulometrico)	Aplicaciones especiales, buena sensibilidad y precisión.

Fuente: Misari Ch., Fidel Sergio, Metalurgia del Oro (2010).

3.2.8 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PARA EL ANÁLISIS DE ORO

3.2.8.1 FUNDICIÓN

En la fundición se produce una fusión del mineral estudiado al emplear fundentes adecuados para obtener dos fases liquidas: una fase metálica compuesta por el plomo, que colecta los metales nobles (Au y Ag) y una fase de escoria. Estos líquidos se separan en dos fases por su respectiva inmiscibilidad y diferencia de densidad, solidificando al enfriar.

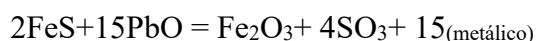
Teniendo en cuenta los estudios de Misari, afirmamos que la etapa de fundición es de vital importancia para obtener resultados eficientes al finalizar el proceso. El objetivo principal de la fundición es concentrar el oro y la plata (Dore) en un botón de plomo, utilizando al plomo como colector de los metales preciosos, eliminando así las impurezas presentes en forma de compuestos oxidados junto con la escoria principalmente silicatos complejos.

Las reacciones que se producen en la fundición serian:

3.2.8.1.1 Reacciones de reducción

Misari menciona que, mediante las reacciones de reducción que se da en la fundición del análisis de oro, el litargirio reduce a los minerales sulfurados como es el caso de la pirita (FeS_2); arsenopirita (FeAsS); calcopirita (CuFeS_2); galena (PbS) entre otros sulfuros, se va a obtener plomo metálico.

La pirita en presencia del litargirio y carbonato de sodio



Se da el caso también que, muchas de las impurezas metálicas que se presentan en la fundición se reducen a metal y pasan a contaminar el botón de plomo auro-argentífero al estado elemental.

3.2.8.1.2 Reacciones de oxidación

La oxidación en la fundición es de vital importancia para eliminar la escoria, adicionando los reactivos necesarios de acuerdo a las impurezas que posee el mineral o calcinando a altas temperaturas. Dicha oxidación se comprueba al añadir nitrato de potasio.

La fundición es el método más usado en este tipo de análisis, debido al perfecto control que se da en la reacción de oxidación, no solamente oxida impurezas metálicas, sino a la vez también eliminan todas las impurezas volátiles como el azufre, arsénico, antimonio entre otros al estado de óxidos (SO_2 ; As_2O_3 ; Sb_2O_3). (Misari y Jiménez; 1990)

El libro de Misari nos menciona otro método para oxidar y eliminar impurezas que sería la escorificación. Que consiste en introducir a la mufla a altas temperaturas, un platillo fabricado de arcilla a la vez esparciendo bórax para luego introducir el botón. Mantener cerrado la puerta de la mufla por unos minutos, y abrir para que se complete la reacción de oxidación del bórax y litargirio formándose escorias fluidas.

3.2.8.1.3 Elementos interferentes

Las muestras que poseen sulfuros, retienen gran cantidad de oro y plata, ya que estos se transforman en sulfuros metálicos.

La propiedad del botón de plomo formado para ser maleable se ve afectado por concentraciones de níquel y zinc.

El cobre al combinarse con el plomo forma una aleación dura, complicando el martilleado del régulo de plomo y con la posibilidad de generar una pérdida de material por fragilización que afectaría al análisis. (Misari y Jiménez; 1990)

Así mismo en muestras que presentan arsénico y antimonio se forman los arseniuros y antimoniuros metálicos, que se presentan durante la fusión del mineral, como pequeños glóbulos o formando capas en la parte superior del botón de plomo reteniendo oro y plata. En muestras que contienen gran cantidad de cromo, puede presentarse pérdidas de los metales nobles, ya que son difíciles de fundir a temperaturas de 1080°C .

El telurio interfiere directamente en la etapa de copelación, al reducir la tensión superficial del glóbulo fundido, provocando pérdida de oro en la absorción de la copela.

Los minerales que presentan carbón, grafito o materia orgánica pueden provocar fusiones pobres en la fundición. (Misari y Jiménez; 1990)

3.2.8.2 COPELACIÓN

El objetivo de la copelación a altas temperaturas es el proceso de oxidación del plomo y a la vez separar todas las impurezas metálicas que existen, éstas al ser mezcladas con óxido de plomo son absorbidos por las copelas. Durante el proceso el plomo se oxida, provocando la oxidación de los metales no nobles que serán absorbidos por la copela en un 98.5%.

Las impurezas metálicas que están adheridas al botón de plomo auro-argentífero son oxidado por el oxígeno del aire, logrando obtener el doré sobre la superficie de la copela. (Misari y Jiménez; 1990)

Las propiedades que permite que los metales nobles permanezcan sobre la superficie de la copela es la tensión superficial, el óxido de plomo o litargirio penetra la copela por la capilaridad que se presenta en la copela y la separa de los metales nobles.

Teniendo en cuenta los textos de Misari nos dice que la pérdida que se presenta en la copelación, se debe a la volatilización por temperaturas demasiado elevadas, al arrastre de partículas por las sustancias volátiles y retención de las escorias formadas, a causa de las impurezas metálicas que posee el botón auro-argentífero.

3.2.8.2.1 Elementos interferentes

El arsénico y antimonio en cantidades menores no interfieren en la copelación, pero si, en cantidades mayores donde se aplica previamente la escorificación.

El cobre, hierro y el cadmio en cantidades mínimas son eliminados completamente por la absorción de la copela. En cambio, el bismuto y zinc son eliminados en parte por absorción de la copela y por la volatilización al estado de óxido.

La copelación a baja temperatura produce botones quebradizos por la presencia del zinc, arsénico, antimonio, azufre y óxido de plomo y el botón duro se da por la presencia del cobre y hierro en cantidades apreciables.

Si hay presencia de arsénico, cadmio, hierro y manganeso en cantidades apreciables en el botón de plomo aumenta el riesgo de pérdida del oro y la plata, provocando que sus óxidos no sean absorbidos, formando a la vez escoria sobre la copela. (Misari y Jiménez; 1990)

Uno de los causantes del debilitamiento de la tensión superficial del metal fundido en el botón de plomo es el telurio, ocasionando que el metal tienda a mojar la superficie de la copela, por ende, algunas partículas de la aleación valiosa penetren a la copela.

El cobre en cantidades apreciables por estar asociados con los metales valiosos en la naturaleza es de difícil eliminación, éste al estar en contacto con el plomo se reduce a cobre metálico que se observa en la copela como una coloración verde oscura casi negra que sería la escoria. (Misari y Jiménez; 1990)

3.2.8.3 PARTICIÓN Y DIGESTIÓN.

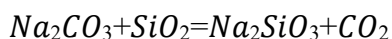
En esta etapa de la partición, se da la separación del oro y la plata (dore) usando la digestión ácida. Este método es utilizado según los estándares que cada laboratorio desarrolle en su proceso.

3.2.9 ACCIÓN DE LOS REACTIVOS

Como ya se mencionó todos los minerales poseen prácticamente los mismos elementos, pero hay algunos que predominan más que en otros, es por eso que, para tener resultados confiables en el análisis de fuego, es necesario conocer las características del mineral y las proporciones de los reactivos necesarios para fundirlo.

3.2.9.1 CARBONATO DE SODIO ANHÍDRIDO

Es una sal básica poderosa que se usa como fundente, que al entrar en contacto con el mineral que posee sílice, forma silicato de sodio con desprendimientos de dióxido de carbono. (Misari y Jiménez; 1990)



El uso de carbonato de sodio genera transparencia a la escoria, pero al usar cantidades excesivas causan escorias pegajosas e higroscópicas que son difíciles de separar del régulo. Por su facilidad de formar sulfatos alcalinos, actúan como desulfurizante y agente oxidante. (Tarqui; 2010)

3.2.9.2 BÓRAX

El bórax es una sal que funde a 742°C, que disminuye el punto de fusión de la carga de fundición. Cuando dicha muestra se funde presenta viscosidad, pero a altas temperaturas se transforma en ácido fluido fuerte que separa y atrapa casi todos los óxidos metálicos que se da en la fundición. (Tarqui; 2010)

El ingeniero Dante Tarqui menciona que el exceso de bórax puede ser perjudicial para la fundición, ocasionando escoria dura y poco homogénea, a la vez entorpece la separación de las fases, ya que, se produce la reducción del coeficiente de expansión de la escoria e impedimento la cristalización.

3.2.9.3 LITARGIRIO

En la fusión de minerales auríferos, el reactivo más importante es el litargirio, ya que al reducirse a plomo metálico actúa como colector de los metales valiosos en el mineral. Lo que queda de litargirio oxida las impurezas metálicas, como también forma silicatos de plomo o plumbatos con los óxidos metálicos.

Al alterar las cantidades del litargirio y de bórax, se disuelve el mayor número de óxidos metálicos en minerales complejos. (Misari y Jiménez; 1990)

3.2.9.4 SÍLICE

El dióxido de silicio (SiO_2) es un compuesto que funde a 1750° , que sirve como escorificador del hierro. Este al combinarse con los óxidos metálicos componen cadenas de silicatos estables. Las escorias que poseen un porcentaje alto de sílice son muy viscosas y conservan escoria metálica en suspensión. (Tarqui; 2010)

3.2.9.5 CLORURO DE SODIO

Es una sal que funde a $819^\circ C$, se usa principalmente como capa que protege la carga de la fundición, evitando que las partículas pequeñas de plomo se peguen a las paredes del crisol, estas no son parte de la escoria metálica, pero si flota encima de ellas. (Tarqui; 2010)

3.2.9.6 NITRATO DE POTASIO

El nitrato de potasio (KNO_3) se utiliza como un poderoso oxidante para minerales piritosos, este se funde a 339°C , cuando se funde a temperaturas altas se libera oxígeno, oxidando al azufre y otros metales, especialmente al plomo y cobre.

Se le adiciona nitrato de potasio para oxidar los minerales que contienen galena, ya que, no se calcina debido a su bajo punto de fusión. (Misari y Jiménez; 1990)

3.2.9.7 PLATA METÁLICA

La plata es un metal que siempre acompaña al oro, en mayor o menor proporción según la naturaleza del mineral. Se va a utilizar la plata metálica, pura y laminada, encuartando en el análisis cuantitativo del oro obteniendo finalmente una aleación de oro y plata en exceso para luego ser separados. (Misari y Jiménez; 1990)

3.2.9.8 COMPORTAMIENTO DEL FLUX

El comportamiento de los reactivos del flux se basa principalmente en el Sistema Ternario bórax, carbonato y sílice, ya que son los 3 principales componentes. El Diagrama presenta fases determinadas con estructuras cristalográficas definidas como el cuarzo, tridimita y cristobalita.

Este diagrama presenta varias isoterma a diferentes temperaturas los cuales indican puntos de fusión a determinadas composiciones ternarias. (Mendoza; 2016)

En el Figura 59 del Anexo se muestra el diagrama de fase para el fundente de Chala y el fundente propuesto.

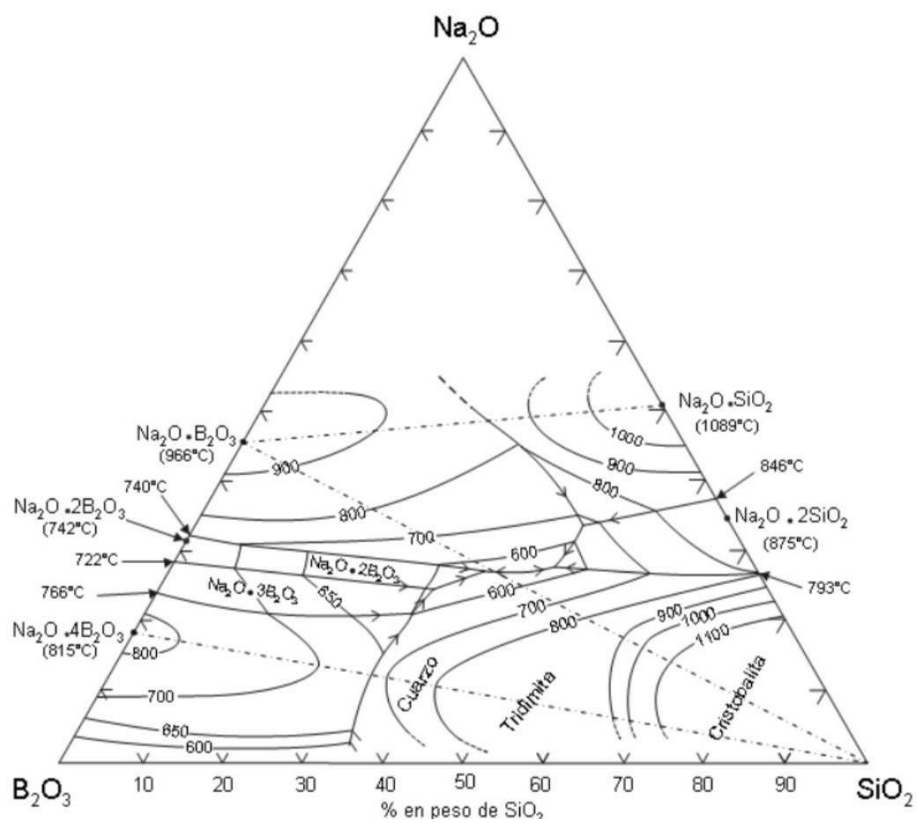


FIGURA N°1: Diagrama ternario de B₂O₃-Na₂O-SiO₂.

Fuente: Apaza Mendoza, Fundición de oro (2016).

3.2.10 ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO DEL ORO POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO.

3.2.10.1 CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

La ecuación es para calcular el oro por el método gravimétrico. Ver figura N°2.

$$\text{Au (g/t)} = (P1/P) \times 1000$$

FIGURA N°2: Ecuación para el cálculo del oro.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Au (g/t) = ley de oro de la muestra

P = peso de la muestra (g)

$P1$ = peso del botón de oro (mg)

3.3 MARCO CONCEPTUAL – GLOSARIO

Aleación: Producto homogéneo o la combinación de propiedades metálicas, que está compuesta por dos metales.

Botón de plomo: Plomo metálico reducido que contiene al metal precioso como oro, plata entre otros metales como el cobre y fierro que son resultados de la fase de fusión.

Crisoles de arcilla: Vasos de arcilla refractarios silico-aluminosos vírgenes con niveles despreciables de Au y Ag para ensayos al fuego donde se mezclan y se funden las muestras y el fundente.

Copelas de magnesita: Elaborado con magnesita (MgO) calcinadas en alta pureza, tamaño de grano adecuado y ligantes especiales que permiten una absorción óptima de Pb.

Copelación: Es un proceso de refinado en la metalurgia, donde los metales aleados son tratados a altas temperaturas para separar a los metales nobles, a partir del botón de plomo.

Diagrama ternario: Representa a 3 componentes principales, que presenta varias isotermas a diferentes temperaturas los cuales indica fases determinadas con estructuras cristalográficas definidas. El diagrama presenta puntos eutécticos y peritecticos.

Ensayos al fuego: Rama de análisis químico cuantitativo en el que se determinan metales en minerales y productos metalúrgicos con la ayuda de calor y reactivos secos.

Escoria: Es un compuesto fusible de óxido metálico, sílice u otros constituyentes ácidos.

Fundentes o flux: Una mezcla de reactivos que cuando se mezclan con la muestra y se fusionan, proporciona una separación de materiales; escoria, donde se juntan las impurezas y una fase que junta metales preciosos.

Fusión: Es la operación metalúrgica mediante la cual una muestra compuesta por diferentes especies metálicas se lleva al estado líquido por medio de altas temperaturas, formándose dos o más fases.

Fundición: Es una forma de metalurgia extractiva, que consiste en producir una fusión de la muestra usando fundentes para obtener fases líquidas como metal puro, escoria y otros elementos.

Gravimetría: Es un conjunto de técnicas de análisis en la que se mide la masa de un producto para determinar la masa de un analito presente en una muestra.

Oxidación: Las reacciones de oxidación en las impurezas son indispensables para formar la escoria y eliminar todas las impurezas volátiles.

Reducir: Mediante las reacciones de reducción dentro de la fundición, el litargirio y las impurezas metálicas se reducen a plomo metálico.

CAPÍTULO IV

HIPÓTESIS Y VARIABLES

4.1 HIPÓTESIS GENERAL

Con la composición de flux adecuado para una muestra sulfurada, se optimizará la fusión del mineral en el análisis por vía seca, obteniendo resultados confiables de las leyes finales de oro.

4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Los análisis de oro de un mineral sulfurado, trabajado bajo las mismas condiciones de operación dará análisis confiables con mayor exactitud y una óptima reproducibilidad.
2. Se encontró el flux adecuado para el mineral sulfurado, obteniendo resultados confiables y menor dispersión en las leyes.
3. Las leyes finales de oro serán respaldadas por un laboratorio acreditado, ayudando a minimizar los riesgos en los resultados defectuosos.

4.3 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

4.3.1 VARIABLES DEPENDIENTES

Son las que nos ayudan a describir los resultados de un proceso:

- **Ley final de oro.** - Nos muestra los g/TM final de oro obtenido en el análisis.

- **Tolerancia.** – Se define como la variación aceptable de un resultado obtenido.

4.3.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Son variables que no dependen de las otras variables. El proceso depende de:

- Peso del flux
- Peso del litargirio
- Peso del carbonato de sodio
- Peso de la sílice
- Peso del bórax
- Peso del régulo
- Temperatura
- Tiempo

TABLA N°3: Identificación de variables

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
Peso del flux	Ley final de oro
Peso del litargirio	Tolerancia
Peso del carbonato de sodio	
Peso de la sílice	
Peso del bórax	
Peso del régulo	
Temperatura	
Tiempo	

Fuente: Elaboración propia.

4.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

4.4.1 NÚMERO DE FUSIÓN AURÍFERA (NFAu)

De las pruebas experimentales desarrolladas en el laboratorio de Pirometalurgia de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, usamos la sistematización y operacionalización de las variables independientes para aplicar el teorema Pi de Buckingham, sintetizando y planteando el Número de Fusión Aurífera que se observa en la figura N° 3 y figura N° 4, para respaldar la composición del flux propuesto mediante el número de fusión aurífera y el número de flux por laboratorios, cumpliendo los estándares requeridos para el análisis de oro.

Número de Fusión Aurífera	=	Número de Balance de Masa	*	Número de Flux	*	Número Térmico	*	Número Estadístico
----------------------------------	----------	----------------------------------	----------	-----------------------	----------	-----------------------	----------	---------------------------

FIGURA N°3: Formula de la operacionalización.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Número de Balance de Masa} = \left(\frac{W_{\text{mineral}} * W_{\text{regulo}}}{(W_{\text{flux}})^3} \right)$$

$$\text{Número de Flux Au} = \left(\frac{\% W_c * (100)^2}{\% W_s * \% W_b * \% W_l} \right)$$

$$\text{Número Térmico} = \left(\frac{T - T_0}{T_{\infty} - T_0} \right)$$

$$\text{Número Estadístico} = T \text{ tolerancia}$$

$$NFAu = \left(\frac{Wm * Wr}{(W flux)^3} \right) * \left(\frac{\% Wc * (100)^2}{\% Ws * \% Wb * \% Wl} \right) * \left(\frac{T - T0}{T\infty - T0} \right) * T tolerancia$$

FIGURA N°4: Ecuación del número de fusión aurífera.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Wm: peso del mineral (g)

Wr: peso régulo (g)

W flux: peso del flux (g)

%Wc: porcentaje en peso de carbonato

%Ws: porcentaje en peso de sílice

%Wb: porcentaje en peso de bórax

%Wl: porcentaje en peso de litargirio

T tolerancia: tolerancia

T: temperatura de colada

To: temperatura ambiental

T∞: Temperatura de fusión

NFAu: número de fusión aurífera

El cálculo final para obtener el resultado de la Ley de oro por vía seca se observa en la figura N° 5.

$$\text{Ley de Oro } \left(\frac{g}{Tm} \right) = \left(\frac{\text{Peso de oro (mg)}}{\text{Peso de muestra g}} \right) * 1000$$

FIGURA N°5: Fórmula final de oro (g/Tm).

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 TOLERANCIA

El cálculo del límite de control superior y límite de control inferior se calcula de la siguiente manera. Ver figura N°6.

$$LC = \bar{x} \pm 3 * \frac{\bar{s}}{c_2 * \sqrt{n}}$$

FIGURA N°6: Formula de los límites de Control.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

LC: límite de control

LCS: límite de control superior

LCI: límite de control inferior

$\bar{X}$: promedio de la media muestral

S: promedio de la varianza muestral

C2: valor constante tabulado según el número de observaciones

n: número de observaciones

4.5 MATRIZ DE CONSISTENCIA

TABLA N°4: Desarrollo de la matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	JUSTIFICACION	HIPOTESIS	IDENTIFICACION DE VARIABLES	
Problema Principal	Objetivo General		Hipótesis General	Variables Dependientes	Variables Independientes
¿De qué manera podemos optimizar la fusión del mineral de oro en los sulfurados por determinación gravimétrica?	Optimizar la fusión del mineral en el análisis por vía seca para una muestra sulfurada, desarrollando una nueva composición del flux para tener leyes confiables de oro.	La presente investigación se realizará con el fin de reportar las leyes en el tiempo requerido de los análisis de oro, durante el proceso de análisis un punto crítico es la fusión debido que existe un solo fundente estándar.	Con la composición de flux adecuado para una muestra sulfurada, se optimizará la fusión del mineral en el análisis por vía seca, obteniendo resultados confiables de las leyes finales de oro.	ley final del oro , eficiencia y recuperación	Peso del flux , peso del litargirio, peso del carbonato de Na, peso de la sílice, peso del bórax, peso del regulo, temperatura, tiempo.
Problemas específicos	Objetivos Específicos		Hipótesis específicas	Variables Dependientes	Variables Independientes
1 . ¿Las leyes obtenidas como resultado del análisis no son confiables porque una misma muestra no presenta reproducibilidad?	Mejorar la dosificación en las muestras y fundentes para lograr una óptima homogenización del mineral y del flux.	En el proceso de análisis cuantitativo de oro se requiere un análisis confiable y la reproducibilidad de la determinación de la ley, por eso se modificará la composición del flux para una muestra representativa de un mineral sulfurado.	Los análisis de oro de un mineral sulfurado, trabajado bajo las mismas condiciones de operación dará análisis más confiables con mayor exactitud y una óptima reproducibilidad.	ley final del oro , eficiencia y recuperación	peso del flux , peso del litargirio, peso del carbonato, peso de la sílice, peso del bórax, peso del regulo.
2. ¿Trabajar con un solo tipo de flux para muestras oxidadas y sulfuradas está originando problemas en el proceso de fusión de los minerales sulfurados?	Encontrar el flux adecuado para el mineral sulfurado.	En el proceso de análisis de oro, los reensayos generan mayor consumo de flux y plomo particulado al manipular mayores cantidades de flux que el necesario, al igual que los crisoles usados, copelas usadas y escorias generadas por falta de optimizar la fusión del mineral.	Se encontró el flux adecuado para el mineral sulfurado, obteniendo resultados más confiables y menor dispersión en las leyes.	ley final del oro , eficiencia y recuperación	peso del flux , peso del litargirio, peso del carbonato, peso de la sílice, peso del bórax, peso del regulo.
3. ¿Existe la necesidad de evaluar el flux para una nueva composición y así evitar reensayos para que nuestros resultados sean confiables, lo cual origina una pérdida de tiempo, material y reactivos?	Respaldar los resultados obtenidos con los laboratorios que están acreditados con la sistematización y operacionalización de las variables usadas en el análisis.	Los reensayos generan costos adicionales en el proceso de análisis para la determinación del oro, tanto en consumo de energía, insumos, mano de obra calificada y gastos administrativos.	Las leyes finales de oro serán respaldadas por un laboratorio acreditado ayudando a minimizar los riegos en los resultados defectuosos.	ley final del oro , eficiencia y recuperación	Peso del flux , peso del litargirio, peso del carbonato, peso de la sílice, peso del bórax, peso del regulo.

Fuente: Elaboración propia.

4.6 MARCO LÓGICO

TABLA N°5: Matriz de marco lógico

MATRIZ DE MARCO LÓGICO			
RESUMEN NARRATIVO	INDICADORES	FUENTES DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Fin: Encontrar el flux adecuado para el mineral sulfurado.	El 100% de muestras son trabajadas con el mismo fundente para minerales sulfurados.	Se tiene una data de procedencia de las muestras.	Los clientes quedan satisfechos con sus resultados y tiempo de reporte.
Proposito: Mejorar la fusión del mineral en el ensayo al fuego.	El número de reensayos llega a un 70% de las muestras analizadas.	Se reensaya las muestras y reproduce el resultado.	No se tiene reensayos por temas de fusión
Componentes: 1. Programar ensayos con otro tipo de fundente. 2. Capacitar al personal para mejorar la fusión. 3. Retroalimentación en el ensayo al fuego.	1. Existe mucha rotación del personal. 2. Se tiene muestras de distintos yacimientos de Arequipa.	1. Se tiene los registros de capacitación del personal. 2. Se tiene documentado los análisis realizados	Se mejoró la fusión en base a la nueva formulación de fundente para cada tipo de muestras.
Actividades: 1. Retroalimentación al personal para el análisis de oro. 2. Capacitar en la preparación del fundente propuesto. 3. Planificación anual y programación de actividades en el análisis de plata y oro.	Los gastos de la investigación lo asume la empresa.	1. Contratar a una empresa para capacitar al personal. 2. Coordinar con el proveedor de reactivos para conocer su uso.	La jefatura del laboratorio brinda charlas de capacitación y en el análisis y reactivos a usar.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA

5.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La metodología que usa la tesis se fundamenta en la parte experimental, basado en los ensayos diarios del laboratorio, en la parte experimental y el conocimiento para el análisis y preparación del flux, así también como la preparación mecánica del mineral, fundición, copelación y pesado final del botón de oro. Estos procesos casi estandarizados son aplicados para solucionar los problemas en la confiabilidad de los resultados.

El estudio que se desarrolla es cuantitativo y lógico deductivo, puesto que se efectuó la manipulación, análisis y comprensión de las variables que intervienen en el proceso del análisis del oro basándonos en las teorías que describe Fidel S. Misari en su libro Metalurgia del Oro.

El diseño que mejor se adapta a nuestra investigación se observa en la figura N°7.

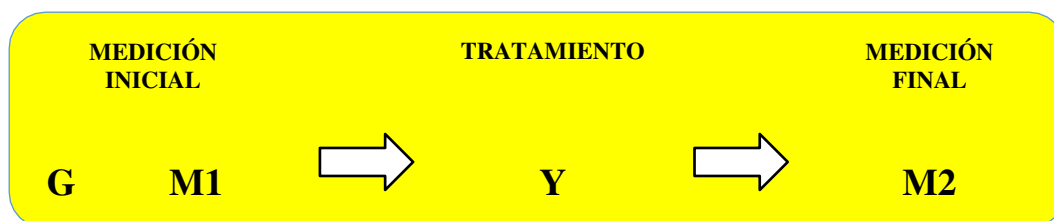


FIGURA N°7: Diseño de investigación.

Fuente: Arias Odón, Fidias Gerardo, (2011). Metodología de la investigación en las ciencias aplicadas: un enfoque cuantitativo.

- G:* Mineral sulfurado.
- M₁:* Procesos convencionales de fusión que proporcionan leyes finales dispersas en el análisis de oro de minerales sulfurados.
- Y:* Usar métodos prácticos estandarizados aplicando el flux propuesto para el mineral sulfurado.
- M₂:* Optimización la fusión del mineral mediante los resultados de las leyes finales de oro.

5.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis procede del distrito de Chala, provincia de Caravelí del departamento de Arequipa, donde se reunió la información necesaria que se utiliza para la presente tesis de investigación de un mineral sulfurado, que por sus características mineralógicas la clasificaremos como minerales ferríticos.

5.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio que utilizamos para nuestra recopilación de datos es un mineral de cabeza sulfurado, procedente de la corteza terrestre del distrito de Chala, Arequipa.

Los estudios para el informe, ensayos y pruebas metalúrgicas se realizaron en un laboratorio metalúrgico de una planta minera de Chala y en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UNMSM.

5.4 TAMAÑO DE MUESTRA

Para la tesis el tamaño de muestra que se utilizó para realizar los análisis correspondientes fue de 10 kg del mineral.

5.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN

Logramos obtener una muestra representativa de 10 kg. trasladándolo a una chancadora primaria donde es reducido a granulometría de 100% -1/4", allí es homogenizado y seguidamente cuarteado obteniendo 7 kg. aproximadamente.

El método de cuarteo del mineral fue por conos, operación manual empleado después del muestreo para ir disminuyendo la cantidad de muestra y a la vez pueda ser representativa.

Seguimos reduciendo el tamaño en una chancadora secundaria hasta obtener 100% - 10M. Para proceder con el análisis de oro tomamos 200 gramos de muestra ya pulverizada y homogenizada anteriormente, para ser pasado por malla N°150 la cual al ser tamizadas da como resultado porciones gruesas y finas.

5.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN

5.6.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA DE ESTUDIO

5.6.1.1 MINERALOGÍA DEL MINERAL SULFURADO

Un análisis mineralógico nos brinda información de los tipos de minerales que se presentan en la muestra de estudio, identificando su respectiva fórmula química la cual se observa en la tabla N° 6.

TABLA N°6: Minerales de la muestra

MINERALES	FORMULA	ABREVIATURAS
Pirita	FeS ₂	Py
Calcopirita	CuFeS ₂	Cp
Esfalerita	SZn	Ef
Goetita	FeO.OH	Gt
Galena	PbS	Gn
Arsenopirita	AsFeS ₂	Apy
Boulangerita	Pb ₅ Sb ₄ S ₁₁	Boul
Enargita	Cu ₃ AsS ₄	En
Covelita	CuS	Cv
Oro	Au	Au
Tenantita	Cu ₃ AsS _{3,25}	tn
Bournonita	PbCuSbS ₃	Bnn
Rutilo	TiO ₂	Rt
Gangas	-	GGs

Fuente: Gagliuffi Espinoza, Pedro M. (2015)

- **Minerales Auríferos**

Se observa oro en fractura de pirita aproximadamente de cinco micras, y a la vez se ha encontrado oro encapsulado en la arsenopirita de un tamaño de dos micras.

- **Minerales Argentíferos**

No se observa minerales de plata.

- **Minerales de Ferríferos**

Encontramos a la pirita, la goetita y la arsenopirita.

- **Minerales Cupríferos**

Hallamos calcopirita, tenantita, enargita y la covelita.

- **Minerales Zincíferos**

Está la esfalerita.

- **Minerales Plumbíferos**

Observamos galena, la bournonita y la boulangerita.

- **Otros Minerales**

En este grupo se encuentran las gangas (silicatos y carbonatos).

5.6.1.2 DISTRIBUCIÓN VOLUMÉTRICA

La distribución volumétrica realizada en esta muestra se ha hecho sobre la base de los minerales que han intervenido en el análisis modal y se puede observar en la tabla N° 7.

TABLA N°7: Distribución volumétrica

MINERALES	VOLUMEN PORCENTUAL
Pirita	45.30
Calcopirita	1.90
Esfalerita	8.90
Goetita	0.20
Galena	3.69
Arsenopirita	13.12
Boulangerita	1.15
Enargita	0.12
Covelita	0.06
Oro	0.00
Tenantita	0.95
Gangas	25.48

Fuente: Gagliuffi Espinoza, Pedro M. (2015)

5.6.1.3 GRADOS DE LIBERACIÓN

El grado de liberación nos va a mostrar el porcentaje o la separación del mineral de estudio en forma libre o mixta que se presenta en la etapa de molienda, estas son indicadas en la tabla N° 8.

TABLA N°8: Grado de liberación del mineral de estudio

MINERALES	GRADO DE LIBERACION %
Pirita	95.06
Calcopirita	84.21
Esfalerita	79.28
Goetita	100.00
Galena	71.20
Arsenopirita	93.90
Boulangerita	76.90
Enargita	0.00
Covelita	0.00
Oro	0.00
Tenantita	85.10
Gangas	97.50

Fuente: Gagliuffi Espinoza, Pedro M. (2015).

5.6.1.4 MICROGRAFIAS

En la figura N° 8 se observa las micrografías del mineral de estudio en forma libre o mixta.

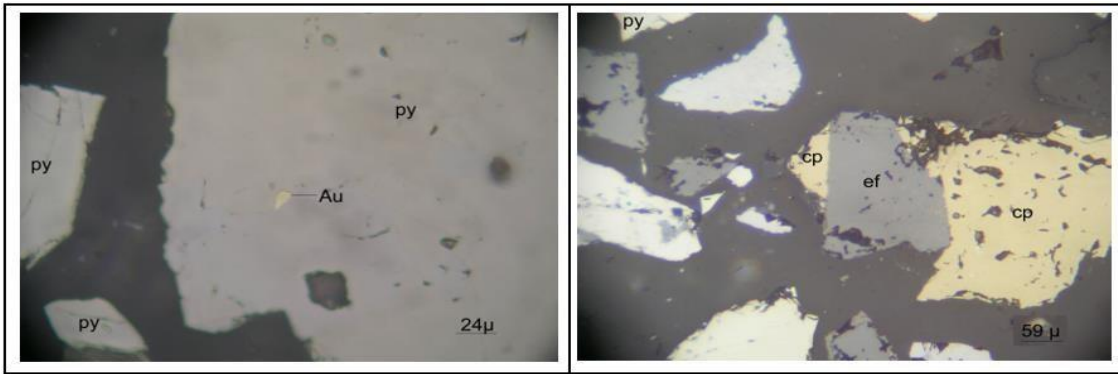


Figura N° 8a. Partículas libres de pirita(py), partículas entrelazadas de pirita (py) y oro (Au)
Magnificación: 200X

Figura N° 8b. Partículas libres de pirita(py), esfalerita (ef) y partículas entrelazadas de calcopirita (cp) y esfalerita (ef)
Magnificación: 200X

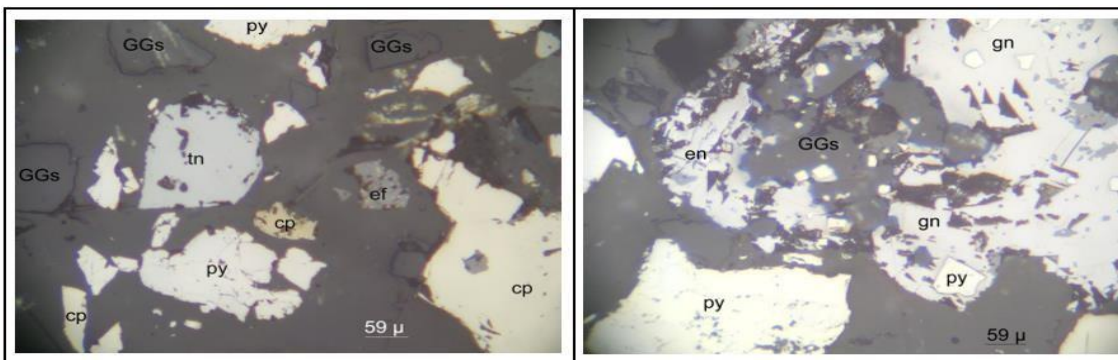


Figura N° 8c. Partículas libres de pirita(py), calcopirita (cp) (GGs) y tenorita (t) entrelazadas d

Figura N° 8d. Partículas libres de pirita(py), partículas entrelazadas de galena (gn), enargita (en), ganga y pirita (py)
Magnificación: 200X

FIGURA N°8 (8a, 8b, 8c, 8d): Fotos micrográficas de las partículas libres del mineral sulfurado.

Fuente: Gagliuffi Espinoza, Pedro M. (2015)

5.7 DIAGRAMA DE FLUJO

El área de laboratorio químico metalúrgico en la planta de distrito de Chala, provincia de Caraveli - Arequipa, está dividido en 3 secciones: preparación de muestras, pruebas metalúrgicas y análisis químico. El diagrama de flujo de la figura N°9 nos muestra las etapas a seguir para el análisis de oro.

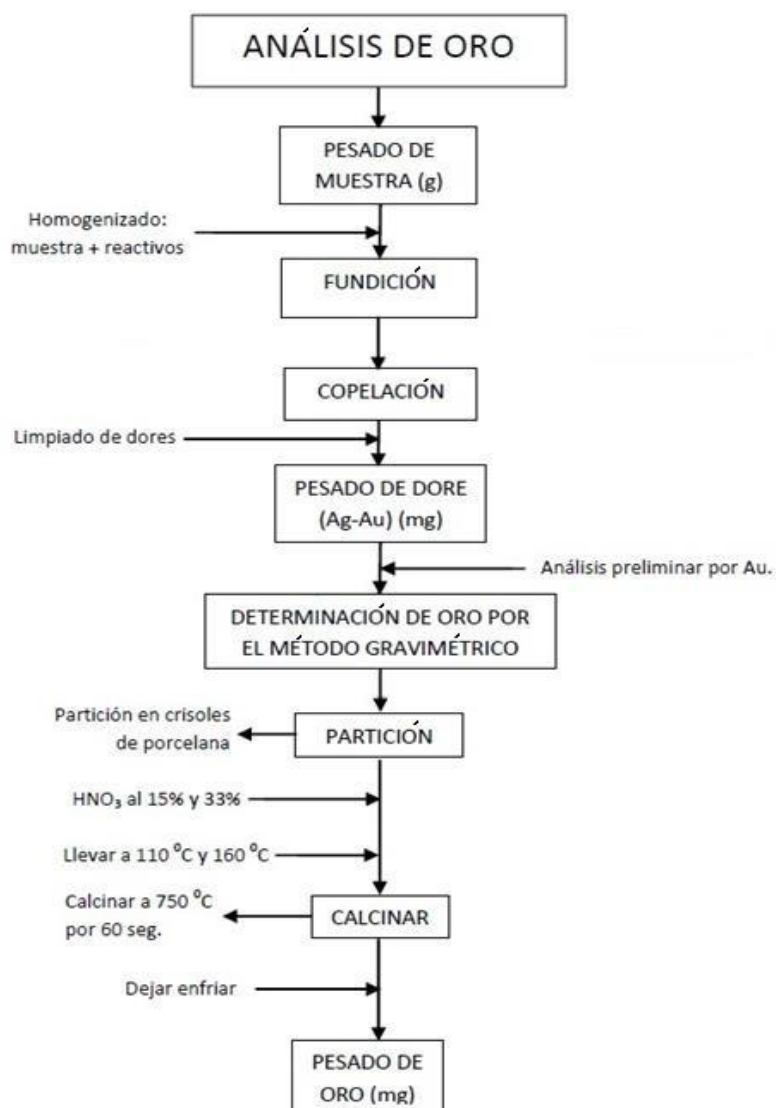


FIGURA N°9: Diagrama de flujo de una empresa estándar.

Fuente: Elaboración propia.

5.7.1. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO AL FUEGO

Se deberá mantener la limpieza y el orden en toda el área de muestreo para evitar posibles contaminaciones o cruce de muestras. Cuando las muestras lleguen al área de preparación mecánica serán recepcionadas por el jefe de área o supervisor encargado, estos deberán ser verificadas minuciosamente y harán la comparación respectiva del requerimiento con la etiqueta de la muestra, caso exista error deberá corregirse previa consulta con el encargado de recepción y oficina para así poder seguir el procedimiento. La preparación de muestras dependerá mucho del tipo de muestra que pudiera llegar.

5.7.1.1 ROCAS

Si la muestra se encontrara en rocas, se procede a la operación de chancado primario con una chancadora de mandíbulas (previamente esta debe estar completamente limpia), para reducir su tamaño a $\frac{1}{4}$ " (6mm).



FIGURA N°10: Muestras de mineral en rocas.

Fuente: Elaboración propia.

- a)* El mineral ya chancado es homogenizado por el método de coneo y roleo en una manta, para luego pasar a cuartear con la cruceta respectiva hasta obtener una muestra representativa dependiendo del tipo de análisis que se pida, por ejemplo:



(a.1)



(a.2)



(a.3)



(a.4)

FIGURA N°11 (a.1; a.2; a.3; a.4): Procedimiento de cuarteo por coneo.

Fuente: Elaboración propia.

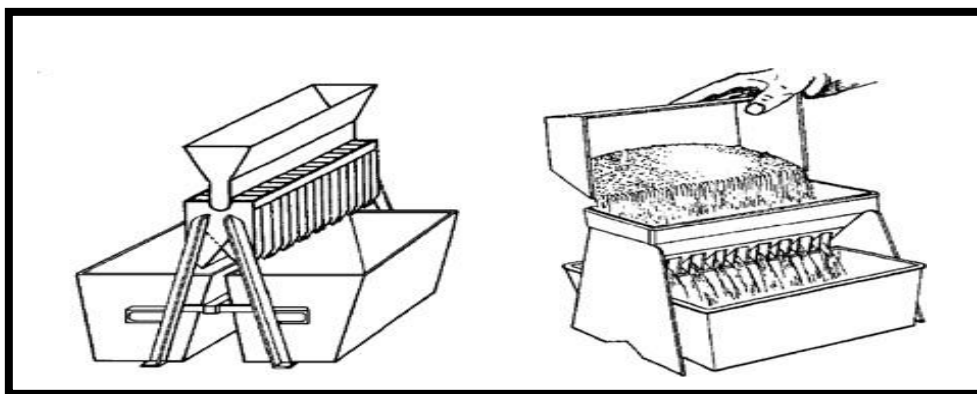
- b)* Para calcular el porcentaje de humedad se usaba el cuarteador Jone de una muestra representativa de 5Kg hasta obtener 100g mediante cuarteo sucesivo.



(b.1)



(b.2)



(b.3)

FIGURA N°12 (b.1; b.2; b.3): Procedimiento de cuarteo con Jones.

Fuente: Elaboración propia.

- c) La muestra representativa para el análisis de oro se coloca en una bandeja codificada y es llevada a la estufa para su secado, el secado dependerá de la humedad del mineral. Posteriormente se dejará enfriar para su pulverizado.



FIGURA N°13: Muestra representativa del mineral sulfurado.

Fuente: Elaboración propia.

- d) El tiempo de pulverizado depende del tipo y la dureza del mineral, se pulverizará a una granulometría de 95% -150M, en la tabla N° 9 se observa los tiempos de pulverizado dependiendo si es oxidado o sulfurado.

TABLA N°9: Cuadro de pulverizado.

MALLA	TIEMPO APROXIMADO (minutos)	
	ÓXIDO	SULFURO
95%-150M	1 a 2.5	2.5 a 3

Fuente: Elaboración propia.

5.7.2 DETERMINACION DE PORCENTAJE DE HUMEDAD

Es importante determinar el porcentaje de humedad de los minerales de oro, para su respectiva comercialización, por lo que se necesita determinar la TMS, teniendo en cuenta que una pequeña variación de resultados representa pérdidas para la empresa.

- a) Una vez obtenido el mineral y codificado en su respectiva bandeja se procede con la tara de la bandeja que se utilizará (W_t). El peso tara se conoce como peso de la bandeja vacía.
- b) La bandeja previamente codificada se le agrega la muestra roleada y tomada de diferentes partes para su mejor análisis, se vuelve a pesar con la muestra, y este peso se le conoce como peso húmedo (W_h).
- c) Tomamos 100 gr. de muestras en su respectiva bandeja y codificada llevamos a la estufa con la finalidad de que la muestra húmeda seque lentamente y parejo, lo dejamos por un tiempo de 60 min a una temperatura 105°C . Pasado el tiempo determinado se retira la bandeja y se procede al pesado, esta muestra se conoce como peso seco (W_s).
- d) La Fórmula para hallar el %de Humedad se observa en la figura N° 14.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{W_h - W_s}{W_h - W_t} * 100$$

FIGURA N°14: Porcentaje de humedad.

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

W_h = peso húmedo

W_s = peso seco

W_t = peso de la tara

5.7.3 ÁREA DE VÍA SECA (MÉTODO FIRE ASSAY)

5.7.3.1 PROCEDIMIENTO

Antes de iniciar siempre mantener el área limpio y ordenado para que no haya contaminación ni errores.

5.7.3.1.1 Codificación de muestras:

- Una vez que las muestras ya estén preparadas, se pasa a verificar que estén correctamente codificados de acuerdo al requerimiento, luego se transcriben al cuaderno de reportes especificando el tipo de análisis que requiere el cliente.
- Alistar los crisoles enumerándolos correlativamente de acuerdo a la cantidad de ensayos a realizar.
- Mezclamos y homogenizamos el flux de acuerdo a las cantidades establecidas. Ordenamos y enumeramos los crisoles adicionando 150 gr de flux aprox.



(a)



(b)

FIGURA 15 (a; b): Homogenización del flux.

Fuente: Elaboración propia.



(c)



(d)

FIGURA 16 (c; d): Adición del flux y enumerado de los crisoles.

Fuente: Elaboración propia.

5.7.3.1.2 Pesado y dosificación de muestras:

- Análisis de Newmoth: se prepara 3 crisoles y a cada uno se le agrega 150g de flux, se adiciona al primer crisol el mineral de cabeza (100% +150M) y a los 2 restantes 20g de mineral de cabeza (100% -150M).
- Se dosifica la muestra adicionando nitrato de potasio de acuerdo al tipo de mineral sulfurado (la cantidad depende de la mineralogía propia del mineral, por la presencia de pirita y otros complejos).
- Se pesa láminas de plata en caso sea el análisis por plata, o de lo contrario se adiciona gotas de nitrato de plata en solución mayormente a los gruesos.
- Se adiciona una capa de bórax, cubriendo la muestra.



(e)



(f)

FIGURA N°17 (e; f): Cuarteo por hoyos del mineral homogenizado.

Fuente: Elaboración propia.



(g)



(h)

FIGURA N°18 (g; h): Pesado de gruesos y finos por el método Newmont.

Fuente: Elaboración propia.



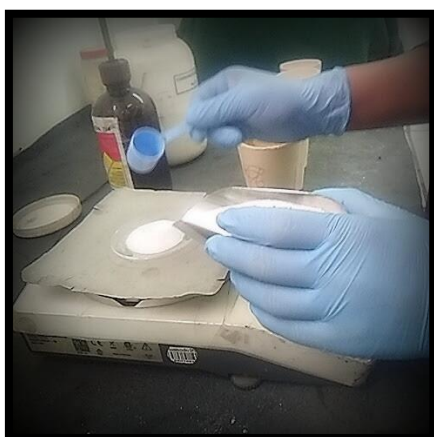
(i)



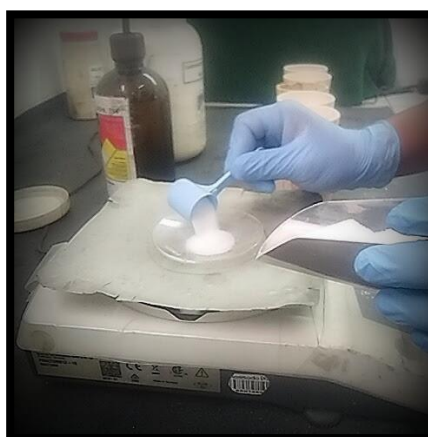
(j)

FIGURA N°19 (i; j): Adición del mineral según el método Newmont.

Fuente: Elaboración propia.



(k)



(l)

FIGURA N°20 (k; l): Pesado y dosificación del nitrato de potasio.

Fuente: Elaboración propia.

5.7.3.1.3 Fundición:

- Una vez esté listo todos los crisoles lo trasladamos al horno (en cada horno se trabaja con 20 y 24 crisoles)
- La temperatura se divide en tres fases: 860C° por un lapso de 20 minutos, 960 °C por un tiempo de 20 min y por último 1080°C por un tiempo de 30 min.
- Durante este lapso de tiempo los metales oro y plata van hacer colectados por el óxido de plomo formándose el regulo, Pb. los demás metales que estén asociados al tipo de mineral pasan a formar la escoria.
- Terminado la fundición, pasamos al colado retiramos los crisoles del horno, se vierte el contenido en las lingoteras cónicas que son limpiadas y calentadas previamente. Esperar que enfríe 2 min para romper la escoria con el martillo y extraer el regulo de plomo de la lingotera.

- Limpiar el régulo con el martillo dándole forma de un cuadrado geométrico y lo llevamos a su tablero de acuerdo a su respectivo número de crisol que se ha fundido.



(a)



(b)

FIGURA N°21 (a; b): Colada en las lingoteras.

Fuente: Elaboración propia.



(c)



(d)

FIGURA N°22 (c; d): Chancado de régulos.

Fuente: Elaboración propia.



(e)



(f)

FIGURA N°23 (e; f): Pesado del régulo.

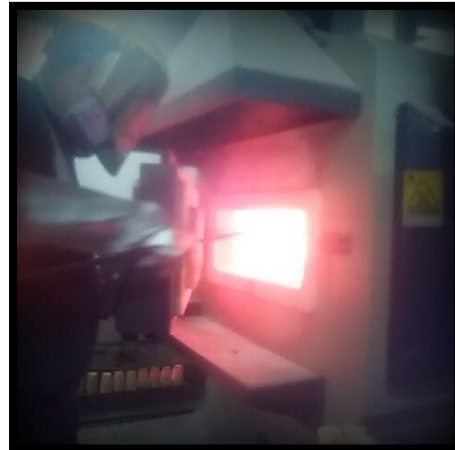
Fuente: Elaboración propia.

5.7.3.1.4 Copelación:

- Se limpian y enumeran las copelas en forma correlativa de acuerdo a la enumeración de los crisoles, antes de cada copelación se introducen al horno aproximadamente 20 minutos (para eliminar el % de humedad).
- Ya que las copelas tienen como finalidad de absorber el Pb. y todas las impurezas en un 98%, el resto se volatiliza.
- La temperatura de copelación es de 950C° a 960°C por un tiempo aproximado de 45 min. a 1 hora.
- Cuando ha terminado la copelación se observa un botón brillante (Au, Ag) en la superficie de la copela, sacamos las copelas del horno dejamos enfriar y verificamos que estén ordenados correlativamente.
- El botón obtenido se procede a laminar con la ayuda de un martillo con fin de laminarlo para un mejor contacto de temperatura y ataque uniforme.



(a)



(b)

FIGURA N°24 (a; b): Colocar el régulo en las copelas.

Fuente: Elaboración propia.



(c)



(d)

FIGURA N°25 (c; d): Retiro de copelas del horno de copelación.

Fuente: Elaboración propia.



(e)



(f)

FIGURA N°26 (e; f): Enfriado de las copelas.

Fuente: Elaboración propia.

5.7.3.1.5 Partición o ataque químico:

- Se limpia los crisolitos de porcelana y se ordenan de acuerdo a sus números correlativamente.
- Colocar el botón obtenido en su respectivo crisolito de porcelana.
- Si se requiere el análisis de plata primero se pesa para poder descontar el valor de Au. y se procede atacar.
- Adicionamos a cada crisolito 5ml de ácido nítrico al 15%, lo llevamos a la plancha que está a una temperatura controlada de 140 °C por 15 a 20 min. aproximadamente para disolver la plata del botón, mientras va reaccionando este cambia de plateado a marrón.
- Una vez que deje de reaccionar el botón se agrega unas gotas de ácido nítrico concentrado para asegurar el ataque por completo del dore.
- Decantar la solución rica de nitrato de plata (AgNO_3) y lavar 3 a 4 veces con agua destilada.
- Secar cuidadosamente el crisol llevando a la plancha de secado, luego se calcina 2 a 3 min aprox. Se observa un botón amarillo pálido de oro.
- Se deja enfriar el crisolito, pesar el botón de oro en micro balanza y calcular las leyes para cada muestra.
- Luego se pasa a reportar las leyes de cada muestra a las oficinas indicadas ya sea Chala, Abancay o Nazca.



FIGURA N°27: Pesado final de los botones oro.

Fuente: Elaboración propia.



FIGURA N°28: Resultado final de las leyes de oro.

Fuente: Elaboración propia.

5.8 ANÁLISIS CUANTITATIVO CON DETERMINACIÓN GRAVIMÉTRICA DEL ORO.

5.8.1 DIAGNÓSTICO

En el laboratorio ubicado en Arequipa provincia de Caravelí, distrito de Chala preparan el flux habitual para el análisis de oro con el siguiente porcentaje en peso que se observa en la tabla N° 10, usando 150g de flux en sus análisis diarios.

TABLA N°10: Porcentaje del flux del laboratorio de Chala.

COMPOSICIÓN DEL FLUX USADO EN EL LABORATORIO DE CHALA	
Reactivos	Porcentaje (%)
Litargirio	68.80
Carbonato	20.00
Sílice	8.00
Bórax	3.20

Fuente: Elaboración propia.

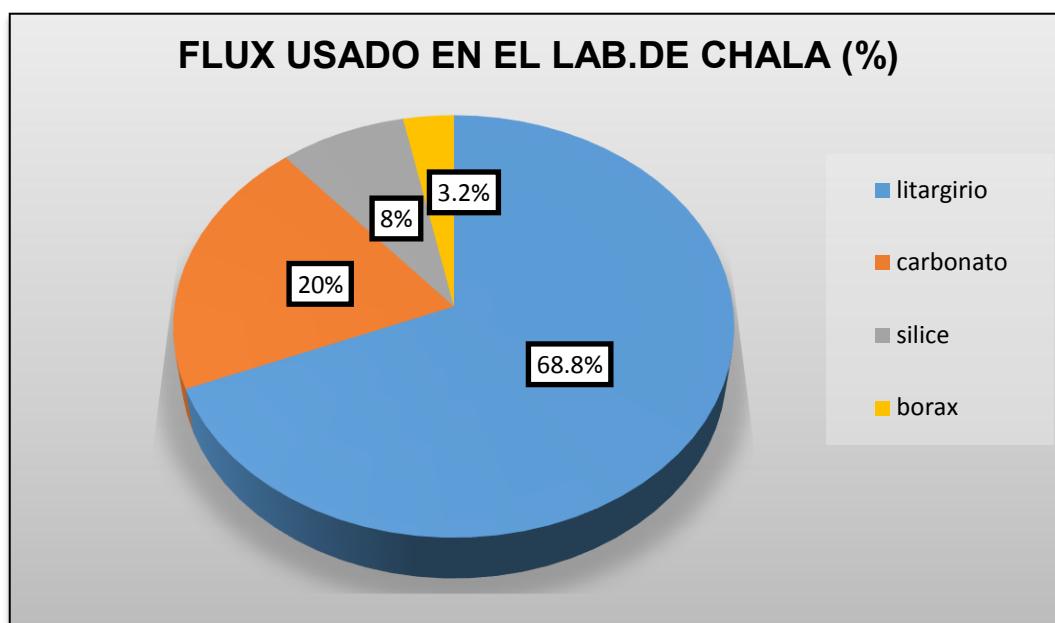


FIGURA N°29: Composición del flux usado en el laboratorio de Chala.

Fuente: Elaboración propia.

En el laboratorio de Chala se aplica el análisis de oro por el método Newmot, una vez realizado todo el procedimiento de análisis, obtenemos como resultado final el reporte de leyes, que son el pesado de los botones finales, estos son realizados en áreas restringidas y acondicionadas adecuadamente.

Luego de 20 corridas de nuestro mineral de investigación se obtienen las siguientes leyes (gr/ton) que se muestra en la tabla N° 11. Observamos que el análisis de oro presenta dispersión en sus leyes finales, dando la certeza de que no hay confiabilidad en el análisis de oro.

TABLA N°11: Leyes (gr/ton) del laboratorio de Chala.

Ítem	Ley (gr/ton)
1	4.257
2	3.556
3	7.567
4	6.454
5	8.034
6	8.789
7	4-569
8	5.065
9	6.560
10	9.000
11	6.000
12	7.987
13	5.989
14	4.783
15	5.989
16	4.876
17	8.933
18	5.876
19	7.543
20	4.811

Fuente: Elaboración propia.

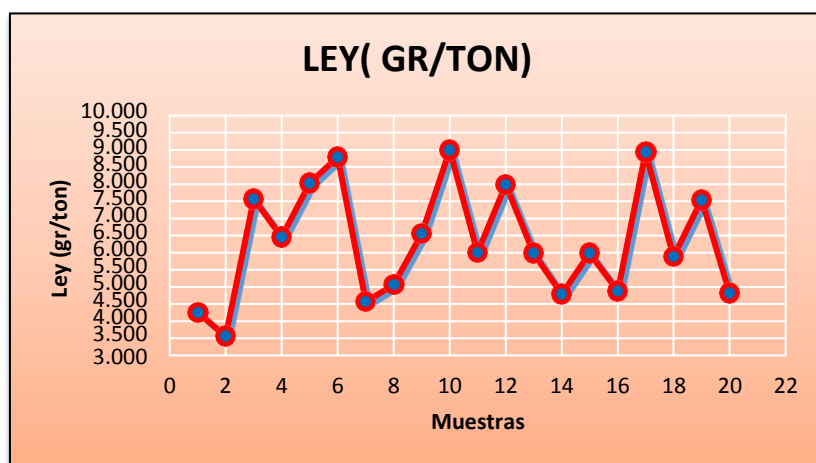


FIGURA N°30: Dispersión de las leyes finales de oro.

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis del mineral sulfurado se observa en la figura N° 30 que la ley final obtenida no es representativa o confiable para el proveedor por la dispersión obtenida.

Investigando la minería en las plantas procesadoras del distrito de Chala-Arequipa, hallamos laboratorios que usan distintos porcentajes de composición del flux para los minerales sulfurados.

TABLA N°12: Porcentaje del Flux en diferentes laboratorios de Chala.

REACTIVO	% COMPOSICION					
LITARGIRIO	68,80	55,00	55,00	62,00	65,50	55,80
Na ₂ CO ₃	20,00	25,00	25,00	15,00	23,50	27,90
BÓRAX	8,00	15,00	15,00	10,00	3,50	14,00
SÍLICE	3,20	5,00	5,00	13,00	7,50	2,30
TOTALES	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
LABORATORIO	LAB N° 1	LAB N° 2	LAB N° 3	LAB N° 4	LAB N° 5	LAB N° 6

Fuente: Elaboración propia.

Se propuso el porcentaje de flux para el análisis de oro en minerales sulfurados, tomando como referencia los porcentajes de la composición de flux usados en los distintos laboratorios del distrito de Chala para minerales sulfurados y después de varios ensayos llegamos a la siguiente composición de flux descrita en la tabla N°13.

TABLA N°13: Flux usado en el laboratorio de la UNMSM.

COMPOSICIÓN DEL FLUX PROPUESTO	
Reactivos	Porcentaje (%)
Litargirio	54.5
Carbonato	25.5
Sílice	15
Bórax	5

Fuente: Elaboración propia.

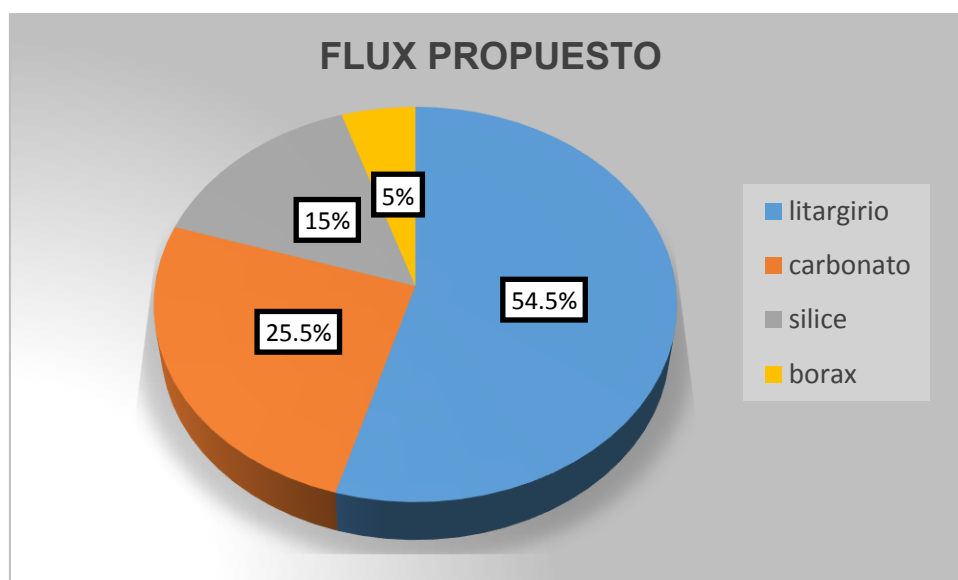


FIGURA N°31: Composición del flux propuesto.

[Fuente: Elaboración propia.]

Respaldamos la nueva composición de flux propuesto, usando la sistematización y operacionalización de las variables dependientes mediante el teorema de Pi Buckingham como observamos en las figuras N°32, figura N°33, figura N°34, figura N°35 donde se relaciona el número de fusión aurífera con los cuatro reactivos, encontrándose dentro de los parámetros estándares el número de flux por empresa y el número de fusión aurífera vs empresa como se observa en la figura N°36 y figura N°37 respectivamente.

Observamos que el porcentaje de sílice es inversamente proporcional al número de fusión aurífera como se observa en la figura N° 32.

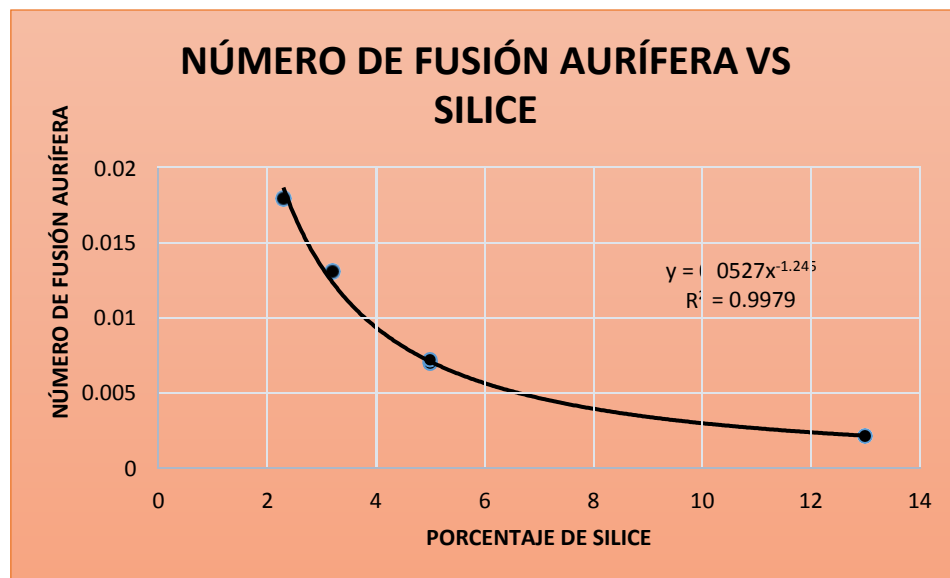


FIGURA N°32: Porcentaje de sílice vs el número de fusión aurífera.

Fuente: Elaboración propia.

Observamos que el porcentaje de bórax es inversamente proporcional al número de fusión aurífera como se observa en la figura N° 33.

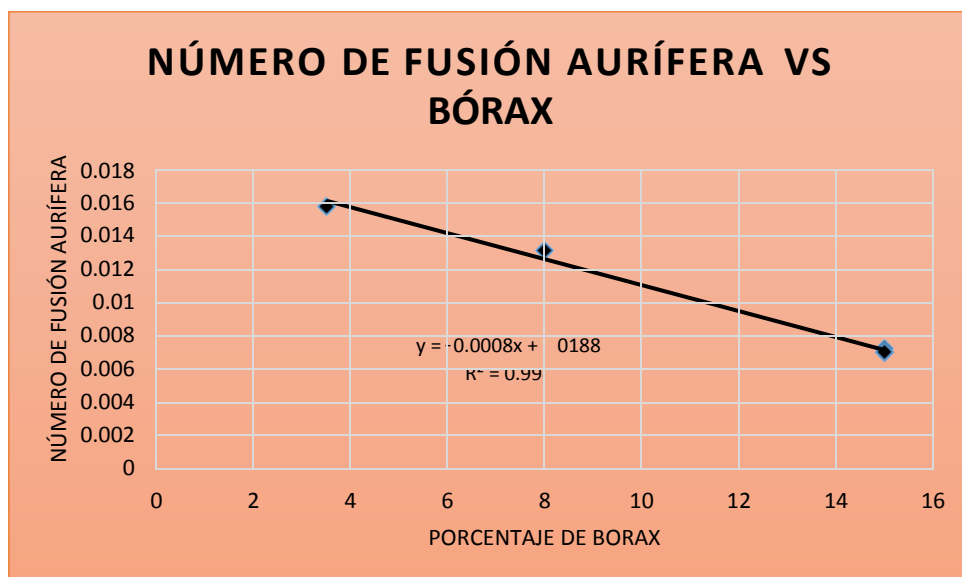


FIGURA N°33: Porcentaje de bórax vs el número de fusión aurífera.

Fuente: Elaboración propia.

Observamos que el porcentaje de carbonato es directamente proporcional al número de fusión aurífera como se observa en la figura N° 34.

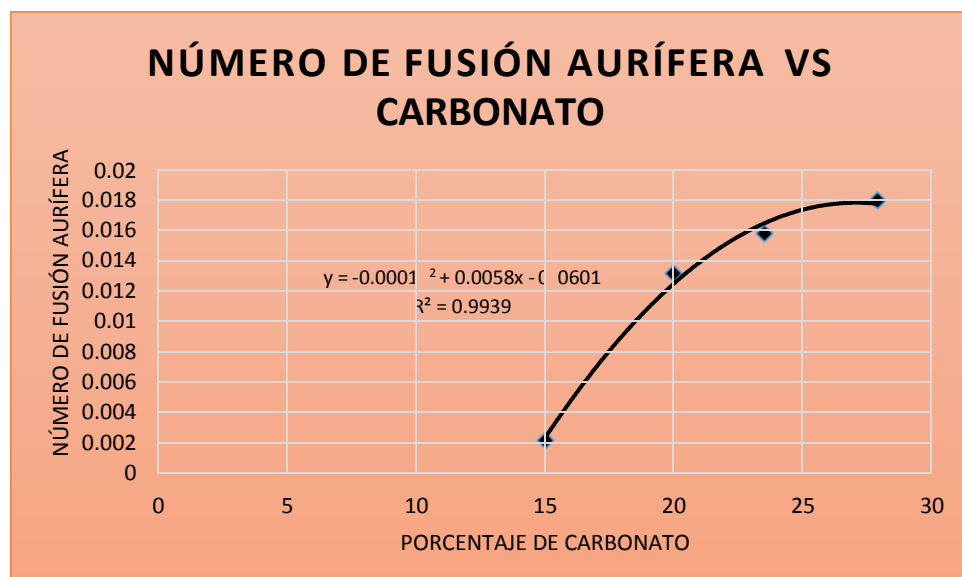


FIGURA N°34: Porcentaje de carbonato vs el número de fusión aurífera.

Fuente: Elaboración propia.

Observamos que el porcentaje de litargirio es inversamente proporcional al número de fusión aurífera como se observa en la figura N° 34.

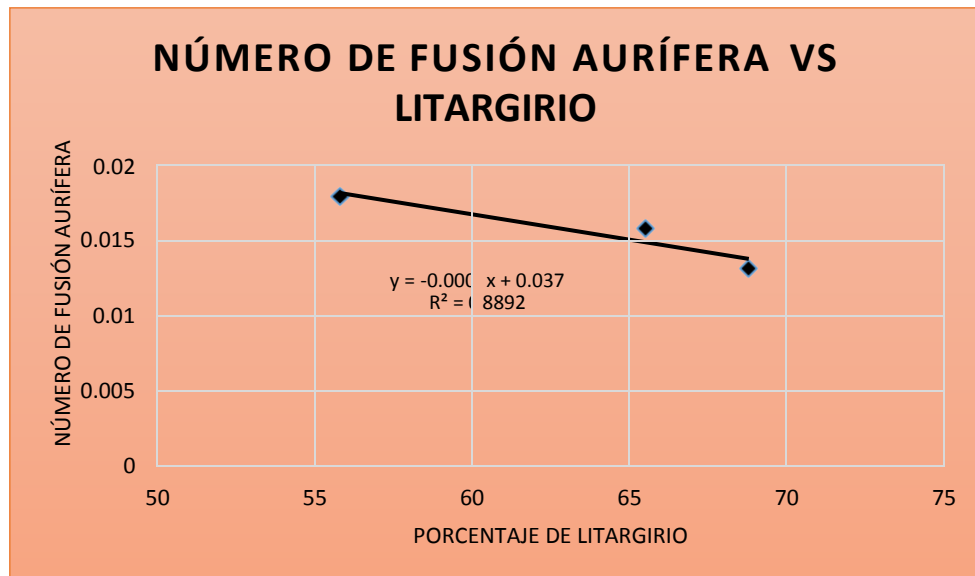


FIGURA N°35: Porcentaje de litargirio vs el número de fusión aurífera.

Fuente: Elaboración propia.

El número de flux y el número de fusión aurífera como se halla en la figura N° 3 y figura N°4, nos da como resultado las figuras N° 36 y figuras N° 37 respectivamente, donde la composición del flux propuesto se encuentra dentro de los parámetros estándar.

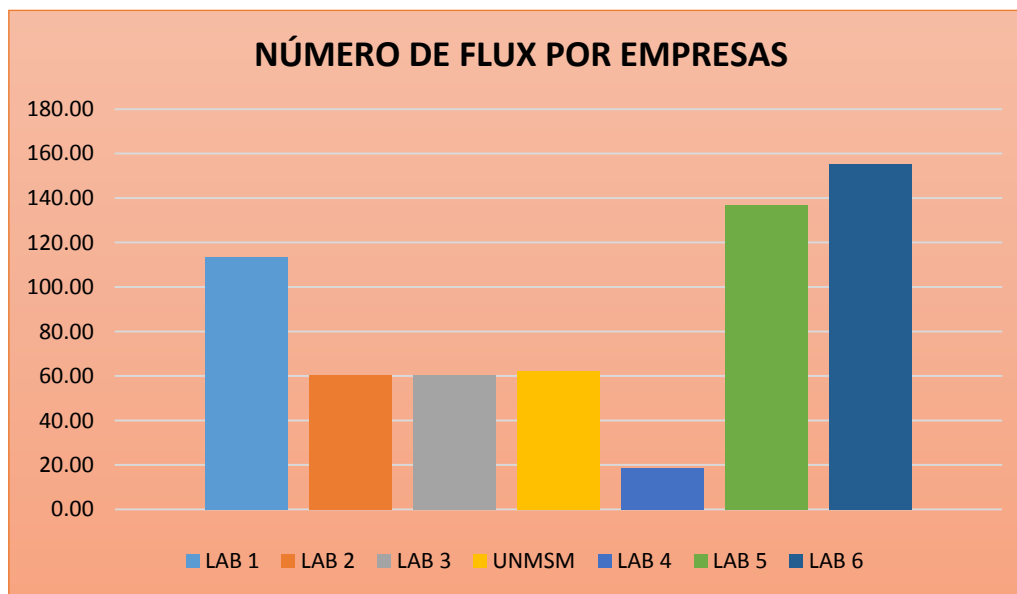


FIGURA N°36: Diferencia del número de flux por empresa.

Fuente: Elaboración propia.

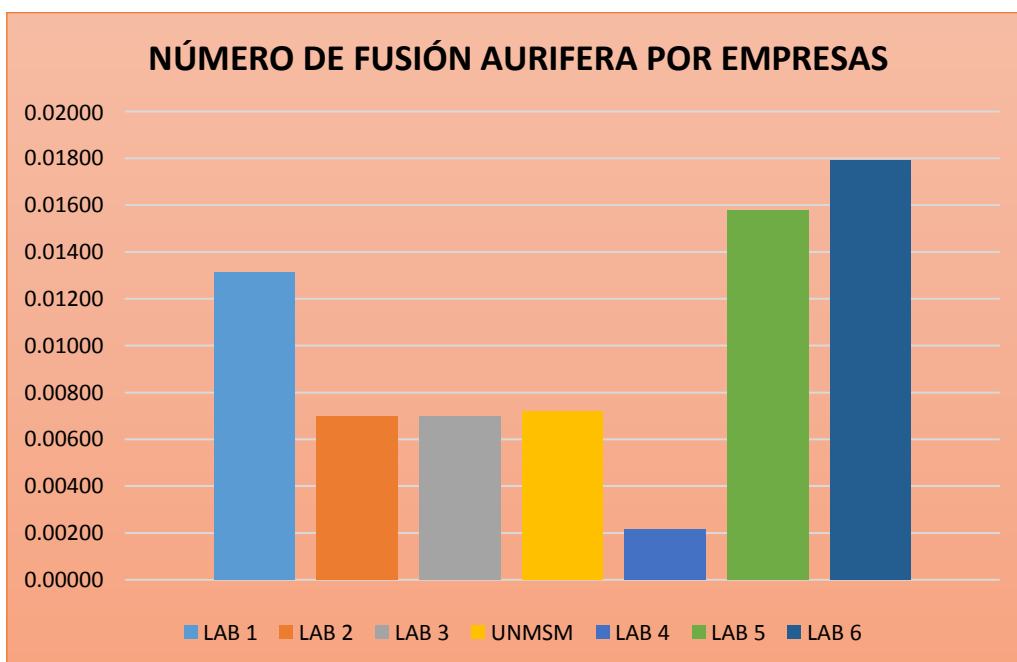


FIGURA N°37: Diferencia del número de fusión aurífera por empresas.

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el permiso para usar el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UNMSM, procedemos a realizar el análisis de oro del mineral de estudio usando la composición del flux propuesto, dándonos como resultados en la Tabla N° 14.

TABLA N°14: Resultados de las leyes de oro con la composición de flux propuesto

Ítem	Ley (gr/ton)
1	5.832
2	5.726
3	5.833
4	5.862
5	5.758
6	5.756
7	5.895
8	6.025
9	5.956
10	6.055
11	6.090
12	6.222
13	5.509
14	5.074
15	5.948
16	5.062
17	5.056
18	6.028
19	5.825
20	5.756

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar nuestro mineral de estudio en las instalaciones del laboratorio obtenemos las nuevas leyes de oro, en la tabla N° 14 se observa datos con mayor exactitud, brindando confiabilidad en nuestro resultado debido a la linealidad que se muestra en la figura N° 38.

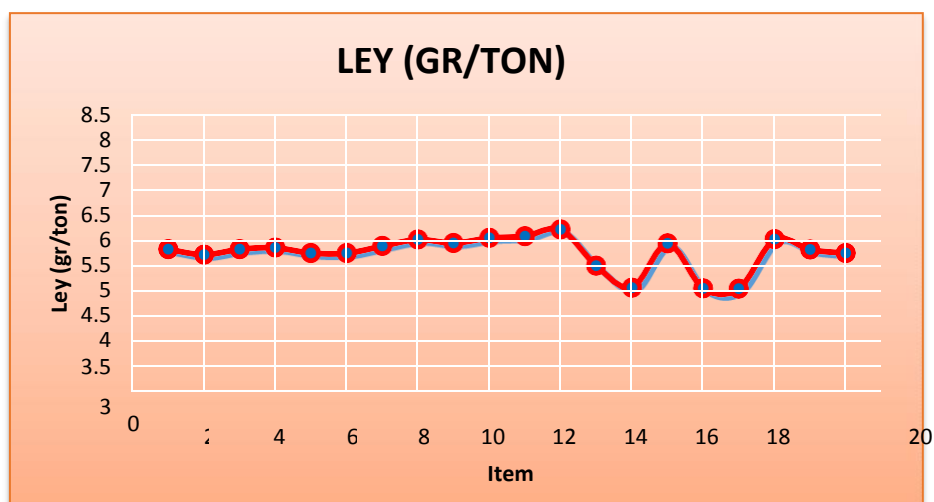


FIGURA N°38: Linealidad en las leyes finales de oro.

Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación de nuestros resultados obtenidos, se va a partir de unos patrones de diferentes leyes ya establecidos en un laboratorio Químico Metalúrgico de Lima, llamado **“Criterios de Aceptación entre Duplicados”**.

Para este método se trabajó con seis analistas las cuales corrieron la misma muestra 5 veces a las mismas condiciones y trabajaron con las siguientes leyes aproximadas de 0.010, 0.030, 0.100, 0.500, 1.00, 4.00 (gr/ton) y donde C2 es un valor constante tabulado según el número de observaciones que se observa en la tabla N° 33 del anexo.

TABLA N°15: Patrón interno de trabajo con ley de 0.006 a 0.014 (gr/ton)

Analistas	X1	X2	X3	X4	X5
1	0,006	0,014	0,006	0,014	0,008
2	0,008	0,010	0,008	0,011	0,009
3	0,010	0,011	0,009	0,009	0,010
4	0,011	0,012	0,010	0,010	0,011
5	0,014	0,007	0,012	0,007	0,014
6	0,009	0,014	0,006	0,008	0,006

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima.

TABLA N°16: Límites de control del patrón de la tabla N°15

Variabilidad por desviaciones típicas (gráficas de medias) :

Analistas	Xprom	S
1	0,010	0,00410
2	0,009	0,00130
3	0,010	0,00084
4	0,011	0,00084
5	0,011	0,00356
6	0,009	0,00329

DONDE :

$$LC = \bar{x} \pm 3 * \frac{\bar{s}}{c_2 * \sqrt{n}}$$

PROM(Xprom)	0,010
PROM(S)	0,00232
C2	0,8407

Valor Patrón:	Pt - nnn	=	0,010	+/-	0,004
----------------------	-----------------	----------	--------------	------------	--------------

LCI	0,006
MEDIA	0,010
LCS	0,014

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima

TABLA N°17: Patrón interno de trabajo con ley de 0.021 a 0.039 (gr/ton)

Analistas	X1	X2	X3	X4	X5
1	0,021	0,028	0,025	0,021	0,030
2	0,033	0,037	0,030	0,027	0,031
3	0,025	0,032	0,022	0,037	0,025
4	0,021	0,039	0,038	0,026	0,034
5	0,037	0,024	0,030	0,024	0,030
6	0,036	0,022	0,037	0,039	0,030

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima

TABLA N°18: Límites de control del patrón de la tabla N°17

Variabilidad por desviaciones típicas (graficas de medias) :

Analistas	Xprom	S
1	0,025	0,00406
2	0,032	0,00371
3	0,028	0,00614
4	0,032	0,00783
5	0,029	0,00539
6	0,033	0,00691

DONDE :

$$LC = \bar{x} \pm 3 * \frac{\bar{s}}{c_2 * \sqrt{n}}$$

PROM(Xprom)	0,030
PROM(S)	0,00567
C2	0,8407

Valor Patrón:	Pt - nnn	=	0,030	+/-	0,009
----------------------	-----------------	----------	--------------	------------	--------------

LCI	0,021
MEDIA	0,030
LCS	0,039

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima

TABLA N°19: Patrón interno de trabajo con ley de 0.100 a 0.122 (gr/ton)

Analistas	X1	X2	X3	X4	X5
1	0,100	0,122	0,095	0,120	0,100
2	0,118	0,100	0,099	0,119	0,092
3	0,115	0,115	0,120	0,079	0,099
4	0,078	0,079	0,122	0,081	0,100
5	0,099	0,085	0,100	0,119	0,082
6	0,092	0,088	0,088	0,120	0,085

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima

TABLA N°20: Límites de control del patrón de la tabla N°19

Variabilidad por desviaciones típicas (graficas de medias) :

Analistas	Xprom	S
1	0,107	0,01260
2	0,106	0,01218
3	0,106	0,01685
4	0,092	0,01904
5	0,097	0,01471
6	0,095	0,01442

DONDE :

$$LC = \bar{x} \pm 3 * \frac{\bar{s}}{c_2 * \sqrt{n}}$$

PROM(Xprom)	0,100
PROM(S)	0,01497
C2	0,8407

Valor Patrón:	Pt - nnn	=	0,100	+/-	0,024
----------------------	-----------------	----------	--------------	------------	--------------

LCI	0,076
MEDIA	0,100
LCS	0,124

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima

TABLA N°21: Patrón interno de trabajo con ley de 0.425 a 0.741 (gr/ton)

Analistas	X1	X2	X3	X4	X5
1	0,425	0,574	0,488	0,501	0,500
2	0,448	0,499	0,512	0,741	0,501
3	0,500	0,479	0,525	0,500	0,560
4	0,574	0,459	0,442	0,500	0,425
5	0,435	0,574	0,488	0,512	0,456
6	0,428	0,570	0,499	0,428	0,499

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima

TABLA N°22: Límites de control del patrón de la tabla N°21

Variabilidad por desviaciones típicas (gráficas de medias) :

Analistas	Xprom	S
1	0,498	0,05296
2	0,540	0,11495
3	0,513	0,03101
4	0,480	0,05947
5	0,493	0,05404
6	0,485	0,05940

DONDE :

$$LC = \bar{x} \pm 3 * \frac{\bar{s}}{c_2 * \sqrt{n}}$$

PROM(Xprom)	0,501
PROM(S)	0,06197
C2	0,8407

Valor Patrón:	Pt - nnn	=	0,501	+/-	0,099
----------------------	-----------------	----------	--------------	------------	--------------

LCI	0,402
MEDIA	0,501
LCS	0,600

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima

TABLA N°23: Patrón interno de trabajo con ley de 0.905 a 1.088 (gr/ton)

Analistas	X1	X2	X3	X4	X5
1	1,000	0,989	1,056	1,072	0,999
2	0,912	1,000	0,998	1,000	1,105
3	1,012	0,912	0,969	1,088	1,009
4	1,100	0,908	1,011	0,987	1,100
5	1,100	0,905	1,009	0,998	1,088
6	1,000	0,923	0,900	0,998	0,985

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima

TABLA N°24: Límites de control del patrón de la tabla N°23

Variabilidad por desviaciones típicas (graficas de medias) :

Analistas	Xprom	S
1	1,023	0,03792
2	1,003	0,06843
3	0,998	0,06453
4	1,021	0,08140
5	1,020	0,07883
6	0,961	0,04645

DONDE :

$$LC = \bar{x} \pm 3 * \frac{\bar{s}}{c_2 * \sqrt{n}}$$

PROM(Xprom)	1,004
PROM(S)	0,06292
C2	0,8407

Valor Patrón:	Pt - nnn	=	1,004	+/-	0,100
----------------------	-----------------	----------	--------------	------------	--------------

LCI	0,904
MEDIA	1,004
LCS	1,104

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima

TABLA N°25: Patrón interno de trabajo con ley de 3.650 a 4.350 (gr/ton)

Analistas	X1	X2	X3	X4	X5
1	3,650	3,980	4,200	4,335	4,321
2	3,670	3,883	4,330	4,157	4,280
3	4,218	3,670	3,992	4,320	3,951
4	4,088	3,994	3,890	4,094	3,880
5	4,280	4,350	3,650	3,995	3,729
6	4,110	3,650	3,720	3,651	4,091

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima.

TABLA N°26: Límites de control del patrón de la tabla N°25

Variabilidad por desviaciones típicas (gráficas de medias) :

Analistas	Xprom	S
1	4,097	0,28763
2	4,064	0,28020
3	4,030	0,25334
4	3,989	0,10312
5	4,001	0,31499
6	3,844	0,23560

DONDE :

$$LC = \bar{x} \pm 3 * \frac{\bar{s}}{c_2 * \sqrt{n}}$$

PROM(Xprom)	4,004
PROM(S)	0,24581
C2	0,8407

Valor Patrón:	Pt - nnn	=	4,004	+/-	0,392
----------------------	-----------------	----------	--------------	------------	--------------

LCI	3,612
MEDIA	4,004
LCS	4,396

Fuente: Laboratorio Químico Metalúrgico de Lima.

De los resultados obtenidos de las tablas N° 16, N° 18, N° 20, N° 22, N° 24 y N° 26 obtenemos una relación entre la concentración y la tolerancia que se observa en la tabla N° 27.

TABLA N°27: Tabla de concentración vs tolerancia

C(ppm)	T(ppm)
0,010	0,004
0,030	0,009
0,100	0,024
0,501	0,099
1,004	0,100
4,004	0,392

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente buscamos una relación entre la concentración (C) y la tolerancia (T) mediante una fórmula matemática "Regresión por mínimos cuadrados", Además la mejor relación será cuando el coeficiente de relación (R) esté más cercano a la unidad. Por esta razón con la tabla N° 27 graficamos las funciones logarítmica, potencial, exponencial y lineal para buscar el coeficiente de relación que más se acerque a la unidad.

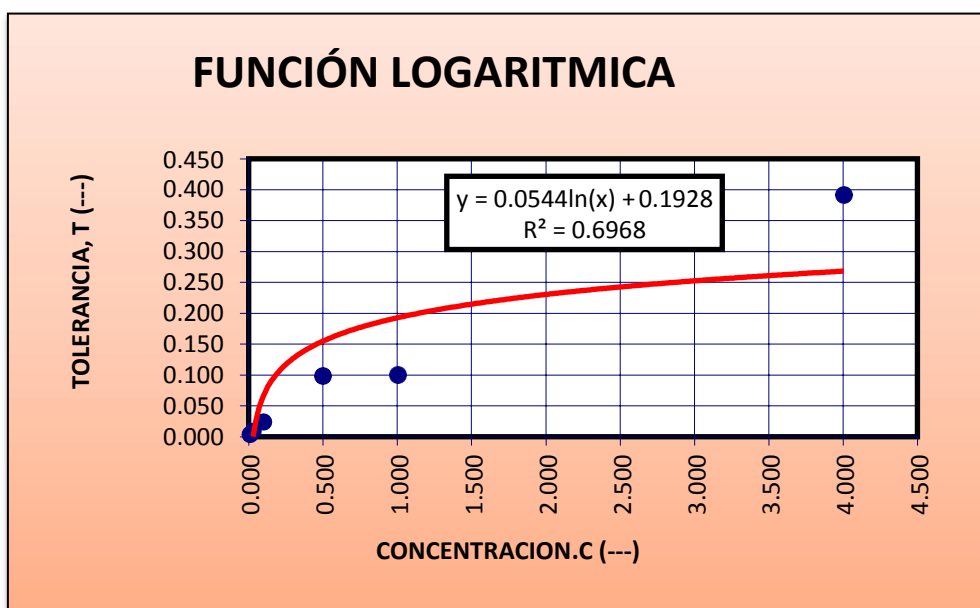


FIGURA N°39: Función logarítmica.

Fuente: Elaboración propia.

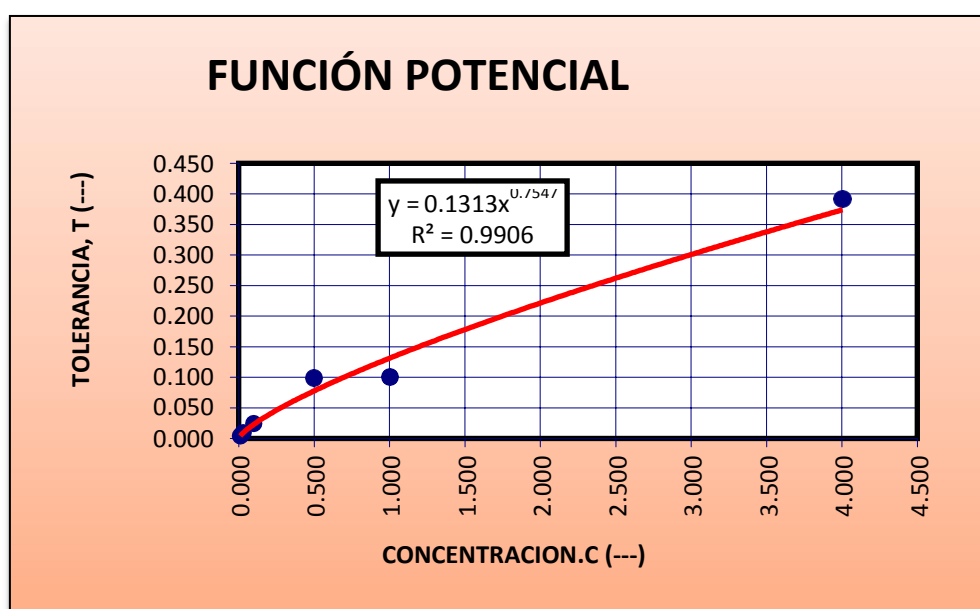


FIGURA N°40: Función potencial.

Fuente: Elaboración propia.

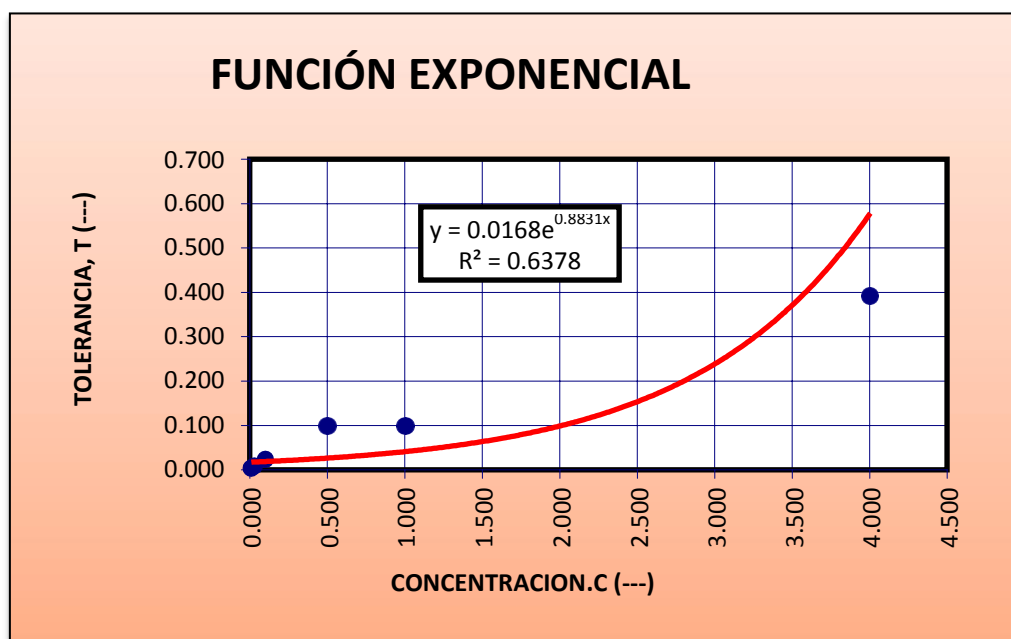


FIGURA N°41: Función exponencial.

Fuente: Elaboración propia.

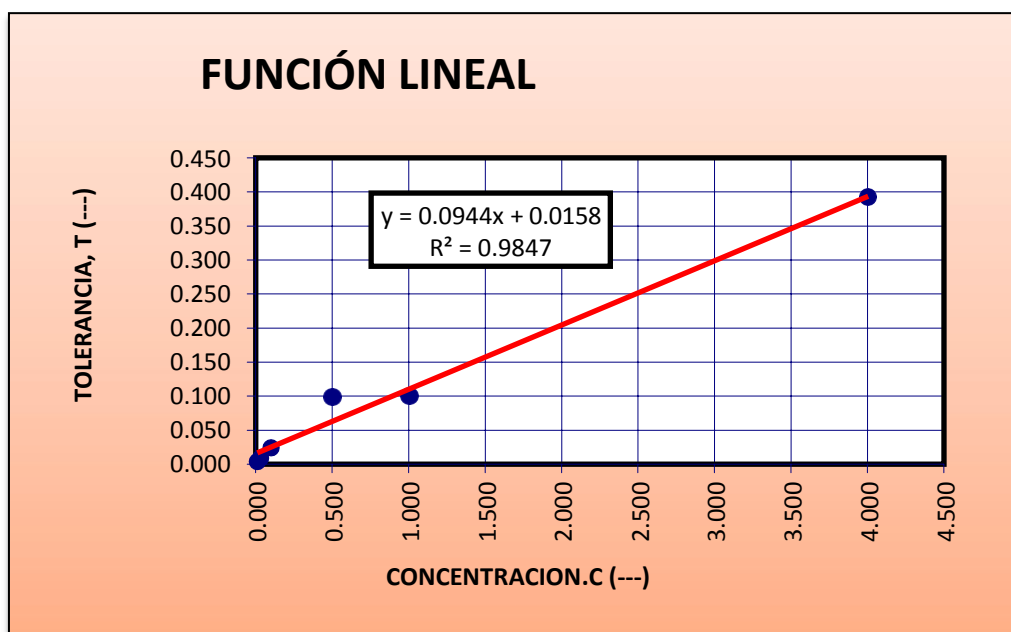


FIGURA N°42: Función lineal.

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°28: Comparación de las funciones

FUNCIÓN	a	B	R ²	R
logarítmica	0,1928	0,0544	0,6968	0,8347
potencial	0,1313	0,7547	0,9906	0,9953
exponencial	0,0168	0,8831	0,6378	0,7986
lineal	0,0158	0,0944	0,9847	0,9923

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos ver en la figura N° 40 la función "potencial" es la función que mejor describe y relaciona dichas variables dado que su R=0.9953 como se aprecia en la tabla N° 28.

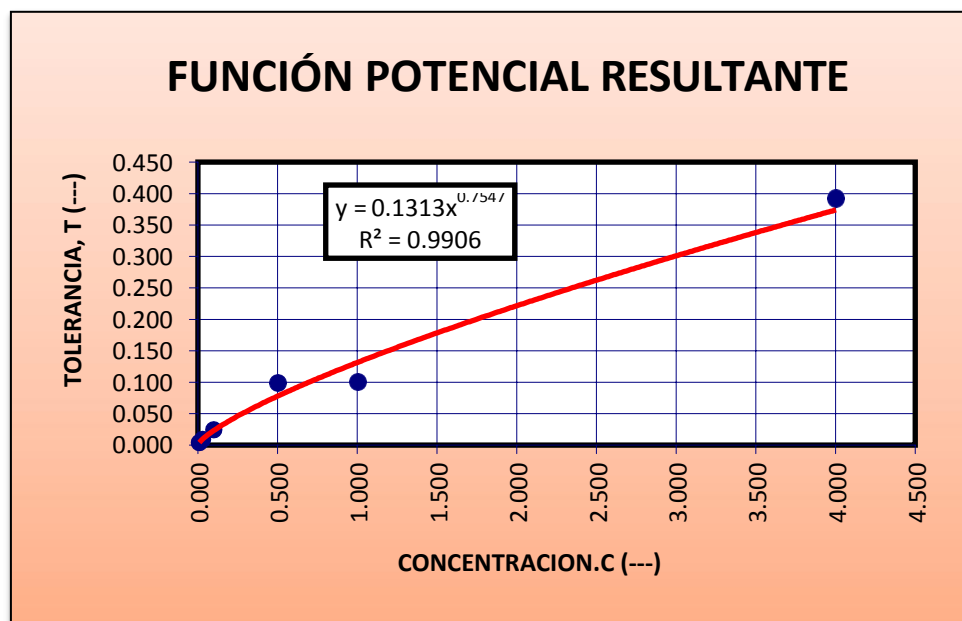


FIGURA N°43: Función potencial resultante.

Fuente: Imagen propia.

Del análisis anterior se genera la tabla N° 29 para diferentes leyes con su respectiva tolerancia para la evaluación de leyes de oro entre duplicado.

TABLA N°29: Simulación según la función potencial para diferentes leyes

C(ppm)	T(ppm)
0.100	0.023
0.200	0.039
0.300	0.053
0.400	0.066
0.500	0.078
0.600	0.089
0.700	0.100
0.800	0.111
0.900	0.121
1.000	0.131
1.100	0.141
1.200	0.151
1.300	0.160
1.400	0.169
1.500	0.178
1.600	0.187
2.000	0.222
2.400	0.254
2.800	0.286
3.000	0.301
4.000	0.374
5.000	0.442
6.000	0.508
7.000	0.570
8.000	0.631
9.000	0.689
10.000	0.746

Fuente: Elaboración propia.

5.9 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con la tabla N° 29 se evaluará las 20 leyes obtenidas en el Laboratorio de la UNMSM para corroborar si las leyes son aceptables o no, según la tolerancia obtenida por la función potencial. Los valores son aceptables si son mayores que la tolerancia mínima y menores que la tolerancia máxima ver la tabla N°34 en el anexo. Si no se encuentra dentro del rango de tolerancia las leyes de oro no serán aceptadas.

En la tabla N°30 se observan las leyes de las muestras trabajadas con la composición del flux propuesto, la cual tiene un promedio de 5.763 gr/ton y una tolerancia de 0.492 calculada con la función potencial obtenida de los patrones internos.

TABLA N°30: Leyes obtenidas con la composición del flux propuesto

Ítem	Ley (gr/ton)
1	5.832
2	5.726
3	5.833
4	5.862
5	5.758
6	5.756
7	5.895
8	6.025
9	5.956
10	6.055
11	6.090
12	6.222
13	5.509
14	5.074
15	5.948
16	5.062
17	5.056
18	6.028
19	5.825
20	5.756

Fuente: Elaboración propia.

Promedio: 5.763 gr/ton

Ley Máxima: 6.222 gr/ton

Ley Mínima: 5.056 gr/ton

Valor Patrón:	Pt - nnn	=	5,763	+/-	0,492
----------------------	-----------------	----------	--------------	------------	--------------

TABLA 31: Rangos de tolerancia para que los resultados sean aceptables

LCI	5,271
MEDIA	5,763
LCS	6,255

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo 17 leyes generadas en el laboratorio UNMSM que están dentro del rango de tolerancia y 3 leyes que se encuentran fuera del rango de tolerancia porque su menor valor es 5.056 gr/ton y su mayor valor es 6.056 gr/ton. En la tabla N°31 observamos las tolerancias máximas y mínimas del flux propuesto.

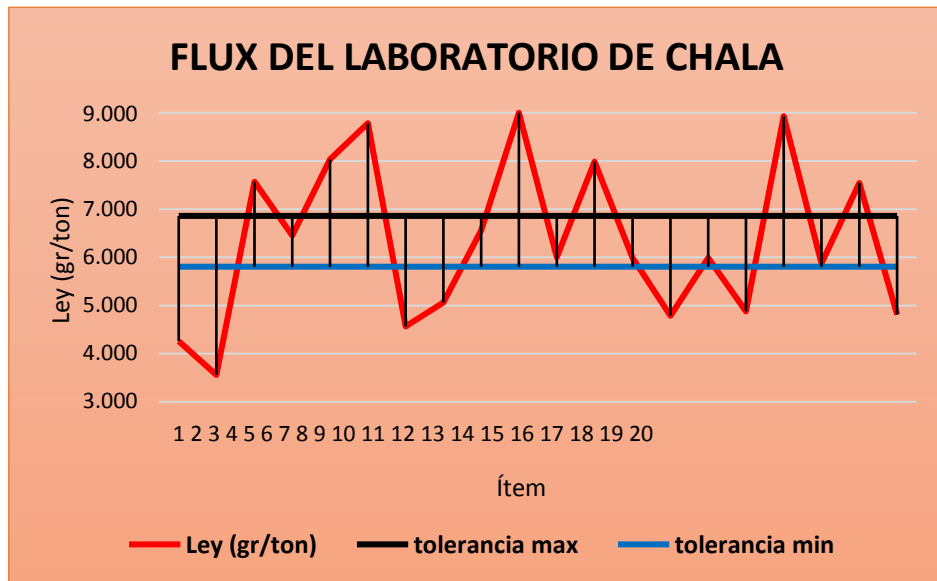


FIGURA N°44: Límites de las leyes con la composición del flux de Chala.

Fuente: Elaboración propia.

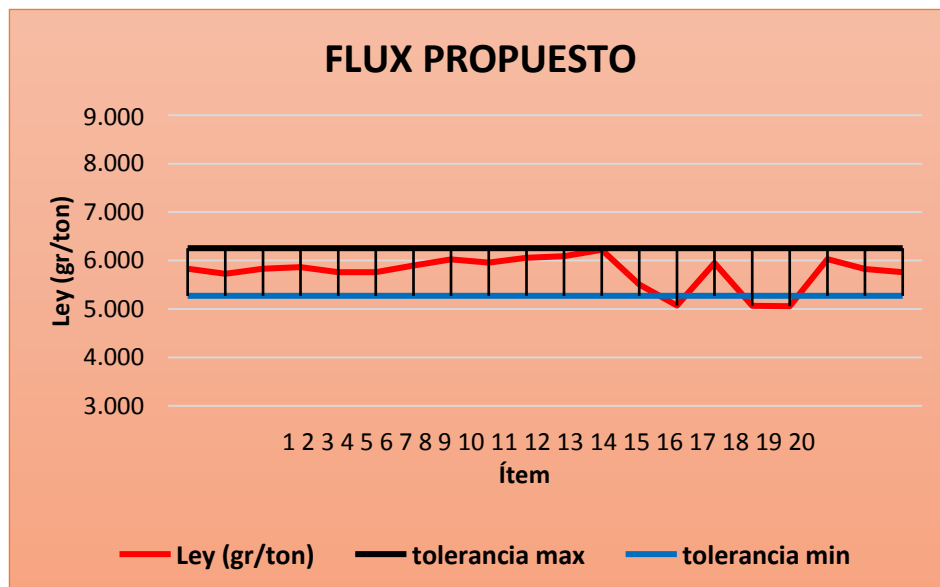


FIGURA N°45: Límites de las leyes con la composición del flux propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que en la figura N° 45 se ha optimizado notablemente la linealidad de los resultados, 85 % de las leyes con el flux propuesto son aceptables y como se observa en la figura N° 44 solo el 30% de las leyes con el flux de Chala son aceptables. Ver las tablas N° 35 y tablas N° 36 del anexo para observar los datos de las gráficas.

CONCLUSIONES

1. Se logró mejorar la confiabilidad de las leyes finales del mineral sulfurado usando la composición de flux propuesto en la presente tesis de investigación, dando resultados de 85% de las leyes que son aceptadas, 17 leyes que se encuentran dentro de los LCI – LCS y solo 3 leyes que se encuentran fuera de las tolerancias aceptadas por el “criterio de aceptación entre duplicados” establecidos por un laboratorio químico metalúrgico de lima, en comparación con los resultados obtenidos en el laboratorio de Chala que fue solo un 30% de las leyes aceptadas bajo el mismo criterio de aceptación.
2. Se mejoró la linealidad y reproducibilidad de las leyes finales obtenidas con la composición del flux propuesto en la presente tesis para el mineral sulfurado, como se aprecia en las Figuras 44 y figura 45, disminuyendo el ruido de los resultados de la misma muestra.
3. Se logró minimizar los reensayos en la muestra sulfurada de 70% de ensayos rechazados con la composición de flux de Chala a solo 15 % de ensayos rechazados con la composición de flux propuesto.

4. Se concluye que se optimiza la fusión del mineral mejorando la linealidad, la reproducibilidad, disminuyendo a la vez los reensayos y logrando optimizar el tiempo de entrega de los reportes de las leyes finales a sus respectivos clientes.

5. Se concluye que se reduce los insumos, reactivos, mano de obra y energía utilizada en el laboratorio de Chala al hacer uso del flux propuesto, ya que, usando el flux del laboratorio de Chala se gasta 884.85 dólares en el fundente, crisol y copelas por cada 100 muestras de mineral sulfurado y usando el flux propuesto se tendría un gasto de 598.58 dólares para los mismos insumos. Se puede observar en la figura N° 60 del anexo una reducción de costos del 32.35%.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda contar con PETS y estándares específicos para cada trabajo o actividad, desde el muestreo hasta el pesado final del oro. Manteniendo constante los parámetros de trabajo como temperatura del horno de fusión, temperatura del horno de copelación, equipos calibrados, peso del flux, peso del mineral, peso del régulo, personal calificado, materiales de calidad, herramientas y equipos certificados.
2. Se puede mejorar el trabajo en el laboratorio, si se lleva un estricto orden y limpieza en todas las etapas del análisis, ya que los resultados de las leyes finales de oro pueden ser alterados fácilmente. Mantener limpieza en el horno de fusión y copelación son acciones esenciales para evitar algún tipo de contaminación; así también la correcta codificación de muestras, contramuestras, crisoles y copelas para evitar cualquier tipo de confusión entre ellas.
3. La mineralización en un yacimiento minero difícilmente es constante, por esa razón, se recomienda a los laboratorios estar en constante investigación para mejorar las leyes finales de oro. La composición propuesta en esta presente tesis bajo de 85% a 15% de ensayos rechazados, se recomienda un estudio más detallado en las etapas del ensayo al fuego para reducir aún más el porcentaje de ensayos rechazados.
4. Se recomienda realizar una evaluación económica más detallada de los costos en todas las etapas por análisis rechazado; incluyendo mano de obra del personal

calificado, consumo de energía de los hornos y reactivos usados por análisis rechazado. De esta manera se obtendrá una reducción de costo más exacto por cada ensayo.

5. Finalmente se recomienda que los laboratorios deberían contar con normas internacionales como como JIS M8111 de 1998 “métodos para la determinación de oro y plata en minerales” y la ISO 10378 de 2016 para la “determinación de oro y plata”, respaldando los resultados del análisis para la tranquilidad del cliente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. G. Tantalean Vanini, Recursos Metalúrgicos – Metalurgia General II (1972). Práctica de la fusión en las determinaciones analíticas cuantitativas. Pg. 201-210.
2. Moisés Bustamante. (2016) Redacción el tiempo. Método para detectar oro y plata fue patentado en Medellín. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16537923>
3. Misari Ch., Fidel Sergio; Franco Jiménez, Juan Antonio (1993) *Metalurgia del Oro*. Lima, Perú: Centros de estudios y promoción en ciencias de la tierra. Vol. 1.
4. Marsden, John; House, Lain. (1960) *The Chemistry of Gold Extraction*. 2nd ed. Colorado, EE. UU: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. 350 p.
5. Hulburt Cornelius. (1986) *Manual de Mineralogía de Dana. 4ta ed.* Madrid, España: Editorial Reverte. 578 p.
6. Misari Ch., Fidel Sergio; Franco Jiménez, Juan Antonio. (1993) *Metalurgia del Oro*. Lima, Perú: Centros de estudios y promoción en ciencias de la tierra. Vol. 2.
7. Gomis M., Rosa; Noguera G., Gabriel (2012). *Análisis del mercado del oro: Variables relevantes y modelo de estimación del precio*. Barcelona, España: Universidad Pompeu Fabra. 86 p.
8. Laboratorio Químico Chungar. (2010). *Manual De Métodos De Ensayo Del Laboratorio Químico Chungar (MA-LQCH-04)*.
9. Dr. Viladevall Solé, Manuel, (2004). La Prospección de Placeres de Oro y otros Minerales Densos. Universidad de Barcelona. Pág. 63-63. Recuperado de http://www.publicacions.ub.es/refs/pub_dig/pros_aluv.pdf

10. Lovera Dávila, Daniel Florencio, (1992). Historia, Procesos, Producción y Redes Metalúrgicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Pág. 13. Recuperado de <https://studylib.es/doc/4425929/historia--procesos--producci%C3%B3n-y-redes-metal%C3%BArgicas>
11. Gagliuffi Espinoza, Pedro Miguel, (2015). Caracterización y distribución mineralógica del mineral sulfurado, analizado en el laboratorio de Microscopia de la E.A.P de Ingeniería Geológica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
12. Salvador Roviera, (2017). La metalurgia inca: estudio a partir de las colecciones del Museo de América de Madrid. El Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines. Recuperado de <https://journals.openedition.org/bifea/8155>
13. Villachica León Carlos, (2017). Fabricación, utilización, recuperación y reutilización de fundente ecológico para refinación de metales preciosos. vii Latinometalurgia Congreso Internacional en Cusco-Perú: Libro de Ponencias y Resúmenes. Pág. 62. Recuperado de <http://sim3cam.blogspot.com/2017/10/>
14. Apuntes científicos; (2011-2012). Gravimetría. Universidad del Valle de México Coyoacán. Recuperado de <http://apuntescientificos.org/gravimetria.html>
15. Arévalo Duarte, Gloria Vanessa, (2016). Métodos Gravimétricos. Recuperado de <http://metodosgravimetricos2016.blogspot.com/>
16. Zapata flores, Diana; Mejía López, Ernesto alejando, (s.f). Clasificación de los Métodos Gravimétricos. Recuperado de <https://sites.google.com/site/quimanalisisgravimetrico/home/teoria-del-analisis-gravimetrico/clasificacion-de-los-metodos-gravimetricos>
17. Castro Damián, José Abrahán (2015). Aplicación de la Técnica de Encartación por filtración en Métodos Gravimétricos y Absorción Atómica en Ensayos de Oro en el Laboratorio Químico de la Empresa Administradora Chungar S.A.C. Huancayo, Perú.

- Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1008/Castro%20Dami%C3%A1n%2C%20Jos%C3%A9%20Abraham.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
18. Arias Odón, Fidias Gerardo, (2011). Metodología de la investigación en las ciencias aplicadas: un enfoque cuantitativo. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.efdeportes.com/efd157/investigacion-en-deporte-enfoque-cuantitativo.htm>
19. Ramírez Oscco, Luis Alfredo, (2015). Biolixiviación del cobre en minerales sulfurados refractarios como proceso preliminar para la lixiviación de oro por cianuración. UNMSM. Recuperado de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/5763/Ramirez_ol.pdf?sequence=1&isAllowed=y
20. Lovera Dávila (2019). Informes Internos de Piro metalurgia. Escuela de Ingeniería Metalúrgica – UNMSM
21. Recuperado de http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1785/Hans_Tesis_T%C3%ADtulo%20profesional_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
22. Arias Minaya, Luis A. (2015); *Marco Macroeconómico Multianual 2016-2018*. En: Sesión de Consejo de Ministros. Lima, Perú. *Proyecciones*. Lima, Perú: Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, pp. 15-25
23. Ministerio de Energía y Minas del Perú (2017). *Anuario Minero 2017: Estadísticas principales: Producción y Exportaciones del Oro*. Lima: Dirección de Producción Minera. Pag.38; 52-55
24. Hugo Eligio Argueta Juárez (2014). Estudio sobre la verificación de condiciones ambientales seguras en el manejo de concentraciones altas de plomo en la prueba de ensayo al fuego para la determinación de oro y plata. Guatemala, mayo de 2014

25. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Luis Fernando Londoño-Franco¹, Paula Tatiana Londoño-Muñoz², Fabián Gerardo Muñoz-García. 18 de mayo de 2016
26. Marcelo Lozada y Mara Iza (2010). Estudio para el mejoramiento de la fusión de calcinas con el uso de carbonato de calcio en la carga fundente. Vol. 29 (1: del 14 - 17).
27. Recuperado de <https://es.slideshare.net/Max21John/101175>
28. Recuperado de http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1709/Alfredo_Informes_T%C3%ADtulo%20profesional_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y
29. Recuperado de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/392>
30. Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1008/Castro%20Dami%C3%A1n%20Jos%C3%A9%20Abraham.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

I. PRUEBAS EXPERIMENTALES EN EL LABORATORIO UNMSM:

El mineral sulfurado que escogimos procede de Arequipa, provincia Caravelí, distrito de Chala. Debido a su complejo análisis y su riqueza mineralógica, fue apto para nuestro estudio de investigación.

Iniciamos con el plateo del sulfurado en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y se observa que tienen oro grueso (charpa).



FIGURA N°46: Limpieza de lamas.

Fuente: Imagen propia.



FIGURA N°47: Plateo del mineral.

Fuente: Imagen propia.

Una vez que tenemos a disposición los equipos, instrumentos, materiales y los reactivos procedemos a iniciar el análisis de oro del mineral sulfurado. En las fotos enumeradas se observa los pasos que se han seguido para obtener los datos de la tabla N° 30.



FIGURA N°48: Crisol de fundición.

Fuente: Imagen propia.



FIGURA N°49: Flux.

Fuente: Imagen propia.



(a)



(b)

FIGURA N°50 (a, b): Colada de la fundición.

Fuente: Imagen propia.



(a)



(b)

FIGURA N°51 (a, b): Enfriar lingoteras.

Fuente: Imagen propia.



FIGURA N°52: Copela de fundición.

Fuente: Imagen propia.



FIGURA N°53: Copelación.

Fuente: Imagen propia.



FIGURA N°54: Enfriamiento de las copelas.

Fuente: Imagen propia.



FIGURA N°55: Botón de oro 1.

Fuente: Imagen propia.



FIGURA N°56: Botón de oro 2.

Fuente: Imagen propia.

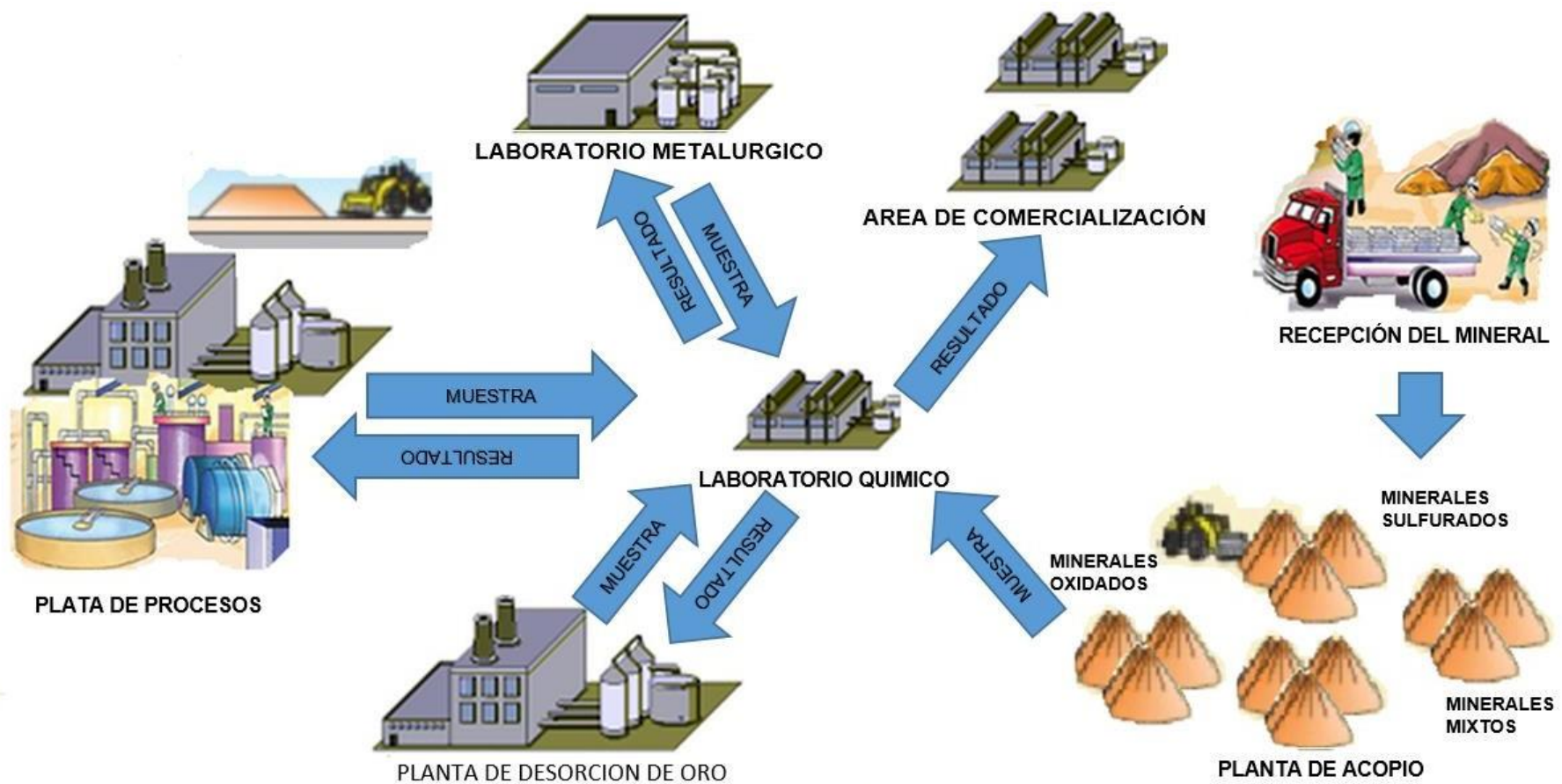


FIGURA N°57: Importancia de la entrega de resultados del área de laboratorio químico.

Fuente: Elaboración propia.

TABLAN°32: Morfología y tamaño del oro en función de la fuente.

	TIPO DE ORO	MORFOLOGIA	TAMAÑO μm	OBSERVACIONES
A	Hipogénico (primario)	Xenomorfo angular, equielongados y segregaciones laminares. Cristales hipidiomórficos con facetas brillantes e intercrecimientos dendríticos.	0,1 - 200	Raramente basto
	Supergénico (zonas de oxidación)	Esponjoso, terroso con superficies rugosas. Excrecencias y proyecciones de formas irregulares; cristales octahédricos y sus intercrecimientos	0,1 - 1.000 > 2.000 y mas	Pequeños granos dispersos o aglomerados
B	Origen hipogénico	Escamas, gotas, hilos laminares, ocasionalmente cristallitos con superficies brillantes a lijadas. Imprentas o cristales de minerales hipogénico.	250 - 1.000 dominante.	Pequeños granos dispersos o aglomerados.
	Supergénico (zona de oxidación)	Láminas pequeñas con estructuras relictas ;esponjosas o terrosas . Son muy raras las formas cristalinas.	200 - 5.000 dominante. 2.000 - 3.000 ocasionalmente. Son raras las pepitas	Se observan superficies rugosas con hendiduras lijadas y brillo desigual.
C	Supergénico (hidrogénico)	Dendritas, corales, agregados e intercrecimientos de granos como gotas. Estas últimas presentan brillo desigual y superficies ásperas.		Precipitación de finos a partir del anterior.

Fuente: Dr. Viladevall Solé, Manuel, (2004). La Prospección de Placeres de Oro y otros Minerales Denso.

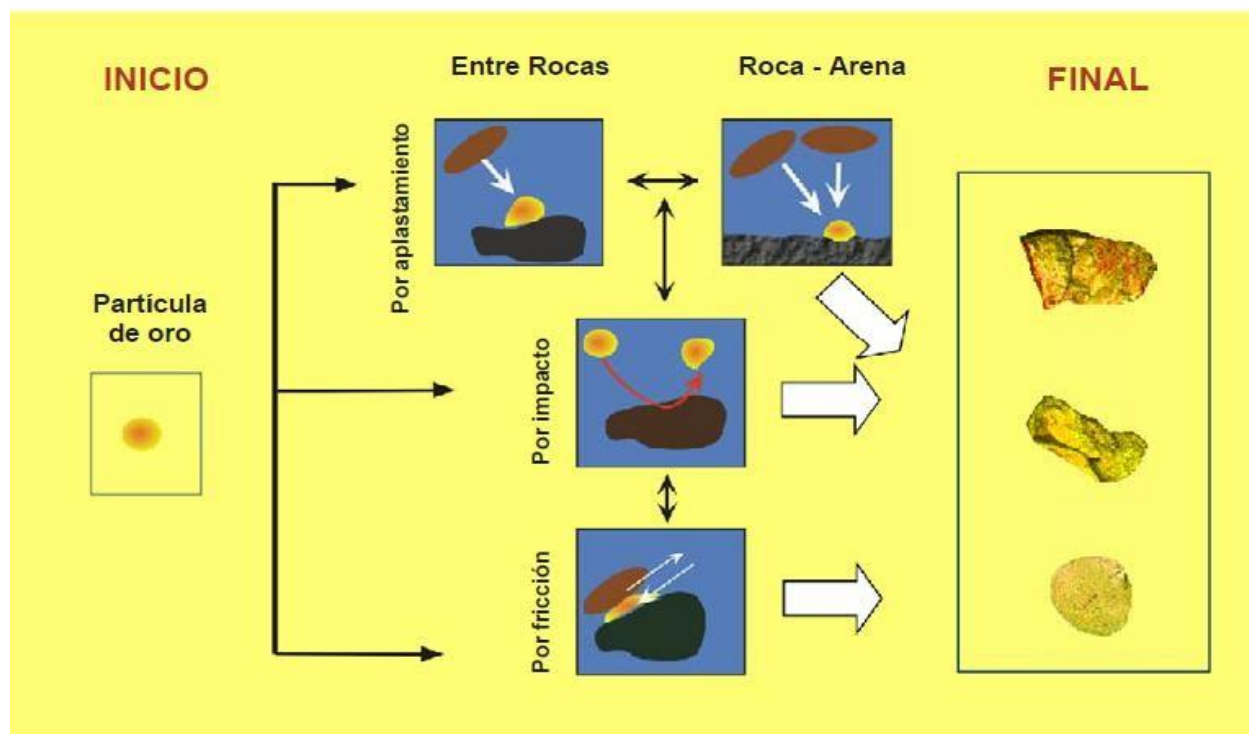


FIGURA N°58: Morfología de las partículas de Oro.

Fuente: Dr. Viladevall Solé, Manuel, (2004). La Prospección de Placeres de Oro y otros Minerales Densos.

TABLA N°33: Tabla para obtener la constante C_2 según el número de observaciones en la muestra

Observaciones en la muestra, n	Gráficos de medias con dispersión basada en			Gráficos para Rangos				Gráficos para desviaciones típicas (corregidas)			
	$\bar{s} :$	$\hat{s}_T :$	$\bar{R} :$	D_1	D_2	D_3	D_4	B_3	B_4	B_5	B_6
	c_2	c_4	d_2								
2	0.5642	0.7979	1.128	0	3.686	0	3.267	0	3.267	0	2.606
3	0.7236	0.8862	1.693	0	4.358	0	2.575	0	2.568	0	2.276
4	0.7979	0.9213	2.059	0	4.698	0	2.282	0	2.266	0	2.088
5	0.8407	0.9400	2.326	0	4.918	0	2.115	0	2.089	0	1.964
6	0.8686	0.9515	2.534	0	5.078	0	2.004	0.030	1.970	0.029	1.874
7	0.8882	0.9594	2.704	0.204	5.204	0.076	1.924	0.118	1.882	0.113	1.806
8	0.9027	0.9650	2.847	0.388	5.306	0.136	1.864	0.185	1.815	0.179	1.751
9	0.9139	0.9693	2.970	0.547	5.393	0.184	1.816	0.239	1.761	0.232	1.707
10	0.9227	0.9727	3.078	0.687	5.469	0.223	1.777	0.284	1.716	0.276	1.669
11	0.9300	0.9754	3.173	0.811	5.535	0.256	1.744	0.321	1.679	0.313	1.637
12	0.9359	0.9776	3.258	0.922	5.594	0.283	1.717	0.354	1.646	0.346	1.610
13	0.9410	0.9794	3.336	1.025	5.647	0.307	1.693	0.382	1.618	0.374	1.585
14	0.9453	0.9810	3.407	1.118	5.696	0.328	1.672	0.406	1.594	0.399	1.563
15	0.9490	0.9823	3.472	1.203	5.741	0.347	1.653	0.428	1.572	0.421	1.544
16	0.9523	0.9835	3.532	1.282	5.782	0.363	1.637	0.448	1.552	0.440	1.526
17	0.9551	0.9845	3.588	1.356	5.820	0.378	1.622	0.466	1.534	0.458	1.511
18	0.9576	0.9854	3.640	1.424	5.856	0.391	1.608	0.482	1.518	0.475	1.496
19	0.9599	0.9862	3.689	1.487	5.891	0.403	1.597	0.497	1.503	0.490	1.483
20	0.9619	0.9869	3.735	1.549	5.921	0.415	1.585	0.510	1.490	0.504	1.470
21	0.9638	0.9876	3.778	1.605	5.951	0.425	1.575	0.523	1.477	0.516	1.459
22	0.9655	0.9882	3.819	1.659	5.979	0.434	1.566	0.534	1.466	0.528	1.448
23	0.9670	0.9887	3.858	1.710	6.006	0.443	1.557	0.545	1.455	0.539	1.438
24	0.9684	0.9892	3.895	1.759	6.031	0.451	1.548	0.555	1.445	0.549	1.429
25	0.9696	0.9896	3.931	1.806	6.056	0.459	1.541	0.565	1.435	0.559	1.420

Fuente: *Métodos Estadísticos para la Mejora de la calidad: Control de procesos por variables;2013.*

TABLA N°34: Formulas para obtener la tabla N°29.

		=0.1313*POTENCIA(B280;0.7547)			
				=B280-C280	
	A	B	D	E	F
	C(ppm)	T(ppm)	Minimo	Maximo	%
274	0,100	0,023	0,077	0,123	23,097
275	0,200	0,039	0,161	0,239	19,486
276	0,300	0,053	0,247	0,353	17,641
277	0,400	0,066	0,334	0,466	16,439
278	0,500	0,078	0,422	0,578	15,564
279	0,600	0,089	0,511	0,689	14,883
280	0,700	0,100	0,600	0,800	14,331
281	0,800	0,111	0,689	0,911	13,869
282	0,900	0,121	0,779	1,021	13,474
283	1,000	0,13	0,869	1,131	13,130
284	1,100	0,14	0,959	1,241	12,827
285	1,200	0,15	1,049	1,351	12,556
286	1,300	0,16	1,140	1,460	12,312
287	1,400	0,17	1,231	1,569	12,090
288	1,500	0,18	1,322	1,678	11,887
289	1,600	0,19	1,413	1,787	11,700
290	2,000	0,22	1,778	2,222	11,077
291	2,400	0,25	2,146	2,654	10,593
292	2,800	0,29	2,514	3,086	10,199
293	3,000	0,30	2,699	3,301	10,028
294	4,000	0,37	3,626	4,374	9,345
295	5,000	0,44	4,558	5,442	8,847
296	6,000	0,51	5,492	6,508	8,460
297	7,000	0,57	6,430	7,570	8,146
298	8,000	0,63	7,369	8,631	7,884
299	9,000	0,69	8,311	9,689	7,659
300	10,000	0,75	9,254	10,746	7,464
				=B280-C280	
				=B280-C280	

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°35: Datos de tolerancia máxima y mínima para obtener los límites de la figura N° 44.

Ítem	Ley (gr/ton)	Tolerancia Max	Tolerancia Min
1	4,257	6,861	5,803
2	3,556	6,861	5,803
3	7,567	6,861	5,803
4	6,454	6,861	5,803
5	8,034	6,861	5,803
6	8,789	6,861	5,803
7	4,569	6,861	5,803
8	5,065	6,861	5,803
9	6,560	6,861	5,803
10	9,000	6,861	5,803
11	6,000	6,861	5,803
12	7,987	6,861	5,803
13	5,989	6,861	5,803
14	4,783	6,861	5,803
15	5,989	6,861	5,803
16	4,876	6,861	5,803
17	8,933	6,861	5,803
18	5,876	6,861	5,803
19	7,543	6,861	5,803
20	4,811	6,861	5,803

Fuente: Elaboración propia.

TABLA N°36: Datos de tolerancia máxima y mínima para obtener los límites de la figura N° 45.

Ítem	Ley (gr/ton)	Tolerancia Max	Tolerancia Min
1	5,832	6,255	5,271
2	5,726	6,255	5,271
3	5,833	6,255	5,271
4	5,862	6,255	5,271
5	5,758	6,255	5,271
6	5,756	6,255	5,271
7	5,895	6,255	5,271
8	6,025	6,255	5,271
9	5,956	6,255	5,271
10	6,055	6,255	5,271
11	6,090	6,255	5,271
12	6,222	6,255	5,271
13	5,509	6,255	5,271
14	5,074	6,255	5,271
15	5,948	6,255	5,271
16	5,062	6,255	5,271
17	5,056	6,255	5,271
18	6,028	6,255	5,271
19	5,825	6,255	5,271
20	5,756	6,255	5,271

Fuente: Elaboración propia.

REACTIVOS	FUNDENTE DE CHALA		FUNDENTE PROPUESTO	
	EN EL FLUX	DIAG.FASES	EN EL FLUX	DIAG.FASES
CARBONATO	20%	64.1%	26%	56.0%
SILICE	8%	25.6%	15%	33.0%
BORAX	3%	10.3%	5%	11.0%
TOTAL	31%	100%	46%	100%

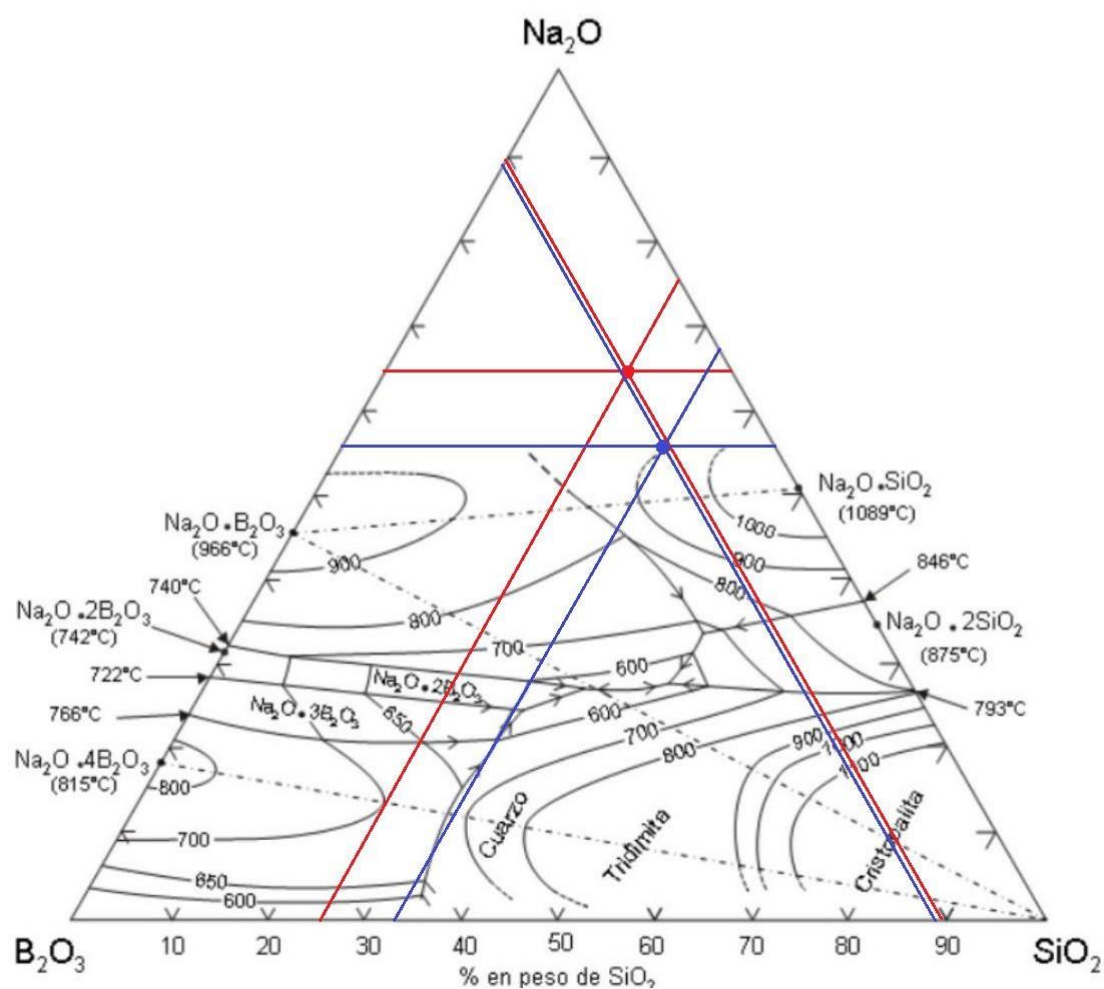


FIGURA N°59: Diagrama de fase ternario de los reactivos para los 2 fundentes.

Fuente: Elaboración propia.



International

Productos de Calidad para Minería e Industria

RUC: 20507189726

Cotización: 00002108
Cliente: XXXXXXXXXXXXXXXXXX S.A.C.
Atención: XXXXXXXX
Fecha: 04/11/2019
Referencia: FIRE ASSAY

Por medio de la presente, tenemos el agrado de responder a su requerimiento:

Item	Código	Descripción	Presentación	Cantidad		Precio Vta Unit. (USD)	Precio Venta Total (USD)
001	0020003000004	FUNDENTE #44A		1000	KGM	6.50	6500.00
002	0020001000003	CRISOLES DE ARCILLA 40 GR	CAJA x 25 UNID.	5000	UND	0.50	2500.00
003	0020002000003	COPELAS 8	CAJA X 200 UNID	5000	UND	0.26	1300.00
TOTAL USD							10300.00

PRECIOS NO INCLUYEN IGV

CONDICIONES COMERCIALES

Plazo de entrega: 5 DIAS PUESTA OC
Lugar de entrega: ALMACENES EN LIMA
Forma de pago: AL CONTADO
Validez de la oferta: 15 DIAS

Javier Vega Cisneros
Business Development Manager
CV International SRL
Calle Emilio Tenorio 260, Lima 31, Perú
Tel direct: +51 550 1774 – Mobile: +51 999375918

NRO. DE CUENTA:	
BCP SOLES	191-1860435-0-71
CCI SOLES	002-191-001860435071-52
BCP DOLARES	191-1517042-1-66
CCI DOLARES	002-191-001517042166-51



FIGURA N°60: Cotización comercial de reactivos para ensayos al fuego.

Fuente: Fundentes, Copelas y Crisoles S.A.C (2019).

COTIZACIÓN DE INSUMOS PARA ENSAYOS AL FUEGO EN LABORATORIO

INSUMO	UNIDAD	PRECIO \$
FUNDENTE	1Kg	6.50
CRISOL	1und	0.50
COPELA	1und	0.26

* Según el método Newmonth cada muestra se realiza por triplicado.

* Peso del flux por ensayo es 150gr = 0.15Kg

PRECIO PARA 100 MUESTRAS CON 0% DE ENSAYOS RECHAZADOS

* Total de ensayos a realizar es $100 \times 3 = 300$

INSUMO	CANTIDAD	ENSAYOS	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL
FUNDENTE	0.15	300	6.50	292.50
CRISOL	1.00	300	0.50	150.00
COPELA	1.00	300	0.26	78.00
				520.50

PRECIO PARA 100 MUESTRAS CON 70% DE ENSAYOS RECHAZADOS

* Total de ensayos a realizar es $(100 + 100 \times 70 / 100) \times 3 = 510$

INSUMO	CANTIDAD	ENSAYOS	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL
FUNDENTE	0.15	510	6.50	497.25
CRISOL	1.00	510	0.50	255.00
COPELA	1.00	510	0.26	132.60
				884.85

PRECIO PARA 100 MUESTRAS CON 15% DE ENSAYOS RECHAZADOS

* Total de ensayos a realizar es $(100 + 100 \times 15 / 100) \times 3 = 345$

INSUMO	CANTIDAD	ENSAYOS	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL
FUNDENTE	0.15	345	6.50	336.38
CRISOL	1.00	345	0.50	172.50
COPELA	1.00	345	0.26	89.70
				598.58

PORCENTAJE DE AHORRO

* Precio total con 70% de ensayos rechazados	884.85	dolares
* Precio total con 15% de ensayos rechazados	598.58	dolares
* Ahorro total	32.35	%

FIGURA N°61: Porcentaje de ahorro para 15% de ensayos rechazados.

Fuente: Elaboración propia.

II. CRONOGRAMA

TABLA N°37: Tiempo de desarrollo de tesis

ID	ETAPA	ACTIVIDADES	DURACION (MESES)	DURACION (DIA)
1	Planteamiento del Problema e Hipótesis	Recopilación de información bibliográfica.	0.5	
2	Equipamiento	Preparación de materiales, equipos y estudio geoquímicos	1	
3	Desarrollo Metodología	Proceso para identificar variable dependiente e independiente las pruebas experimentales definir procedimientos de operación		
4	Pruebas Experimentales	D		
5	Tratamiento de resultados			
6				

Fuente: Elaboración propia.

III. PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN

3.1. PRODUCCIÓN DEL ORO

En el 2018, la producción mundial de oro registró una ligera mejora de 0.8% con respecto al 2017 gracias al incremento de la producción de mina en Canadá y Rusia, así como, el aumento de la producción de la mina Grasberg en Indonesia. Por otro lado, cabe mencionar que los países que registraron el mayor descenso en su producción fueron Sudáfrica (12.4%), Estados Unidos (11.4%) y China (6.1%), este último ocasionado por el aumento de las regulaciones ambientales. (MINEM; 2017)

La demanda anual de oro se mantuvo en línea con el promedio de cuatro años de 4,347 toneladas métricas finas(TMF) registrando para el 2018 un crecimiento de 4% impulsado principalmente por la mayor compra realizada por los bancos centrales en los últimos 50 años y, en segundo lugar, por la inversión minorista en lingotes y monedas de oro que en conjunto presentó una variación positiva de 4% con respecto al año anterior (según World Gold Council). Al respecto, la demanda de monedas alcanzó su máximo en los últimos cinco años (y el segundo más alto de la historia), mientras que, la demanda de lingotes de oro se mantuvo estable. En tercer lugar, la demanda fue beneficiada por las ganancias marginales derivadas del volumen de oro utilizado en el sector tecnológico. (MINEM; 2019)

Por otro lado, la demanda de joyería en todo el año se estabilizó alrededor de 2.200 TMF no ejerciendo impacto positivo sobre la variación anual de la demanda aurífera en un contexto donde las ganancias en China, EE. UU. y Rusia compensaron ampliamente las fuertes pérdidas en el Medio Oriente y la demanda india decreció en 4 TMF. De la misma forma, la demanda por ETFs (fondos cotizados en bolsa en base al oro) registraron una variación negativa de 67%. (MINEM; 2019)

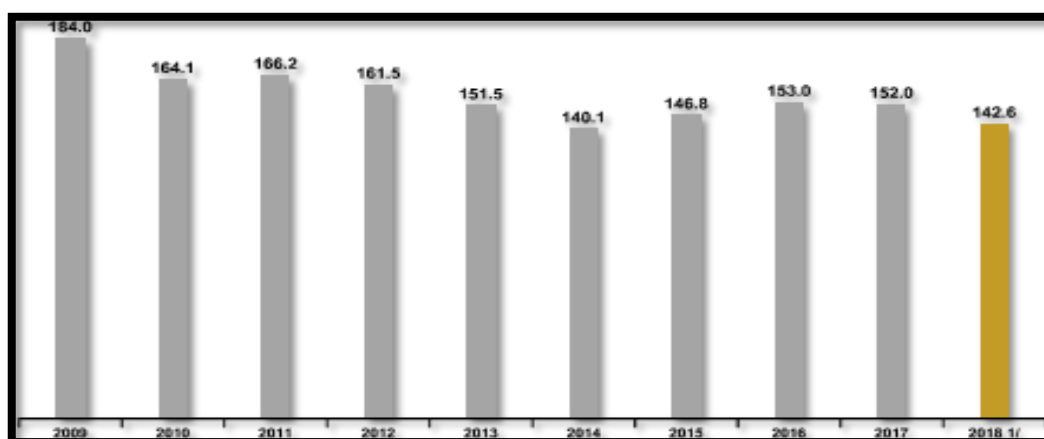


FIGURA N°62: Producción nacional de oro del 2009 al 2018(TMF).

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2019).

En Perú, la producción de oro correspondiente al 2018 alcanzó un volumen de 142.6 toneladas métricas finas, afirmando su liderazgo en Latinoamérica y manteniendo su sexto lugar como productor de oro a nivel mundial aportando el 4.4% de la producción global. (MINEM; 2019)

En el plano nacional, más del 60% de la producción de este metal precioso se concentró en las regiones de La Libertad, Cajamarca y Arequipa. La Libertad se mantuvo en el primer lugar liderando la producción de oro (36.2 toneladas métricas finas) y aportando así el 25.4% de la producción total; en segundo lugar, la región Cajamarca con un aporte de 22.0% registró una producción de 31.3 toneladas métricas finas, mientras que el tercer lugar lo ocupó la región Arequipa, región que fue la única entre las tres primeras que presentó una variación positiva con respecto al año anterior (0.3%), aportando el 15.4% de la producción total a nivel nacional. (MINEM; 2019)

A nivel de empresas, Minera Yanacocha S.R.L. y Minera Barrick Misquichilca S.A., a pesar que registraron variaciones negativas de 3.8% y 34.7% respectivamente debido al

proceso de agotamiento de las minas Yanacocha (Newmont) y Lagunas Norte (Minera Barrick), fueron las que más produjeron con 16.0 y 10.3 toneladas métricas finas respectivamente, aportando en conjunto el 18.5% de la producción nacional. En este sentido, cabe mencionar el desarrollo del proyecto Quecher Main realizado por Yanacocha para extender la vida de la mina hasta el 2027. Seguidamente a las dos primeras se ubicó Compañía Minera Poderosa S.A. (8.7 toneladas métricas finas), que aumentó su producción en el 2018 en 10.3%. (MINEM; 2019)

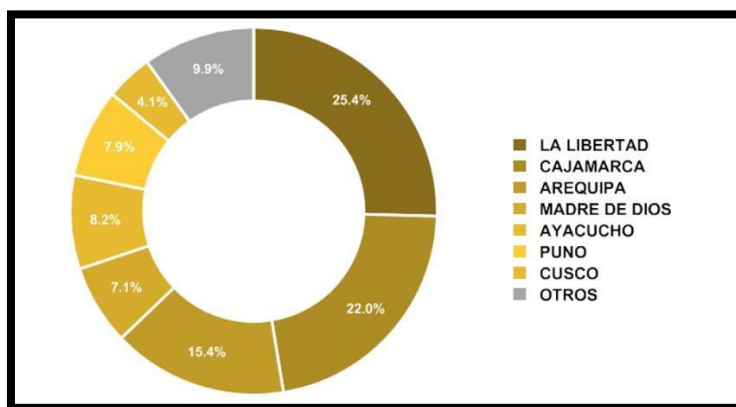


FIGURA N°63: Producción nacional de oro por regiones del 2018 (distribución porcentual).

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2019).

Por su parte, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. (7.3 toneladas métricas finas), Compañía Minera Ares S.A.C. (6.6 toneladas métricas finas), Minera Aurífera Retamas S.A. (6.3 toneladas métricas finas) y Consorcio Minero Horizonte S.A. (5.7 toneladas métricas finas) aportaron el 5.2%, 4.6%, 4.4% y 4.0% de la producción nacional, de los cuales Consorcio Minero Horizonte S.A. registró la mayor caída con respecto al año anterior (28.3%). (MINEM; 2019)

Con relación a los niveles de reservas metálicas de oro (probadas y probables), Perú posee 2,600 toneladas métricas finas (según el Servicio Geológico de los Estados Unidos), representando el 4.8% de las reservas mundiales, lo cual lo ubica en el quinto puesto en reservas a nivel mundial y en primer lugar a nivel latinoamericano. (MINEM; 2019)

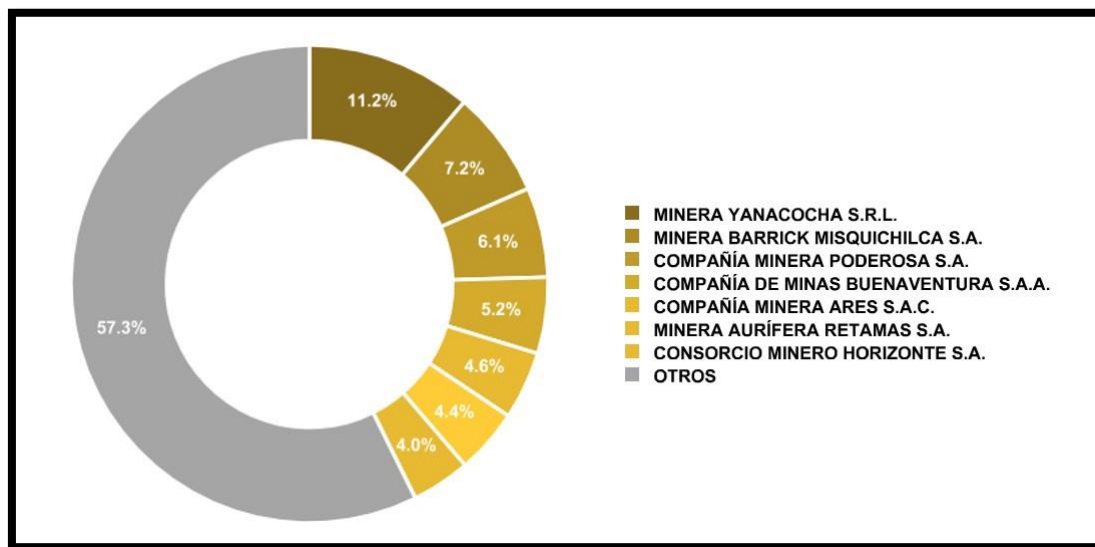


FIGURA N°64: Producción de las exportaciones nacionales de oro del 2018.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2019).

3.2. COTIZACIÓN

La cotización anual del oro se incrementó en 1.0% con respecto al 2017. En este sentido, el aumento registrado se encontró asociado principalmente al valor refugio del metal en medio de las tensiones comerciales entre Estados Unidos y China, el mismo que motivó la compra de este metal en grandes cantidades por parte de los Bancos centrales. (MINEM; 2019)

En abril del 2018, el precio del oro alcanzó un máximo anual proyectado de \$1,335 por onza troy desde hace 5 años. Opuestamente, el 19 de octubre, el precio bajó hasta el mínimo del año de \$1,131 por onza troy.

Cabe resaltar que en marzo del 2018 se registró la mayor cotización de dicho metal desde septiembre del 2014 (12.8 US\$/lb). (MINEM; 2019)

3.3. EXPORTACIONES

El volumen de oro exportado en el 2018 fue de 6,498 miles de onzas finas, representando un ligero incremento de 2.6% con respecto al año anterior, siendo que el mes de octubre de 2018 se exportaron 574.6 mil onzas finas de oro, registrando el mayor nivel de exportación del año.

El leve aumento tanto de la cotización del oro como del volumen de exportación de dicho metal generó el limitado crecimiento del valor de exportaciones en el 2018, el cual ascendió a US\$ 8,239 millones, aumentando en 0.7% respecto al 2017. (MINEM; 2019)

Este metal precioso tuvo una participación de 16.8% en el total de exportaciones nacionales, siendo India el principal país destino en el año 2018 absorbiendo el 30.4% de exportaciones de oro, mientras que Suiza ocupó el segundo lugar. Ambos países representaron el 59.1% del valor exportado. Le siguen Estados Unidos y Emiratos Árabes

Unidos, los cuales representaron en conjunto el 31.0% del total valor exportado. (MINEM; 2019)

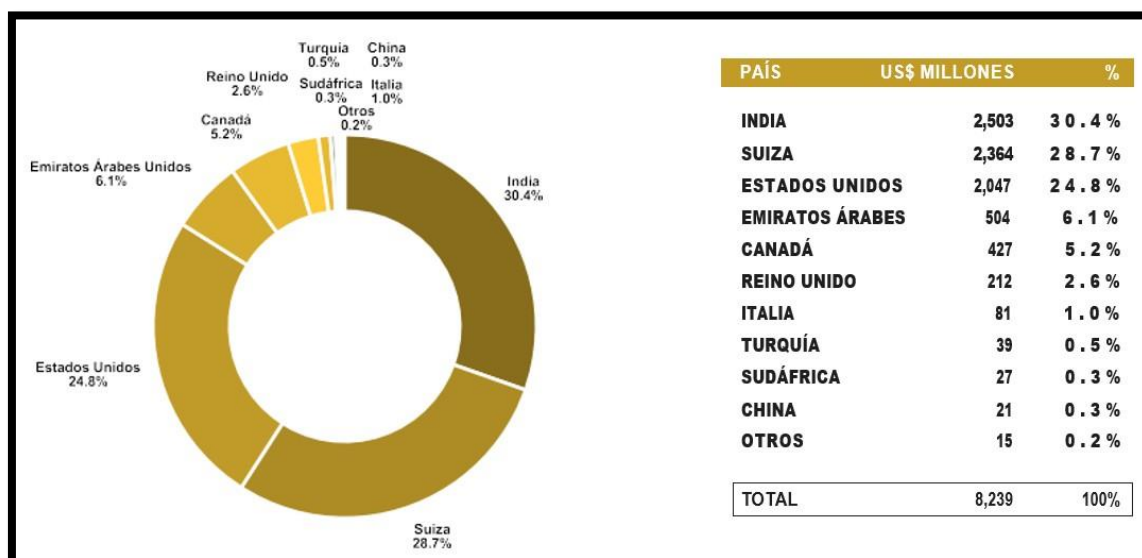


FIGURA N°65: Destino de las exportaciones nacionales de oro del 2018.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2019).

TABLA N°38: Producción mundial de oro por país entre el 2009 al 2018(Tmf)

PAÍS	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ^{1/}
TOTAL	2,484	2,579	2,677	2,752	2,922	3,015	3,097	3,109	3,232	3,259
CHINA	320	345	362	405	430	450	450	453	426	400
AUSTRALIA	224	261	260	252	268	274	278	290	301	310
RUSIA	193	189	200	218	230	249	252	253	270	295
ESTADOS UNIDOS	223	231	234	235	230	210	214	222	237	210
CANADÁ	97	102	103	107	124	151	153	165	164	185
PERÚ	184	164	166	162	151	140	147	153	152	143
GHANA	68	72	83	87	89	91	88	79	128	130
MÉXICO	51	73	89	103	120	118	135	111	126	125
SUDÁFRICA	198	189	180	155	160	152	145	145	137	120
UZBEKISTÁN	90	90	91	93	98	100	102	102	104	105
INDONESIA	140	106	78	69	60	69	97	80	75	85
KAZAJISTÁN	23	30	37	40	43	50	64	69	85	85
BRASIL	60	62	65	67	80	81	81	85	80	81
PAPÚA NUEVA GUINEA	64	63	62	59	54	58	60	62	64	65
OTROS	549	601	668	700	786	822	834	840	883	920

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2019).

TABLA N°39: Producción nacional de oro por empresa entre el 2009 al 2018 (gramos finos)

EMPRESA	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ^{2/}
TOTAL	183,994,692	164,084,389	166,186,717	161,544,666	151,486,072	140,097,028	146,822,907	153,005,897	151,964,040	142,642,543
MINERAYANACocha S.R.L.	64,016,538	45,461,506	40,220,576	41,864,948	31,640,329	30,168,698	28,565,282	20,782,825	16,630,743	16,004,804
MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A.	39,756,121	31,054,109	28,469,524	26,890,296	21,801,178	18,616,182	19,108,156	17,002,408	15,822,535	10,329,170
COMPAÑÍA MINERA PODEROSA S.A.	3,295,528	3,593,086	3,560,244	3,958,259	4,561,025	4,863,263	6,125,853	6,874,889	7,857,003	8,669,616
COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	11,153,731	11,969,698	10,633,851	8,526,026	7,743,310	7,581,843	6,772,095	5,913,111	7,672,121	7,371,658
COMPAÑÍA MINERAARES S.A.C.	2,315,842	1,810,726	1,451,974	1,387,716	1,257,872	1,598,733	2,888,057	6,184,335	6,332,221	6,565,769
MINERAAURÍFERA RETAMAS S.A.	4,749,675	4,868,809	5,160,322	5,465,292	5,498,865	5,630,877	5,625,874	6,090,844	6,461,216	6,260,954
CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.	5,008,215	6,007,356	5,897,883	5,727,388	6,201,810	7,681,698	7,785,563	7,538,711	7,933,711	5,689,679
COMPAÑÍA MINERA COIMOLACHE S.A.	-	-	1,379,797	4,330,000	4,438,674	4,503,412	4,503,361	4,632,813	4,734,850	5,385,131
GOLD FIELDS LA CIMA S.A.	-	-	5,232,225	5,507,609	5,167,059	4,884,014	5,148,749	4,912,076	5,165,324	4,908,683
LAARENA S.A.	-	-	1,656,104	6,213,785	6,563,922	6,829,558	7,132,784	6,340,655	5,870,708	4,764,478
COMPAÑÍA MINERAANTAPACCAY S.A.	-	-	-	595,115	2,448,415	2,144,886	3,829,140	3,563,015	4,366,208	4,124,241
ANABI S.A.C.	-	1,393,116	2,288,086	1,921,189	1,227,125	374,592	2,313,701	2,647,510	2,830,059	3,574,934
MINERA LAYTARUMA S.A.	2,790,001	3,056,077	3,353,524	3,304,711	2,923,314	3,124,881	2,796,159	3,188,992	2,707,894	3,282,952
MINSUR S.A.	-	-	-	-	581,633	3,295,369	3,685,685	3,285,352	3,100,289	3,213,942
COMPAÑÍA MINERALOSANDES PERÚ GOLD S.A.C.	-	-	-	-	-	-	-	560,157	2,222,328	2,795,017
SHAHUINDO S.A.C.	-	-	-	-	-	-	-	1,485,759	2,378,973	2,794,029
MINERA VETA DORADAS S.A.C.	-	636,336	1,408,178	1,900,878	2,391,064	2,096,312	2,101,576	2,231,272	2,502,001	2,540,637
MINERA LA ZANJA S.R.L.	-	1,188,626	4,179,617	3,496,040	4,273,322	4,470,086	4,148,171	4,346,144	3,987,359	2,227,764
COMPAÑÍA MINERA CARAVELÍ S.A.C.	915,303	989,185	955,306	1,098,794	1,309,362	1,410,937	1,358,896	1,441,023	2,606,758	1,843,939
ARUNTANI S.A.C.	5,334,864	6,512,497	6,194,307	5,530,637	4,915,097	5,244,797	4,723,309	3,663,069	2,242,175	1,084,294
OTROS	27,444,113	26,568,254	21,654,707	22,413,697	21,145,103	17,709,487	16,035,980	15,236,165	17,844,453	20,335,902
Estimado de mineros artesanales	17,214,759	18,975,010	22,490,492	11,412,287	15,397,595	7,867,402	12,174,515	25,084,772	20,695,112	18,874,949
MADRE DE DIOS	17,214,759	18,975,010	22,490,492	11,412,287	15,397,595	7,867,402	12,174,515	17,083,809	12,146,076	9,222,277
PUNO	-	-	-	-	-	-	-	5,710,996	6,377,675	6,822,520
AREQUIPA	-	-	-	-	-	-	-	1,557,953	1,895,905	2,048,825
PIURA	-	-	-	-	-	-	-	732,015	275,456	781,326

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2019).

Tabla N°40: Producción nacional de oro por regiones entre el 2009 al 2018 (gramos finos)

REGIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ^{2/}
TOTAL	183,994,692	164,084,389	166,186,717	161,544,666	151,486,072	140,096,998	146,822,907	153,005,897	151,964,040	142,642,543
LA LIBERTAD	52,684,364	48,065,515	46,949,046	52,285,732	47,613,196	46,196,881	47,307,939	43,893,865	43,001,775	36,299,589
CAJAMARCA	68,497,332	51,667,194	51,030,600	55,229,369	45,546,541	44,063,575	42,391,744	36,160,364	32,897,248	31,320,412
AREQUIPA	16,997,250	17,477,783	17,401,620	16,593,987	12,600,210	14,062,931	13,690,145	16,845,101	21,948,605	22,022,165
AYACUCHO	4,703,212	5,377,685	5,972,514	6,554,744	10,046,917	10,072,742	9,377,394	11,289,589	11,505,630	11,750,545
PUNO	3,342,211	2,802,637	3,007,653	3,878,924	4,502,978	5,022,183	4,834,483	10,323,798	10,651,401	11,200,342
MADRE DE DIOS	17,347,984	19,104,843	22,634,422	12,271,637	16,075,824	8,031,705	12,730,632	17,569,475	12,780,979	10,077,322
CUSCO	1,167,602	2,352,223	3,347,516	2,525,226	3,713,794	2,534,515	3,895,797	3,582,508	4,930,000	5,871,708
TACNA	95,299	93,700	87,096	73,526	674,069	3,374,394	3,766,452	3,357,594	3,170,547	3,340,948
ÁNCASH	8,588,589	6,147,420	4,908,211	3,525,552	3,013,919	552,089	2,331,459	2,966,640	3,823,286	2,752,591
APURÍMAC	94,544	-	-	-	-	733	2,299,287	2,647,510	2,830,059	2,606,347
PASCO	2,156,531	1,401,733	1,505,315	1,074,025	904,838	1,044,473	1,091,406	1,251,403	1,845,518	1,779,101
HUANCAVELICA	1,208,273	1,359,239	1,186,532	466,398	208,320	115,172	44,885	50,204	256,544	801,885
PIURA	-	-	-	-	-	-	-	732,015	275,456	781,326
JUNÍN	1,055,402	1,033,872	1,046,529	0	1	733,816	744,728	729,328	763,590	715,230
LIMA	580,410	571,692	763,539	1,362,533	1,297,347	487,184	433,384	453,355	516,738	661,634
MOQUEGUA	5,474,498	6,627,158	6,343,518	5,690,910	5,079,098	3,561,180	1,591,187	904,965	618,737	461,818
ICA	1,191	1,697	2,607	12,102	209,020	243,425	291,986	248,185	147,928	199,580
LAMBAYEQUE	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2019).

TABLA N°41: Producción nacional de oro según estratos de la minería entre el 2009 al 2018 (gramos finos)

ESTRATO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ^{2/}
TOTAL	183,994,692	164,084,389	166,186,717	161,544,666	151,486,072	140,096,998	146,822,907	153,005,897	151,964,040	142,642,543
GRAN Y MEDIANA MINERÍA	160,628,684	139,822,770	137,113,314	142,053,641	127,913,500	122,795,899	125,760,849	117,022,324	120,958,807	109,557,397
PEQUEÑO PRODUCTOR MINERO	6,121,452	5,236,285	6,542,549	8,048,910	8,173,018	9,433,727	8,739,973	10,680,604	10,027,468	14,199,279
PRODUCTOR MINERO ARTESANAL	29,797	50,324	40,363	29,829	1,959	-	147,570	218,197	282,652	10,918
PRODUCCIÓN ESTIMADA DE MINEROS ARTESANALES	17,214,759	18,975,010	22,490,492	11,412,287	15,397,595	7,867,402	12,174,515	25,084,772	20,695,112	18,874,949

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2019).

Durante el 2018, la producción mundial de cobre, oro, plata, zinc, hierro y molibdeno registraron un crecimiento de 5%, 0.9%, 0.7%, 4%, 2.9% y 1%, respectivamente. Sin embargo, la producción de estaño y plomo se vio reducida en el mismo año. (MINEM; 2019)

En el ranking mundial, el Perú se mantuvo como el segundo mayor productor de cobre, plata y zinc; asimismo, se posicionó en el tercer lugar como productor de estaño, cuarto lugar como productor de molibdeno y sexto lugar como productor de oro. Cabe destacar, que el país ascendió tres posiciones en el 2018 logrando ubicarse como el tercer mayor productor de plomo a nivel global. (MINEM; 2019)

A nivel nacional, la producción de hierro, estaño y zinc registraron un crecimiento de 8.3%, 4.6% y 0.1%, respectivamente en referencia al año 2017. No obstante, la producción de cobre, oro, plata, plomo y molibdeno disminuyeron en el mismo periodo. (MINEM; 2019)

Es de destacar en el 2018, que el incremento de la producción nacional de hierro se debió esencialmente al aumento registrado por Shougang Hierro Perú, quién culminó la construcción de su proyecto de ampliación de planta de 60,000 a 120,000 toneladas por día en julio del mismo año. (MINEM; 2019)

PRODUCTO	LATINOAMÉRICA	MUNDO
Oro	1	6
Cobre	2	2
Plata	2	2
Zinc	1	2
Plomo	1	3
Estaño	1	4
Molibdeno	2	4
Cadmio	2	8
Roca Fosfórica	2	11
Diatomita	1	5
Indio	1	7
Andalucita / Kyanita y minerales relacionados	1	4
Selenio	1	10

FIGURA N°66: Posición del Perú en el ránking mundial de producción minera en el año 2018.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2019).

IV. PLOMO EN EL MEDIO AMBIENTE

El análisis de oro y plata, por el método de ensayo al fuego, es uno de los métodos más usados a nivel mundial para la cuantificación de oro y plata por la exactitud de sus resultados, existe mucha bibliografía acerca de este método, pero poco respecto a la contaminación que genera. (Argueta; 2014)

Existe información acerca de este método de análisis y toda la bibliografía concuerda que el mayor cuidado que se debe tener es que el análisis por este método genera vapores de plomo los cuales son nocivos para la salud y para el medio ambiente. (Argueta; 2014)

El plomo puede entrar al ambiente a través de liberaciones desde minas de plomo y otros metales, desde fábricas que lo manufacturan, por aleaciones o compuestos de plomo. Este es liberado al aire cuando se quema carbón, petróleo o desechos.

Entre las fuentes de plomo en el polvo y la tierra se incluyen al que cae al suelo desde el aire y el desgaste y desprendimiento de pedazos de pintura con plomo desde edificios, puentes y otras estructuras. Los vertederos pueden contener desechos de minerales de plomo proveniente de las municiones o de otras actividades industriales como por ejemplo la manufactura de baterías. (Argueta; 2014)

Algunos compuestos de plomo son transformados a otras formas de plomo por la luz solar, el aire y el agua. Sin embargo, el plomo elemental no puede ser degradado. (Argueta; 2014)

4.1 TOXICOLOGÍA

Por otra parte, recientes estudios informan que hoy en día tenemos de 400 a 1.000 veces más plomo en los huesos que hace 400 años, debido a la presencia de este metal en alimentos y productos industriales. El plomo tiene graves efectos en diferentes órganos y en el cerebro afecta el desarrollo y capacidad mental de los niños. (Londoño; 2016)

“El plomo puede ser inhalado y absorbido a través del sistema respiratorio o ingerido y absorbido por el tracto gastrointestinal; la absorción percutánea del plomo inorgánico es mínima, pero el plomo orgánico si se absorbe bien por esta vía. Después de la ingestión de plomo, éste se absorbe activamente, dependiendo de la forma, tamaño, tránsito gastrointestinal, estado nutricional y la edad; hay mayor absorción de plomo si la partícula es pequeña, si hay deficiencia de hierro y/o calcio, si hay gran ingesta de grasa o inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si se es niño, ya que en ellos la absorción de plomo es de 30 a 50 por ciento mientras que en el adulto es de 10% niños. (Londoño; 2016)

Luego de su absorción el plomo se distribuye en compartimentos, en primer lugar, circula en sangre, luego se distribuye a los tejidos blandos como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central que son los órganos blanco de toxicidad, luego de 1 a 2 meses el plomo difunde a los huesos donde es inerte y no tóxico. El metal puede movilizarse del hueso en situaciones como inmovilidad, embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad. (Argueta; 2014)

No obstante, es importante considerar que los seres vivos requieren pequeñas cantidades de estos metales, por ejemplo (plomo, zinc, hierro, etc.) para varias funciones biológicas. Sin embargo, una escasa o excesiva concentración de éstos pueden alterar procesos bioquímicos y/o fisiológicos en el organismo. Y realmente lo que hace tóxico a los metales pesados no son sólo sus características químicas, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y más importante aún, el tipo de compuesto o metabolito que forman, por ejemplo, el metilmercurio. Además, las interacciones entre los metales y sus efectos tóxicos pueden complicar las enfermedades. (Londoño; 2016)

“El plomo cruza la placenta y la barrera hematoencefálica. Finalmente se excretará por orina en un 90%, y en menor cantidad en la bilis, piel, cabello, uñas, sudor y leche materna. Hay que recordar que en el hueso está depositado el 90% del plomo y que una disminución de la plumbemia sin quelación indica esta distribución a tejido blando y hueso. (Argueta; 2014)

4.2 TRATAMIENTO

Las siguientes son recomendaciones de la Organización Internacional del Trabajo para la prevención en trabajadores expuestos, las cuales deben seguirse para evitar la intoxicación por plomo:

- Dentro de lo posible reemplazar el plomo por sustancias menos tóxicas.
- Los trabajadores deben contar con un Equipo de Protección Individual
- (EPI) adecuado como son máscaras con filtros especiales para plomo y ropa protectora, que debe lavarse o cambiarse regularmente.

- La ropa protectora de determinadas fibras sintéticas retiene menos polvo que los de algodón y debe utilizarse siempre que las condiciones de trabajo lo permitan.
- Evitar la ropa con vueltas, pliegues y bolsillos en los que se pueda acumular el polvo.
- No llevar la ropa de trabajo a la casa.
- Se ha de dar a los trabajadores el tiempo necesario para lavarse antes de comer y debe estar prohibido comer y fumar en las proximidades de las áreas en que se procesa el plomo. Deberán existir zonas adecuadas para comer.
- La limpieza de las salas y el edificio en que se procesa el plomo debe realizarse continuamente ya sea por un proceso en húmedo o con aspiradores. Cuando, a pesar de estas precauciones, los trabajadores sigan estando expuestos al plomo, deberán contar con un equipo de protección respiratoria adecuadamente mantenido. Dicho equipo deberá revisarse para garantizar su limpieza y eficacia; también se vigilará que se utilice en caso necesario. (Argueta; 2014)

