



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO CHIDDY Y
ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA COMO
MÉTODOS DE ANÁLISIS DEL ORO EN SOLUCIONES
CIANURADAS EN CEPROMET MINERA PORVENIR S.A.C

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. DULIA CONDORI VILCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A Dios por haber permitido llegar hasta aquí,
por darme fuerza y salud para llevar a cabo
mis metas y objetivos.

A mis padres Alberto Condori Vélez y
Alejandra Vilca de Condori por ser pilar
fundamental en mi vida, quienes con su
amor, paciencia y esfuerzo me han permitido
llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias
por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y
valentía, de no temer las adversidades
porque Dios está conmigo siempre. Es un
orgullo y privilegio de ser su hija, son los
mejores padres.

A mis hermanos Alber, Marivel, Ayde y
Alfredo Condori Vilca por su cariño y apoyo
incondicional, durante todo este proceso, por
estar conmigo en todo momento gracias.
¡Nunca cambien!

A mis sobrinas Magdiel y Shayummy y a
todos en general que de una u otra forma me
acompañan en todos mis sueños y metas.

Dulia Condori Vilca



AGRADECIMIENTOS

- Quiero expresar mi gratitud, en primer lugar a Dios, por haberme dado la vida, acompañado a lo largo de mi carrera, por ser mi luz en mi camino y por darme la sabiduría, fortaleza para alcanzar mis objetivos.
- A mis padres quienes son mi motor y mi mayor inspiración, que a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino. Gracias a mi familia por creer en mí y por apoyarme en cada decisión y proyecto.
- También hago extenso este reconocimiento a los miembros del jurado evaluador Dra. Darssy Argelida Carpio Ramos, Dr. Hipólito Córdova Gutiérrez, Dr. Esteban Rey Chávez Gutiérrez por el tiempo dedicado y los conocimientos brindados y a mi asesor Dr. Héctor Clemente Herrera Córdova, por su ayuda, paciencia y orientación en el desarrollo de esta investigación.
- De igual manera, mis agradecimientos a mi alma mater querida Universidad Nacional del Altiplano - Puno, a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida y a mis docentes quienes supieron impartir sus conocimientos con mucho esfuerzo, para hacer posible mi formación profesional.
- Finalmente, a todas las personas que me apoyaron e hicieron posible que este trabajo se realice con éxito.

A todos, muchas gracias!

Dulia Condori Vilca



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1. Problema general.....	16
1.2.2. Problemas específicos	16
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	16
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4.1. Hipótesis general	17
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.5.1. Objetivo general	18
1.5.2. Objetivos específicos	18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	19
------------------------	----



2.2.	MARCO TEÓRICO.....	21
2.2.1.	Análisis de oro.....	21
2.2.2.	Soluciones cianuradas	22
2.2.3.	Teorías de solubilidad en soluciones cianuradas	23
2.2.4.	Reactivos utilizados para la solución cianurada.....	26
2.2.5.	Espectroscopia de absorción atómica.....	27
2.2.6.	Definición de términos	38
2.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	40

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	ENFOQUE, TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	41
3.1.1.	Enfoque de investigación	41
3.1.2.	Tipo de investigación	41
3.1.3.	Diseño de investigación	41
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	42
3.2.1.	Población.....	42
3.2.2.	Muestra.....	42
3.3.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL SEGÚN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS	44
3.3.1.	Método chiddy de análisis del oro en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.....	44
3.3.2.	Método de espectroscopia de absorción atómica para el análisis del oro en soluciones cianuradas propuesto en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C	61



3.3.3. Comparación del método actual en la empresa y la espectroscopia de absorción atómica.....	66
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	69

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS	70
4.1.1. Del método chiddy de análisis del oro en CEPROMET Minera Porvenir S. A. C	70
4.1.2. Del método de espectroscopia de absorción atómica para el análisis de oro en soluciones cianuradas propuesto en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.	78
4.1.3. Comparación del método actual en la empresa y la espectroscopia como método alternativo	82
4.2. DISCUSIÓN	112
V. CONCLUSIONES.....	114
VI. RECOMENDACIONES.....	116
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXOS.....	122

Área : Metalurgia Extractiva

Tema : Estudio comparativo entre el método chiddy y espectroscopia de absorción atómica como métodos de análisis del oro en soluciones cianuradas en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 de enero de 2022.



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Espectroscopia por absorción atómica	32
Figura 2. Esquema básico de un espectrómetro de absorción atómica.....	33
Figura 3. Curva de operación característica para la prueba t de dos colas con $\alpha = 0.05$ (Reproducida con permiso de “Operating Characteristics Curves for the Common Statistical Tests of Significance”).....	43
Figura 4. Muestreo de cabeza de cianuración tanque No 1 y relave final	49
Figura 5. Filtrado de muestra pulpa en laboratorio químico.....	50
Figura 6. Medición de muestra solución.....	51
Figura 7. Pesado de zinc en polvo, acetato de plomo y de NaCN 0,5%	51
Figura 8. Control de Ph.....	52
Figura 9. Eliminación de oxígeno	52
Figura 10. Agregando insumos en constante agitación	52
Figura 11. Formación de la esponja.....	53
Figura 12. Enumeración de bolsas conteniendo fundente.....	54
Figura 13. Preparación de los crisoles codificados	54
Figura 14. Crisoles listos para cargar al horno de fundición	56
Figura 15. Colada del contenido del crisol en el centro de las cavidades de las lingoteras	56
Figura 16. Régulos para darles forma de cubos	56
Figura 17. Carguío de régulos.....	57
Figura 18. Botón de oro y plata (dore).....	58
Figura 19. Laminación del dore	59
Figura 20. Liberación del oro con HNO ₃	59



Figura 21.	Lavado para obtener oro libre.....	59
Figura 22.	Pesado del oro.....	60
Figura 23.	Espectrofotómetro de absorción atómica.	66
Figura 24.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy - Filtrado de pulpa muestra.....	71
Figura 25.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy – Precipitación	71
Figura 26.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy - Preparación de muestras para fundir	72
Figura 27.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy - Fundición.....	73
Figura 28.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy – Copelación.....	73
Figura 29.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy - Partición.....	74
Figura 30.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy - Pesado de botones de oro y cálculo	75
Figura 31.	Diagrama causa – efecto. Método Chiddy.	77
Figura 32.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Absorción atómica - Filtrado de pulpa muestra	78
Figura 33.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Absorción atómica – Primeros pasos.....	79
Figura 34.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Absorción atómica – Lectura en el espectrofotómetro de AA.....	80



Figura 35.	Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Absorción atómica – Registro y cálculo (automáticamente)	81
Figura 36.	Resultados por ambos métodos utilizando solución Barren	88
Figura 37.	Diagrama de caja - Solución barren	89
Figura 38.	Resultados por ambos métodos utilizando solución Over Flow	90
Figura 39.	Diagrama de caja - Solución over flow	91
Figura 40.	Grafica de probabilidad de sol. barren AA, día 1,2,3,4,5 y 6.....	93
Figura 41.	Grafica de probabilidad de sol. barren Método Chiddy, día 1,2,3,4,5 y 6.....	95
Figura 42.	Grafica de probabilidad de residuos: Resultados Barren Vs. Días; Método.....	97
Figura 43.	Prueba de igualdad de varianzas: Resultados Barren vs. Días; Método	98
Figura 44.	Grafica de probabilidad de sol. o/f AA, día 1,2,3,4,5 y 6.....	101
Figura 45.	Grafica de probabilidad de sol. o/f chiddy, día 1,2,3,4,5 y 6	103
Figura 46.	Grafica de probabilidad de residuos: resultados O/F VS. Días; Método.....	104
Figura 47.	Prueba de igualdad de varianzas: resultados O/F Vs. Días; Método.....	105
Figura 48.	Prueba de igualdad de varianzas: resultados o/f vs DÍAS; MÉTODO (eliminando día 3).....	106
Figura 49.	Comparación método Chiddy y Absorción atómica.....	107
Figura 50.	Costos por muestra	111



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ventajas y desventajas de la espectroscopia por absorción atómica	29
Tabla 2. Operacionalización de variables	40
Tabla 3. Composición del Flux	54
Tabla 4. Intervalos de precisión de salida	63
Tabla 5. Matriz experimental para el registro de datos de sol. Barren	68
Tabla 6. Matriz experimental para el registro de datos de sol. O/F	68
Tabla 7. Resumen DAP – Método Chiddy	75
Tabla 8. Resumen DAP – Método Absorción atómica	81
Tabla 9. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren día 1	82
Tabla 10. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren en el día 2.....	83
Tabla 11. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren en el día 3.....	83
Tabla 12. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren en el día 4.....	84
Tabla 13. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren en el día 5.....	84
Tabla 14. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren en el día 6.....	84
Tabla 15. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 1	85
Tabla 16. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 2	86
Tabla 17. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 3	86
Tabla 18. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 4	86
Tabla 19. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 5	87
Tabla 20. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 6	87
Tabla 21. Resumen de lecturas de oro utilizando solución barren.....	88
Tabla 22. Resumen de Lecturas de oro utilizando solución O/F	90
Tabla 23. Prueba de valores atípicos sol. Barren AA	94



Tabla 24. Prueba de valores atípicos sol. barren chiddy	96
Tabla 25. Información del factor.....	99
Tabla 26. Análisis de varianza	99
Tabla 27. Prueba de valores atípicos sol. O/F AA	102
Tabla 28. Prueba de valores atípicos sol. O/F Chiddy	104
Tabla 29. Comparación método Chiddy y Absorción atómica.....	107
Tabla 30. Costos de insumos del proceso actual.....	108
Tabla 31. Costos de materiales/herramientas del proceso actual.....	109
Tabla 32. Costos de insumos del método propuesto	110
Tabla 33. Costos de materiales/herramientas del método propuesto	110
Tabla 34. Costos de los análisis	111



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AA	: Absorción atómica
ANOVA	: Análisis de varianza
Au	: Oro
cm	: Centímetro
CN	: Cianuro
DAP	: Diagrama de análisis del proceso
g	: Gramo
h	: Hora
Ha	: Hipótesis alterna
Ho	: Hipótesis nula
kg	: Kilogramo
m	: Metro
mg/l	: Miligramo por litro
min	: Minuto
ml	: Mililitro
O/F	: Over flow
pH	: Potencial de hidrógeno
ppm	: Partes por millón
psi	: Libras por pulgada cuadrada
s	: Segundo
S.A.C.	: Sociedad Anónima Cerrada



RESUMEN

El estudio comparativo entre el método chiddy y espectroscopia de absorción atómica como métodos de análisis del oro en soluciones cianuradas en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.; tiene como objetivo determinar el método más eficiente con lo que respecta al análisis de soluciones cianuradas de oro. Para lo cual primeramente se describe el método actual chiddy; por el cual las soluciones son sometidas a un filtrado, precipitación con polvo de zinc, preparación y dosificación de insumos químicos, fundición, copelación, partición y pesado de botones de oro. Para cada lectura se han tomado 1000 ml de solución barren y 500 ml de solución over flow en vaso de precipitación de 2000 ml y el tiempo requerido es de 559,80 minutos y para el método de absorción atómica las soluciones también son sometidos a un filtrado, preparación de estándares de calibración, lectura de ley y registro de lecturas de oro. Para cada lectura se han tomado 10 ml de solución barren y 10 ml de solución over flow en vaso de precipitación de 25 ml y el tiempo requerido es de 52,60 minutos. Al realizar la comparación de ambos métodos se determinó que con el método chiddy se reduce el tiempo de 559,80 minutos a 52,60 minutos siendo eficiente en un 90,60% y las distancias recorridas dentro del laboratorio de 97 metros a 12 metros siendo eficiente en un 87,63%. Al aplicar ANOVA en la prueba de hipótesis a un nivel de confianza del 95% se obtuvo que existen diferencias en las lecturas de ley obtenidas por ambos métodos tanto para solución barren y para solución over flow y cuando se utiliza la solución barren con el método chiddy se observó que no puede reportar leyes menores de 0,022 ppm de oro mientras que con el método de absorción atómica se pudo leer concentraciones desde 0,007 ppm de oro.

Palabras clave: Absorción atómica, análisis del oro, método chiddy, soluciones cianuradas.



ABSTRACT

The comparative study between the chiddy method and atomic absorption spectroscopy as gold analysis methods in cyanide solutions at CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.; aims to determine the most efficient method with regard to the analysis of cyanide gold solutions. For which the current chiddy method is first described; whereby the solutions are subjected to filtering, precipitation with zinc dust, preparation and dosage of chemical inputs, smelting, cupellation, partitioning and weighing of gold buttons. For each reading, 1000 ml of barren solution and 500 ml of over flow solution have been taken in a 2000 ml beaker and the time required is 559,80 minutes and for the atomic absorption method the solutions are also subjected to filtering, preparation of calibration standards, grade reading and recording of gold readings. For each reading, 10 ml of barren solution and 10 ml of over flow solution have been taken in a 25 ml beaker and the time required is 52,60 minutes. When comparing both methods, it was determined that the chiddy method reduces the time from 559,80 minutes to 52,60 minutes, being efficient by 90,60% and the distances traveled within the laboratory from 97 meters to 12 meters, being efficient by 87,63%. When applying ANOVA in the hypothesis test at a confidence level of 95%, it was obtained that there are differences in the grade readings obtained by both methods for both the barren solution and the over flow solution and when the barren solution is used with the chiddy method It was observed that it cannot report grades lower than 0,022 ppm of gold, while with the atomic absorption method it was possible to read concentrations from 0,007 ppm of gold.

Keywords: Atomic absorption, gold analysis, chiddy method, cyanide solutions.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La minería es una de las fuentes principales de rentabilidad económica en el país, una de estas mineras se dedica a la extracción de oro, la cual es CEPROMET Minera Porvenir S.A.C. la cual se encuentra ubicada en Cerro Colorado, Arequipa. En los laboratorios de la empresa se realizan diariamente análisis del mineral oro en soluciones cianuradas, el cual proviene de diferentes plantas. La cual utiliza como método principal de las lecturas de ley de oro el método chiddy, el cual se caracteriza por ser un método tradicional, que tiene como principio la obtención final de botones de oro de las muestras minerales que pasan a través de los procesos de absorción con polvos de zinc, fundición, copelación, partición (ataque químico) y calcinación (Churqui & Condori, 2019).

Al realizar este método se vienen presentando una serie de problemas entre los cuales se encuentran: la lentitud del proceso, el número de análisis que se realizan al día, entre otros que ocasionan una pérdida de dinero y tiempo, debido a esto en esta investigación se compara con la espectroscopia de absorción atómica, para determinar la ley de minerales como el oro, el cual se realiza en un menor tiempo, lo que trae como consecuencia un aumento considerable en los análisis que se realizan (Daga, 2020).

En base a lo expuesto esta investigación se plantea la siguiente interrogante ¿En qué medida se podrán comparar el método Chiddy y la espectroscopia de absorción atómica como métodos de análisis del oro en soluciones cianuradas en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿En qué medida se podrán comparar el método chiddy y la espectroscopia de absorción atómica como métodos de análisis del oro en soluciones cianuradas en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Será posible evaluar el método chiddy de análisis del oro en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.?
- ¿Sera posible evaluar el método de espectroscopia de absorción atómica para el análisis del oro en soluciones cianuradas propuesto en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se justifica bajo la premisa de la implementación de un método alternativo que genere mayores beneficios en materia de calidad, tiempo y costos; cuyas vertientes se consideran importantes para toda empresa. En ese sentido, la problemática contempla factores determinantes como lo son el empleo de análisis químico que se ejecutan en la empresa CEPROMET Minera Porvenir S.A.C. y que generan un impacto negativo al requerir el uso de reactivos de alto costo y contaminantes para el medio ambiente, dada la producción de Pb o gases como el NO₂ que se emanan durante el proceso.

Al respecto, se considera importante destacar que el procedimiento actualmente ejecutado dentro de la empresa no cumple con los estándares de calidad exigidos, al



arrojar resultados poco precisos y que, en ocasiones, requieren de la repetición de estos para alcanzar la confiabilidad deseada. Esto incurre directamente en los tiempos óptimos de la empresa y en sobrecostos que son asociados a estas actividades.

Dado que en la actualidad existen diversos métodos de análisis químico para analizar el oro y otros minerales por vía instrumental, nace la necesidad de proponer un método propio para la empresa que cumpla con todos estos estándares de calidad, tiempo y reducción de costos; para beneficiar directamente en la gestión actual y brindar seguridad a los trabajadores y cuidados respectivos al medio ambiente.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, el empleo de la espectroscopia de absorción atómica para el análisis del oro en soluciones cianuradas permitirá a la empresa contar con un método analítico eficaz que genera resultados óptimos que apuntan a mejorar las deficiencias en cuanto a tiempo, distancias recorridas y actividades realizadas.

Como valor agregado a ello, también les permitirá observar la reducción de costos y mantenerse dentro del rubro científico con respecto a la competencia, en la cual cada día se exigen innovaciones a nivel riguroso que promuevan el desarrollo sustentable de la economía.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

Al comparar el método chiddy y espectroscopia de absorción atómica como métodos de lectura de ley en soluciones cianuradas, se evidencian diferencias significativas en las salidas de lecturas de ley.



1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Investigar el estudio comparativo entre el método chiddy y espectroscopia de absorción atómica como métodos de análisis del oro en soluciones cianuradas en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar el método chiddy de análisis del oro en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.
- Evaluar el método de espectroscopia de absorción atómica para el análisis del oro en soluciones cianuradas propuesto en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

En primer lugar, se consideró el artículo de Pérez y Vargas (2017) que se enfocó en determinar la metodología analítica más confiable para cuantificar el oro en soluciones cianuradas y, con ello, aminorar la variabilidad de los resultados obtenido al realizar el control de calidad. La investigación fue de tipo analítico y enfoque mixto, y se utilizaron equipos de absorción atómica (AA), así como espectroscopia de fluorescencia de rayos x, para determinar el método más efectivo de cuantificación del oro en soluciones cianuradas. Se encontró que ambas técnicas son eficientes para la cuantificación de oro; sin embargo, si se desea mejores resultados, se debe realizar un ajuste polinómico en el modelo de regresión. Cabe resaltar que el método de AA presentó alto porcentaje de recuperación en los tres tipos de concentraciones, además de presentarse invariable ante diversas situaciones de cuantificación de oro.

Asimismo, se revisó la tesis de Espinoza (2019) que tuvo como objetivo general “evaluar el proceso metalúrgico que sea eficaz para la extracción de oro y plata en concentrados sulfurosos tratados con tostación parcial o de oxidación química” (p. 6). Para ello, se emplearon reactivos como CaO, MgO, H₂O₂, NaCN, AgNO₃, KI, C₃H₃NOS₂, a fin de determinar el cianuro libre, para lo cual se empleó el ensayo al fuego y la espectroscopia de absorción atómica. Cabe resaltar que esta última técnica se utilizó con la finalidad de conocer el contenido presente en el concentrado, además de servir de herramienta para establecer los valores metálicos en las soluciones cianuradas.



Daga (2020) desarrolló una tesis orientada a “determinar la comparación analítica del ensayo al fuego y espectroscopia para muestras geoquímicas de alto contenido de oro y plata-Bureau Veritas S.A., 2019” (p. 15). La tesis fue de tipo descriptiva, diseño no experimental y enfoque cuantitativo. Las técnicas de recolección de datos fueron la observación directa y experimental, siendo los instrumentos; accesorios instrumentales de medición. Cabe resaltar que esta investigación se orientó a realizar una comparación entre las metodologías de análisis, enfocándose en establecer valores de absorbancia, concentración de los minerales (Au y Ag), límite de cuantificación y curva de calibración. Respecto a las muestras de estudio, se consideraron cinco réplicas de muestras de oro, de alrededor de 0,2 g. Luego de realizar el análisis, se encontró que para muestras del peso indicado se encontró un porcentaje de pureza de $99,993 \pm 0,0056$, con un nivel de confiabilidad del 95%; además, se estableció que para muestras de Au por debajo de 100 ng/g es mejor utilizar la técnica de espectroscopia de absorción atómica.

Adicionalmente, se tomó en cuenta el estudio de Lipa (2019) que tuvo como objetivo “describir el análisis de oro y plata para los distintos tipos de mineral geoquímico y concentrado en diferentes procesos en la unidad minera ARUNTANI S.A.C” (p. 16). En la instalación minera de análisis, se recibieron muestras del mineral con un peso de alrededor de 5kg, los cuales fueron codificados y verificados. Posteriormente, se redujo su nivel de humedad al exponerlos a temperaturas de 150° C en un horno de secado para, luego, realizar el chanchado primario y secundario. Seguidamente, se obtuvieron muestras representativas de 200 a 300 g, para luego ser pulverizados y analizados a partir de técnicas analíticas como el método chiddy y espectroscopia de absorción atómica, siendo este último el que disgrega el oro con ayuda de ácidos, a fin de cuantificarlo.

En el ámbito local, se consideró la tesis de Rosado (2017) que tuvo como objetivo general “evaluar el análisis químico en el primer ataque para el tratamiento de los



minerales de oro en la empresa minera Aruntani S.A.C., proyecto minero Andrés-Jessica” (p. 2). La investigación es de tipo aplicativo, enfoque mixto y diseño experimental. Esta tesis incluyó un paso de lectura en equipo de absorción atómica, resaltando que su función es determinar, cuantitativamente, el oro que se presenta en las soluciones cianuradas, el cual se puede optimizar al controlar el nivel de temperatura en el equipo de absorción atómica, además de considerar el reactivo y número de crisoles.

Finalmente, se revisó la tesis de Reinoso (2018) donde, luego del chancado y molienda, se aplicó la cianuración del oro como método para obtener el metal con granulometría adecuada y, posteriormente, se utilizó el equipo de absorción atómica para determinar la precipitación y recuperación del solvente que contiene a este metal. Cabe resaltar que la investigación realizó el proceso de análisis en un laboratorio químico, tanto a soluciones químicas como a sólidos, siendo en esta área donde se empleó la espectroscopia por absorción atómica.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Análisis de oro

2.2.1.1. Propiedades físicas y químicas

El oro tiene un peso atómico de 197.2 y número 79. Adicionalmente, respecto a sus propiedades físicas, presenta un punto de fundición de 1063 °C (1337.33 K), además de un punto de ebullición de 2700 °C y su densidad es de 19.3 kg/m³ (Joyería Plaor, 2016).

Respecto a sus propiedades químicas, el oro (Au) es un elemento que se encuentra en el grupo 11, periodo 6 y bloque d de la tabla periódica, con una masa atómica de 196.966569 u. Este metal tiene una tonalidad amarilla-dorada, brillo metálico, se



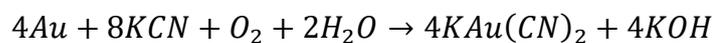
encuentra en estado sólido y su estructura es cristalina cúbica centrada en las caras. En cuanto a su electronegatividad, el oro tiene un valor de 2,54, conductividad térmica de 317 W/Km, conductividad eléctrica de $45,5 \times 10^6$ S/m, y calor específico de 128 J/(K·kg). Finalmente, respecto al radio de este elemento, presenta un radio medio de 135 pm, radio covalente de 144 pm, radio atómico de 174 y radio de van der Waals de 166 pm. (Churqui y Condori, 2019).

Además, una de las propiedades del oro (Au) es ser inactivo, por lo que no lo afectan otras sustancias; sin embargo, es preciso destacar que el oro (Au) solo es soluble con cianuro, agua de cloro y mezcla de agua (Joyería Plaor, 2016).

2.2.2. Soluciones cianuradas

Las soluciones cianuradas hacen referencia a la mezcla del cianuro con otra sustancia, a fin de que estos actúen como soluto y solvente. En este sentido, para entender a cabalidad este tipo de soluciones, es necesario conocer qué es una solución, así como las características del cianuro.

Las soluciones cianuradas, también denominadas soluciones ricas, son utilizadas, fundamentalmente, para la cuantificación del oro, ya que estas posibilitan la disolución de metales preciosos (proceso de cianuración), en base a la siguiente fórmula:



Al respecto, Fouad, Elrakaiby y Hashim, citados por Pérez y Vargas (2017), señalan que, la cuantificación de oro, haciendo uso de soluciones cianuradas, requieren de técnicas y métodos instrumentales que permitan determinar el oro, tales como espectroscopía de absorción atómica, ya que estas extraen el solvente de la solución y brindan resultados fidedignos de análisis.



2.2.3. Teorías de solubilidad en soluciones cianuradas

Estas teorías intentan explicar el mecanismo de disolución de metales preciosos en soluciones saturadas. Al respecto, Chávez (2014) destaca las siguientes:

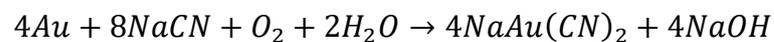
1) Teoría de Janin

También denominada teoría de hidrógeno, siendo Janin quien afirmó que la disolución de oro en soluciones cianuradas genera gas hidrógeno, conllevando a la siguiente reacción:



2) Teoría de Elsner

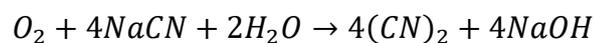
Esta teoría afirma que el oxígeno es un reactante fundamental en la disolución del oro, provocando la siguiente reacción:



Cabe resaltar que esta teoría fue ratificada por Mcclaurin y Christy, quienes rechazaron la teoría del hidrógeno por ser termodinámicamente imposible, puesto que se muestra una constante baja de equilibrio.

3) Teoría de formación de cianógeno

Esta teoría fue postulada por Christy, quien afirmó que el oxígeno es un componente esencial para la formación de gas cianógeno, postulando que este es un agente lixivante en la disolución de oro, siendo estas las reacciones:

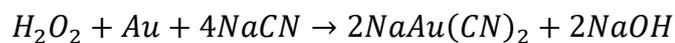
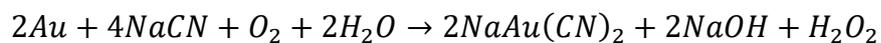




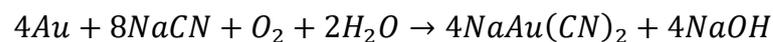
Es preciso señalar que la suma de ambas reacciones conlleva a la ecuación de Elsner. En este mismo marco, se debe considerar la teoría de formación de cianatos postulada por Mac Acur, quien destacó que, si el oxígeno es esencial para la disolución del oro, entonces el cianato de potasio (generado por la oxidación del cianuro) representa un agente activo, el cual actúa sobre la disolución. No obstante, esta teoría fue refutada por Green en 1913, quien demostró que el cianato no genera ninguna reacción sobre el metal precioso.

4) Teoría de Bodlander

También denominada teoría de peróxido de hidrógeno, esta fue postulada por Bodlander, quien afirmó que la disolución de oro mediante soluciones cianuradas se lleva a cabo en dos etapas, conllevando las siguientes reacciones:

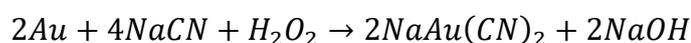


Ambas resultan en la siguiente ecuación:



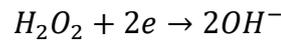
Entonces, como se puede observar, el peróxido de hidrogeno se genera a un punto intermedio de la reacción, siendo 70% la cantidad teórica de H_2O_2 .

Asimismo, diversos estudios han demostrado que la disolución de oro en soluciones $NaCN$ y H_2O_2 , y en ausencia de oxígeno, el proceso se torna lento, provocando la siguiente reacción:

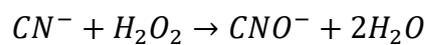




Esta última genera una reacción de reducción:

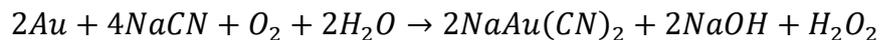


Es preciso señalar que la reacción se inhibe si la cantidad de peróxido de hidrogeno es mayor, a consecuencia de la oxidación que provoca el ion de cianuro, generando el cianato, el cual no tiene acción disolvente sobre el metal precioso, como se evidencia en la siguiente reacción:



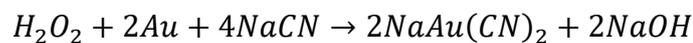
5) **Postulado de Habashi**

Esta teoría apoya la primera ecuación de reacción de Bodlande:

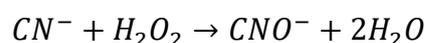


En base a esta ecuación, se puede afirmar que la disolución de oro es de naturaleza electroquímica, en base a lo siguiente: por dos equivalentes de oro disuelto, se consume un mol de O_2 , así como cuatro moles de CN y, asimismo, se forma peróxido de hidrogeno, produciendo un mol de H_2O_2 .

Cabe señalar que la disolución de oro en soluciones como $NaCN + H_2O_2$, si considerar el oxígeno, provoca un proceso lento, de acuerdo a la siguiente reacción:



Además, la disolución de oro se inhibe cuando se presenta H_2O_2 en exceso, a consecuencia de la oxidación del cianuro, lo que conduce a generar cianato, elemento que no actúa en la disolución del metal en soluciones cianuradas.

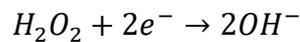
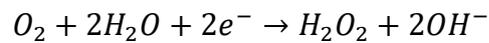




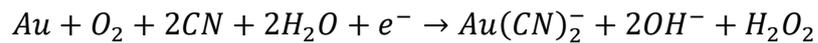
6) Teoría de corrosión

Esta teoría fue postulada por Boonstra, quien demostró que la disolución de oro en soluciones cianuradas es un proceso que conduce a la corrosión del metal precioso, ya que el oxígeno que integra la solución se reduce a peróxido de hidrogeno y ion oxhidrilo. En este sentido, se postularon las siguientes ecuaciones de reacción:

- Reducción catódica



- Reducción anódica



Es preciso señalar que esta teoría fue experimentada por Thomson, en 1947, quien demostró su veracidad.

2.2.4. Reactivos utilizados para la solución cianurada

De acuerdo con citado por Churqui y Condori (2019) básicamente, se utilizan dos reactivos para el proceso de cianuración:



a) **Cianuro de sodio**

También denominado cianuro sódico, este reactivo hace referencia a la sal sódica del ácido cianhídrico, el cual se caracteriza por su solidez e incoloridad. Cabe señalar que el cianuro de sodio hidroliza fácilmente en presencia de dióxido de sodio y agua, generando el carbonato sódico, así como el ácido cianhídrico.



Respecto a sus propiedades físicas y químicas, este compuesto tiene una masa molecular de 49,01 g/mol, punto de ebullición de 1,496 °C y punto de fusión de 563° C. Además, el cianuro de sodio tiene una densidad de 1,60 g/ml. Es preciso destacar que este se aplica en la minería para extraer el oro (Au) de los minerales, así como la plata (Ag) de la roca madre.

b) **Hidróxido de sodio**

También denominada sosa caustica, este compuesto se encuentra en estado sólido y con tonalidad blanquecina (condiciones normales), y capta la humedad ambiental, además de representar un corrosivo importante que disuelve fácilmente los metales preciosos en el agua al desprender grandes cantidades de calor.

2.2.5. **Espectroscopia de absorción atómica**

Tradicionalmente, la espectroscopia es entendida como el estudio de la luz dispersa sobre un prisma, en base a su longitud de onda. Posteriormente, este concepto se amplió y, hoy en día, este es entendido como el análisis de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, de acuerdo con su frecuencia. Entonces, específicamente, la espectroscopia permite obtener la medida en que interactúan la luz en función a diversas longitudes de onda (Agilent Technologies, 2016).



Entonces, la intensidad de radiación ya sea emitida o absorbida, por la materia, es visualizada a través de espectros, los cuales se basan en la longitud de la onda de radiación. Respecto a los espectros de absorción, es preciso señalar que estos se obtienen al someter la materia a radiación electromagnética continua. Esta radiación, al atravesar una capa transparente de la materia, interactúa con esta, conllevando a diversos fenómenos, tales como la absorción de la radiación (Serrano, 2017).

Cabe resaltar que los espectros de absorción varían de acuerdo a su estado físico, complejidad y medio en el que se halle la especie absorbente; no obstante, es posible diferenciar los espectros generados por absorción atómica o por absorción molecular. En este marco, cabe subrayar que los métodos espectroscópicos orientados a la absorción atómica se enfocan en los cambios que se producen en el átomo por la energía a la que se encuentran expuestos, siendo estos métodos utilizados básicamente en metales (Serrano, 2017).

En este sentido, la absorción atómica hace referencia a un elemento en estado gaseoso, al ser expuesto a radiación electromagnética, absorbe átomos en ciertas longitudes de ondas o frecuencia, esto debido a la estimulación del calor al que se encuentra expuesto (Byrne, 2021). Cabe resaltar que los factores que intervienen en esta técnica obedecen a la ley de Beer, el cual se enfoca en calcular la curva de T, concentración, porcentaje de error relativo, además de delimitar el rango óptimo; en base a ello, se incluyen los siguientes factores de intervención: selección de la longitud de onda, efecto del pH, rango óptimo de concentración, efecto de sustancias extrañas, ajuste de curvas de calibración, efecto del exceso reactivo y errores fotométrico (Manrique, citado por Daga, 2020).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la espectroscopia por absorción atómica

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">- Sensible a niveles bajos de concentración.- Técnica que puede ser utilizada en el área farmacéutica, ambiental y alimentaria.- Sensibilidad óptima a pequeñas concentraciones del orden de la ppm.- Gran especificidad.- Rapidez de determinación.- Grado muy alto de sensibilidad- Alto nivel de selectividad.- Permite cuantificar más de 60 elementos.- Precio accesible.	<ul style="list-style-type: none">- No permite cuantificar, de forma adecuada, las partículas de desgaste con un tamaño mayor a 3 micrómetros.- Método destructivo de análisis.- Se requieren estándares de comparación con el problema.- Fuente de luz- Imposibilidad de determinar, simultáneamente, varios elementos.- Las muestras se analizan en estado de disolución.- Refleja diversos tipos de interferencias.

Fuente: Baroni (2019), Petrolab (2018) y Romypech (2017).

2.2.5.1. Principios básicos

La espectroscopía atómica se fundamenta en dos principios: espectroscopía y radiación electromagnética.

a) Espectroscopía

Ciencia enfocada en el estudio de la interacción entre la materia y la radiación electromagnética. Al respecto, se debe considerar que la radiación influye sobre la materia, por lo que la radiación saliente es distinta a la que ingresa a consecuencia de la interacción, obteniéndose información sobre la estructura molecular de la sustancia involucrada (Mondragón, 2017).

a) **Radiación electromagnética**

La radiación electromagnética es una forma de transmitir energía en un campo electromagnético (espacio) variable, esta energía se refleja como ondas que se propagan a la velocidad de la luz. Estas ondas se manifiestan de diversas formas, tales como radiación infrarroja, ondas de radio, luz visible, microondas, radiación ultravioleta, rayos gamma y rayos X, los cuales se evidencian mediante el espectro electromagnético. Cabe señalar que la radiación electromagnética interactúa con la materia en cualquiera de sus estados físicos (sólido, químico y/o gaseoso) (Mondragón, 2017).

Entonces, la espectroscopia de absorción atómica es una técnica enfocada en la medición de luz que es absorbida en función de la longitud de onda, proporcionando información, tanto cualitativa como cuantitativa, respecto a la muestra. Esta técnica implica, en primer lugar, una radiación incidente, la cual es absorbida por la muestra, resultando en una radiación transmitida. Se debe considerar que la fuente de radiación será absorbida siempre y cuando tenga una longitud de onda adecuada.

2.2.5.2. Ley de Lambert-Beer

Según Scagliotti y Jorge (2020) la espectroscopía de absorción atómica se fundamenta en la ley de Lambert-Beer, método matemático que permite expresar la forma en que la materia absorbe la luz, la cual afirma que el nivel de atenuación depende, en esencia, de la concentración de la especie absorbente, así como de la longitud de la trayectoria donde ocurre el proceso de absorción.

En este marco, la ley de Lambert-Berr considera la transmitancia (T), parámetro que se manifiesta como la intensidad de la radiación incidente (P_0), expresada en la siguiente función:



$$T = \frac{P}{P_0}$$

$$\%T = \left(\frac{P}{P_0}\right) \times 100$$

De esta manera, se mide la absorción haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$A = -\log_{10}\left(\frac{1}{1_0}\right)$$

$$A = -\log_{10}(T)$$

$$A = abc$$

$$A = \varepsilon bc$$

Donde:

a= absortividad

b= longitud de trayectoria

c= concentración de la especie absorbente

ε = absortividad molar

Cabe destacar que, si bien es cierto, la Ley de Lambert-Beer funciona de manera óptima para analizar concentraciones diluidas, esta presenta limitaciones en disoluciones concentradas, ya que estas interactúan de una forma diferente, afectando el cumplimiento de la Ley de Lambert-Beer.

2.2.5.3. Instrumentación

Básicamente, el método de espectroscopía por absorción atómica se realiza tal como se evidencia en la Figura 1.

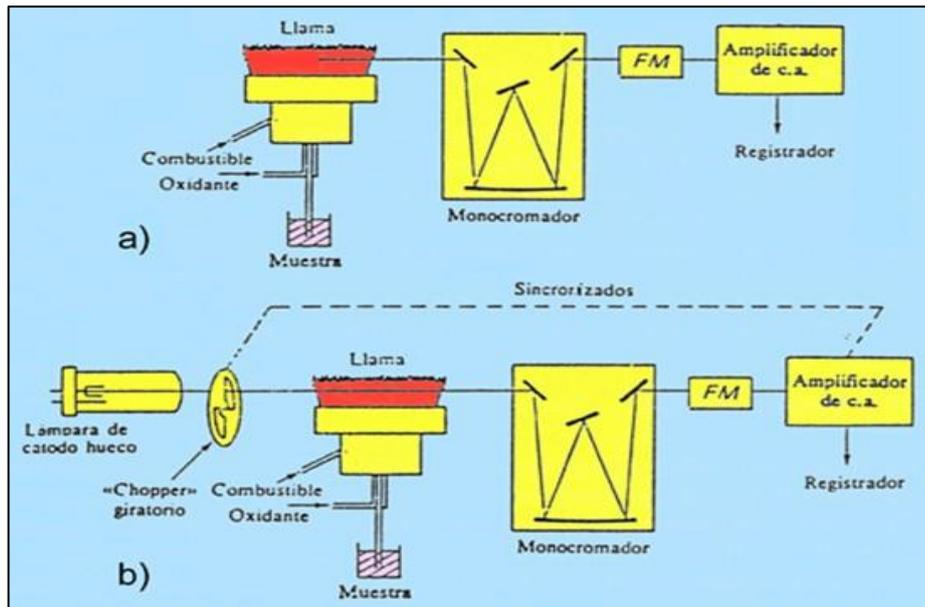


Figura 1. Espectroscopía por absorción atómica

Fuente: Moure *et al.* (2004).

Como se puede observar en la Figura 1, la espectroscopía de absorción atómica incluye diversos instrumentos, tales como:

a) Sistemas monos haz

En este se incluye el fotómetro, instrumento básico para la realización del método, el cual brinda un ancho de banda con la suficiente estrechez para aislar la línea seleccionada respecto a otras líneas que interfieran. Este instrumento se utiliza para regiones visibles, y puede involucrar lámparas intercambiables y filtros de interferencia. Cabe resaltar que estos sistemas son útiles para la identificación de metales alcalinos, alcanzando un total de 22 metales.

b) Sistemas doble haz

Dentro de este tipo de instrumentos se encuentra el espectrofotómetro, el cual se equipa por un monocromador de rejilla que permite aislar la radiación visible y UV. Cabe

resaltar que, básicamente, el funcionamiento de la instrumentación o espectrómetro utilizado para la absorción atómica se realiza de la siguiente forma:

El haz de luz emitido por la fuente atraviesa el sistema de atomización que contiene la muestra en estado de gas atómico, esta llega al monocromador que elimina la radiación que no interesa para el estudio, pasando así al revelador o detector de la radiación absorbida, que luego es procesada y amplificada, dando como resultado una lectura de salida (Gallegos *et al.*, 2012, p. 20).

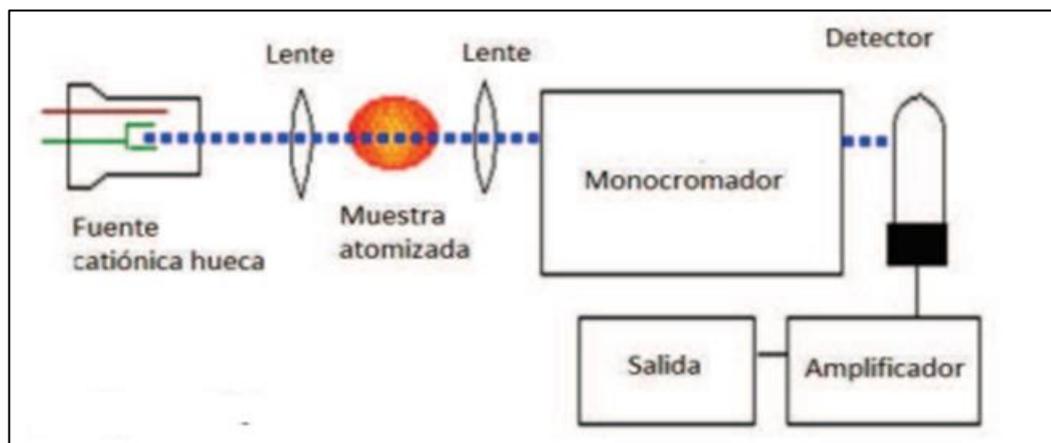


Figura 2. Esquema básico de un espectrómetro de absorción atómica

Fuente: Tissue, citado por Gallegos *et al.* (2012).

c) Lámparas de cátodo hueco

Esta lámpara se compone de un cátodo cilíndrico y un ánodo de tungsteno, el cual sirve como fuente de radiación y contiene gas inerte a una presión de entre 130-700 Pa.

En cuanto a su funcionamiento, este instrumento efectúa cumple con lo siguiente:

- Ionización del gas inerte mediante la aplicación de cierto voltaje, por lo que se genera una corriente entre 5 y 10 mA.
- Posteriormente, los cationes chocan con el cátodo cilíndrico, expulsando átomos de metal.



- Los átomos expulsados pasan a un estado de excitación y, consecuentemente, emiten longitudes de onda con particularidades determinadas.
- Posteriormente, los átomos expulsados regresan a las paredes de la lámpara o al cátodo, para luego ser depositados.

d) Lámparas de descarga sin electrodos

Este instrumento se construye a partir de un tubo de cuarzo sellado, el cual contiene poca cantidad de metal analito y gas inerte, el cual es energizado por radiofrecuencias o microondas. Cabe resaltar que este instrumento brinda mayor estabilidad y durabilidad, no obstante, requiere mayor tiempo de calentamiento, además de ser mucho más costoso que otros instrumentos.

e) Monocromadores

Este instrumento se ubica entre el atomizador y el detector, siendo su función dispersar la luz mediante la separación de las longitudes de onda, seleccionando una banda estrecha de longitud de onda (ancho de banda efectivo), siendo esta la que llega al detector. Cabe resaltar que los monocromadores incrementan la sensibilidad de la onda, disminuyendo las desviaciones provocadas por la ley de Beer.

f) Detectores

Los detectores son dispositivos que identifican, registran o indican los cambios de variables de la longitud de onda en el ambiente, siendo el transductor el que transforma las cantidades físicas y químicas en señales eléctricas que pueden ser medibles. Los detectores más comunes en espectroscopia de absorción atómica son los detectores en estado sólido y el tubo multiplicador.



g) Nebulizadores

En espectroscopía de absorción atómica se utilizan nebulizadores concéntricos, los cuales realizan un proceso de aspiración a la muestra transportada, convirtiendo la disolución en una neblina con un flujo de entre 2 a 5 ml/min.

h) Cámara de rocío

Luego del proceso de nebulización, la neblina fluye hacia la cámara de rocío, siendo en esta etapa donde se eliminan todos los elementos contenidos por un drenador, menos las gotas más finas.

2.2.5.4. Sistema de atomización

En primer lugar, se debe considerar que los atomizadores se dividen en dos grupos: atomizadores continuos y atomizadores discretos, los cuales emplean diferentes sistemas de atomización: flama y hornos, respectivamente. En este sentido, en primer lugar, el proceso de espectroscopía de absorción atómica inicia con la muestra o disolución, la cual atraviesa una fase de nebulización, desolvatación y volatización, a fin de obtener átomos libres, sean moléculas o iones.

Respecto a la atomización por flama, esta se efectúa haciendo uso de un mechero o quemador, donde se mezclan el combustible, muestra y oxidante para ser introducidos a la llama. Es preciso señalar que las ventajas de este tipo de atomización es corto tiempo de análisis, facilidad de uso, precisión y costo menor; mientras que, sus desventajas radican en su menor sensibilidad, el uso de gases inflamables para su realización, dinamismo menor, además de requerir supervisión constante.

Por otro lado, respecto al atomizador electrotérmico, que consiste en efectuar el proceso de atomización en un tubo cilíndrico, el cual se ubica en un horno caliente donde



se calienta el tubo con ayuda de contactos eléctricos. En cuanto a las ventajas de este tipo de atomización se encuentra su alta sensibilidad, no utilización de gases inflamables, límites bajos de detección, volumen de muestra reducido, además de permitir utilizar sistemas automatizados. No obstante, las desventajas del atomizador eléctrico se enmarcan en su menor precisión, además de requerir consumibles de costos altos, menor precisión, requiere de mayor cantidad de calibraciones, y menos elementos analizables.

2.2.5.5. Factores del proceso de atomización

Básicamente, de acuerdo con Ibáñez *et al.* (2021) el proceso de atomización considera los siguientes aspectos fundamentales:

1) Regiones de la flama

La flama presenta la región interzonas, siendo esta la parte más caliente, por lo que permite la formación de átomos, especies moleculares, formación de átomos, iones elementales; asimismo, se presenta la zona de combustión secundaria, donde se realiza el proceso de oxidación de productos de atomización; zona de combustión primaria, en donde las gotas son desolvatadas.

2) Efectos de temperatura

La temperatura es un factor determinante en la eficiencia del proceso de atomización, ya que este incide en la cantidad de átomos excitados y no excitados contenidos en la flama. En este sentido, si se trabaja con especies que se excitan con facilidad, estos deben exponerse a temperaturas entre 1700 a 2400 °C; mientras que, en caso de trabajar con elementos refractarios, estos se exponen a 2500 a 3100 °C de temperatura.



3) Selección del gas

Básicamente, se utilizan dos gases para el proceso de atomización: acetileno, el cual permite identificar alrededor de 35 elementos, se expone a una temperatura de 2400 °C como máximo, así como un flujo de 4 L por minuto, y el óxido nitroso, el cual se aplica a temperatura de 2800 °C como máximo y un flujo de 14 L por minutos, siendo un gas útil para identificar elementos que forman óxidos refractarios, además de eliminar interferencias químicas.

2.2.5.6. Interferencias de medición

Existen dos tipos de interferencia en el proceso de medición mediante espectroscopía de absorción atómica:

a) Interferencias en blanco

Este tipo de interferencia genera un efecto independiente a la concentración del analito; en este sentido, dentro de este se encuentran las interferencias espectrales, donde la señal del analito se encubre por la de otros elementos de la muestra.

b) Interferencias del analito

También denominadas interferencias multiplicativas, este tipo de interferencias modifican la magnitud de la señal del analito, por lo que se consideran como interferencias químicas. En este marco, las interferencias del analito se incluyen tres tipos de interferencias: físicas, las cuales alteran los procesos de nebulización, aspiración y volatización, por lo que incide en la eficiencia del proceso de atomización; químicas, este tipo de interferencia conlleva a que los componentes reduzcan el grado de atomización del analito; por ionización, interferencias provocadas por sustancias que perturban la ionización del analito.



2.2.5.7. Curvas de calibración

Las curvas de calibración son representaciones gráficas de una señal, la cual es entendida como una respuesta de un método analítico a concentraciones conocidas de analito, permitiendo calcular la concentración que se desconoce de este mediante el reconocimiento de su absorbancia y al aplicar factores de disolución. En este sentido, la calibración permite estimar los parámetros que delimitan la linealidad de la curva.

2.2.6. Definición de términos

- a) **Absorción:** Acción donde una sustancia, ya sea en estado sólido o líquido, atrae y retiene (absorbe) un gas, vapor o líquido. En el campo de la física, la absorción se conceptualiza como la pérdida de la intensidad de la radiación al atravesar determinada materia (Diccionario de la Lengua Española, 2014).
- b) **Absorción atómica:** Método instrumental eficazmente utilizado para determinar el contenido de metales en solventes líquidos, como agua o alcoholes, ya que estos elementos poseen alta sensibilidad (Pérez y Alvarado, 2018).
- c) **Cianuro:** Anión monovalente compuesto por un átomo de nitrógeno y otro de carbono, unidos mediante un enlace triple. Este compuesto orgánico se expresa como CN, puede presentarse de diversas formas, siendo utilizado en industrias como la minería (Gómez, 2018).
- d) **Espectro:** Representación gráfica donde se evidencia la distribución de intensidad de radiación electromagnética, en base a su frecuencia, magnitud y temperatura (Diccionario de la Lengua Española, 2014).



- e) **Espectro de absorción:** Espectro de radiación donde se evidencian líneas negras a consecuencia de la absorción de la radiación a la que un elemento es expuesto (León *et al.*, 2017).
- f) **Espectroscopia:** Técnica que estudia la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, ya que la luz que incide sobre esta última es distinta a la que sale, debido a la interacción entre ambos componentes. Cabe señalar que conocer la radiación saliente resulta esencial para conocer la incidencia de la sustancia sobre la estructura molecular (Mondragón, 2017).
- g) **Longitud de onda:** También denominada frecuencia, la longitud de onda es la distancia física existente en dos puntos, sobre los cuales se repite la onda dentro de un ciclo (perturbación periódica) (Jiménez *et al.*, 2017).
- h) **Oro:** El oro es un metal que tiene como símbolo químico Au, de color amarillo-dorado y brillo metálico. Este elemento se encuentra en el grupo 11 y periodo 6 de la tabla periódica, y se caracteriza por su dureza, maleabilidad, plasticidad, tenacidad y ductibilidad (Joyería Plaor, 2016).
- i) **Radiación electromagnética:** Proceso mediante el que se emite energía en forma de ondas, las cuales se propagan tanto en un medio material como uno vacío. Cabe señalar que las radiaciones electromagnéticas se diferencian por su frecuencia o longitud de onda, siendo directamente proporcional la frecuencia con su energía (Domínguez *et al.*, 2020).
- j) **Soluciones:** Las soluciones o disoluciones químicas son mezclas homogéneas de dos sustancias o más, sin comprometer la naturaleza de las sustancias al ser mezcladas. Entre las principales características de las soluciones se encuentran:



transparencia, igual concentración entre los componentes, estabilidad, entre otros (González, 2021).

2.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2. Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable dependiente: Análisis del oro en soluciones cianuradas	Control	Tiempo
		Distancias
		Actividades
		Análisis de ley
		Costos
	Método chiddy	Procedimiento
		Preparación de muestra
		Fundición
		Copelación
		Partición
Variables independientes: Métodos de Análisis del oro	Método de espectroscopia de absorción atómica	Pesado de botones de oro
		Cálculo
		Restricciones
	Método de espectroscopia de absorción atómica	Procedimiento
		Verificación
		Lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica
		Cálculo
		Restricciones

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ENFOQUE, TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Enfoque de investigación

El enfoque de la investigación fue cuantitativo, como expresa Bunge, enunciado por Mousalli-Kayat (2016) en el que señala que comprende los procedimientos para la formulación y comprobación de hipótesis a partir de la experimentación, lo que constituye el carácter hipotético-deductivo, es decir, de la teoría general a la particularidad de los hechos estudiados en la recolección de datos.

3.1.2. Tipo de investigación

La investigación clasifica como tipo aplicada, de causa y efecto, definida por Baena (2017) como aquella que tiene por propósito el realizar una acción en función de obtener un resultado. Dicho lo anterior, la causa será el análisis de muestras con la aplicación de la espectroscopia de absorción atómica y el efecto será la utilización de una menor cantidad de recursos.

3.1.3. Diseño de investigación

Análogamente, la investigación estará regida bajo un diseño experimental, cuyo concepto se diferencia por permitir la manipulación de las variables por parte del investigador para poder analizar su comportamiento y poder realizar inferencias sobre el mismo (Hurtado, 2016), por lo que, para estos efectos, se aplicará el método instrumental por espectroscopia y se analizará, de manera confiable, las muestras; segundo se evaluarán los resultados observados y se verificará si se logra reducir los costos asociados



y optimizar los tiempos con respecto a los métodos de análisis actuales en la empresa CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población estuvo formada por los ensayos que se realizan en laboratorio, donde se emplearon el método chiddy y la absorción atómica como métodos para la lectura de la ley del oro en la empresa CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.

3.2.2. Muestra

La elección de un tamaño de muestra apropiado es uno de los aspectos más importantes del diseño experimental. La preocupación principal es cometer la equivocación de haber rechazado la hipótesis incorrecta por usar poca muestra; esto, se determina con la Curva de Operación Característica o CO la cual parte del supuesto que el tamaño de muestra de las dos poblaciones (a comparar) son iguales.

En este caso, el laboratorio químico de Minera Porvenir ensayará la ley de sus soluciones líquidas (del O/F del circuito de molienda & clasificación y de la solución barren) por dos vías alternativas que son Método Chiddy y Absorción Atómica en donde se considera que las medias de ambos ensayos pueden diferir hasta en 0,2 ppm de oro para el caso de las soluciones provenientes del O/F del circuito de molienda & clasificación el cual será tomado como referencia para la determinación del tamaño de muestra experimental teniéndose en cuenta que una diferencia de esta magnitud influye significativamente en la determinación de la cabeza calculada de oro elaborado por planta produciendo un balance metalúrgico erróneo a nivel industrial. Por otro lado, se considera que la desviación estándar de cualquiera de las mediciones será de 0,05 ppm de oro ya

sea en solución proveniente del O/F del circuito de molienda & clasificación o de la solución barren porque es la mínima lectura que puede medirse al ensayar oro en líquidos con el Método Chiddy. Entonces, en este caso se tiene:

$$d = \frac{0,2 \text{ ppm}}{2 \times 0,05 \text{ ppm}} = 2,0$$

Para una probabilidad de aceptar H_0 ($\beta = 0.05$) tenemos un valor de $n^* = 6,1$ tal como se muestra en la siguiente figura:

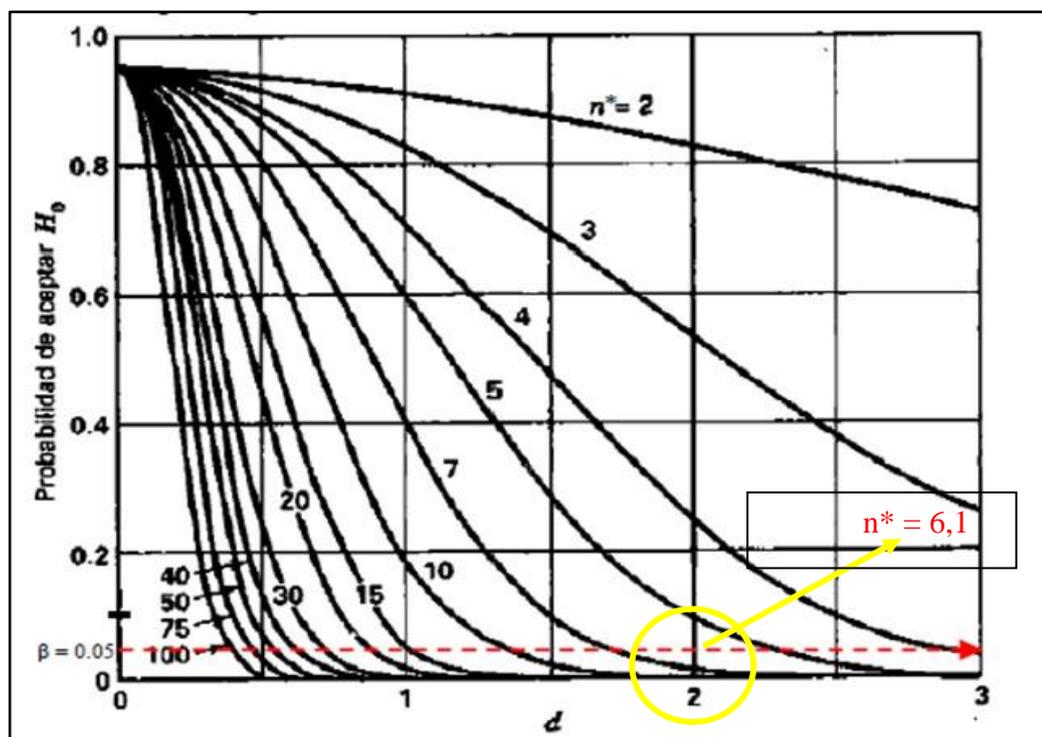


Figura 3. Curva de operación característica para la prueba t de dos colas con $\alpha = 0.05$ (Reproducida con permiso de “Operating Characteristics Curves for the Common Statistical Tests of Significance”)

Fuente: (Ferris *et al.*, 1946).

Por lo tanto, el tamaño de muestra es: $6,1 = 2n - 1 \rightarrow n = 3,5 \approx 4$ réplicas como mínimo dependiendo de la disponibilidad para realizar este tipo de ensayos en las soluciones producidas por planta sobre todo con el Método Chiddy que requiere más labor durante su procedimiento.



Esto quiere decir que para la muestra del día # 1 se tiene que realizar:

- 04 ensayos por el método chiddy para determinar ley de oro en solución O/F del circuito de molienda & clasificación.
- 04 ensayos por el método absorción atómica para determinar ley de oro en solución O/F del circuito de molienda & clasificación.
- 04 ensayos por el método chiddy para determinar ley de oro en solución barren.
- 04 ensayos por el método de absorción atómica para determinar ley de oro en solución barren.

3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL SEGÚN LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.3.1. Método chiddy de análisis del oro en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.

3.3.1.1. Equipos, materiales e insumos químicos

A. Equipos de protección personal

- Lentes de Seguridad.
- Careta facial protectora transparente.
- Careta facial de policarbonato dorado.
- Respirador de media cara con filtro para polvo y gases.
- Protector auditivo.
- Casaca aluminizada



- Mandil aluminizado.
- Guantes aluminizados.
- Guantes de nitrilo.
- Guantes de badana.
- Zapato de seguridad con punta de acero.

B. Instrumentos/materiales

Precipitación

- Vasos de precipitado pírrex de 500 y 1000 mL
- Embudo de vidrio
- Bageta de vidrio
- Luna de reloj
- Espátula de acero
- Papel filtro Whatman No 40
- Papel indicador
- Picetas TP
- Probetas graduadas de 500 y 1000 mL

Ensayo al fuego

- Horno de Fundición.
- Horno de Copelación.



- Balanza de Precisión.
- Plancha de Calentamiento.
- Microbalanza.
- Sistema de extracción de humos metálicos.
- Sistema de extracción de gases.
- Tenaza de crisol.
- Cargador múltiple de crisoles.
- Trinche descarga de crisoles.
- Lingoteras de 6 cavidades.
- Yunque.
- Pinza para manipular régulo.
- Alicata curvo
- Tablero porta régulos.
- Martillo
- Pinza para manipular dores.
- Cargador de régulos
- Crisoles refractarios
- Copelas No 8C
- Crisoles de porcelana.



- Crayolas resistentes al calor.

C. Insumos químicos

Precipitación

- Acetato de plomo
- Zinc en polvo
- Cianuro de sodio
- Ácido clorhídrico concentrado

Ensayo al fuego

- Oxido de plomo amarillo (litargirio)
- Bicarbonato de sodio
- Sílice
- Bórax
- Harina
- Nitrato de potasio
- Ácido nítrico al 15% y 50%
- Ácido nítrico concentrado
- Hidróxido de amonio al 15%
- Agua desionizada
- Solución nitrato de plata al 0.5%



3.3.1.2. Muestreo y preparación de pulpas cianuradas

A. Muestreo de cabeza de cianuración tanque No 01 y relave final

- Verificar que el muestreador manual de copa y el balde estén limpios, caso contrario, realizar su limpieza respectiva.
- Tomar la muestra cada media hora, un aproximado de medio litro; introduciendo el muestreador en el rebose del agitador, trasvasar al balde la muestra de pulpa, tapar y dejar decantar.
- Retirar el balde de 20 litros de pulpa al culminar el periodo de 12 horas (un turno).
- Remover y homogenizar el balde con muestra hasta que esté completamente homogenizado, tomar una porción de muestra de la pulpa homogenizada para determinar Oro, reduciendo la cantidad de muestra en el cuarteador Jones a un volumen de 3000 a 3500 ml de cabeza tanque No 1 y 4500 a 5000 ml de relave final aproximadamente.
- Colocar el balde de 20 litros limpio y asegurar con candado en la canastilla de metal para el siguiente turno.
- Llevar al laboratorio químico, evitando en todo momento su contaminación.
- Lavar con abundante agua el muestreador de copa y dejar secar para el próximo muestreo.



Figura 4. Muestreo de cabeza de cianuración tanque No 1 y relave final

B. Preparación de las muestras de pulpas cianuradas

- Antes de iniciar con la preparación de las pulpas de planta, asegurarse de tener vasos de precipitado, embudo de vidrio y papel filtro/Kraft.
- Colocar el papel filtro/papel Kraft en el embudo de vidrio asegurándose que quede centrado.
- Trasvasar la pulpa al embudo de vidrio teniendo en consideración que el papel filtro/kraft quede centrada en el embudo.
- Cuando la muestra solución este al volumen deseado, retirar el papel filtro/Papel Kraft, y retirar el vaso de precipitado con la muestra solución sobre una bandeja rotulada.
- Llevar la muestra a su área respectiva a una temperatura ambiente de 21°C +/- 1°C.

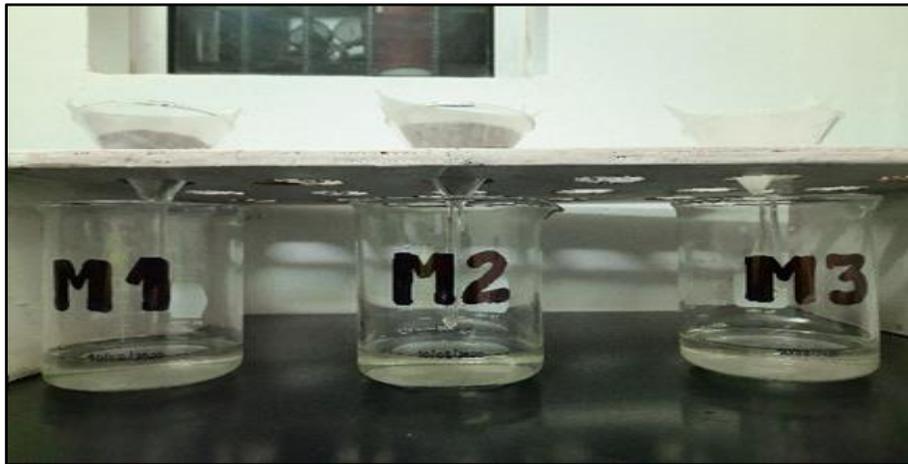


Figura 5. Filtrado de muestra pulpa en laboratorio químico

3.3.1.3. Descripción del procedimiento

Para la aplicación del método Chiddy se deben seguir los siguientes pasos:

A. Precipitación

- Una vez filtrado la solución cianurada, medir 500 mL de cabeza (OverFlow) y 1000 mL de relave final (Barren), trasladarlo a un vaso de precipitado y colocarla en la plancha de calentamiento a $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 15 minutos, añadir 0,5% de NaCN con el fin de llegar al pH 10,5 según condiciones de planta. y eliminar el oxígeno de la solución cianurada aprox. 30 minutos (hasta que termine de burbujear). Importante: que no llegue a hervir mientras se va calentando la solución.
- Agregar acetato de plomo la relación de un gramo por litro en solución sobresaturada a la vez agregar zinc en polvo relación de 10 gramos por litro. Todo este procedimiento de agregar el acetato y el zinc tiene que estar en constante agitación con ayuda de la bageta hasta la formación de la esponja aproximadamente 20 minutos.,

- Luego, añadir 50 mL de Hcl cc. Para eliminar el exceso de zinc durante 10 minutos aprox. O hasta que termine de reaccionar con el zinc. Importante: se agrega el Hcl cc poco a poco para evitar derrames por efervescencia.
- Retirar el vaso de precipitado de la plancha de calentamiento para su enfriamiento y sedimentación durante 15 minutos. Separar la solución acida filtrando todos los sólidos (que contiene Au, Ag, otros) en Papel filtro Whatman No 40 con ayuda de un embudo de vidrio aprox. 20 minutos. enjuagar en el mismo papel filtro y esos solidos llevarlos al área de fundición.



Figura 6. Medición de muestra solución

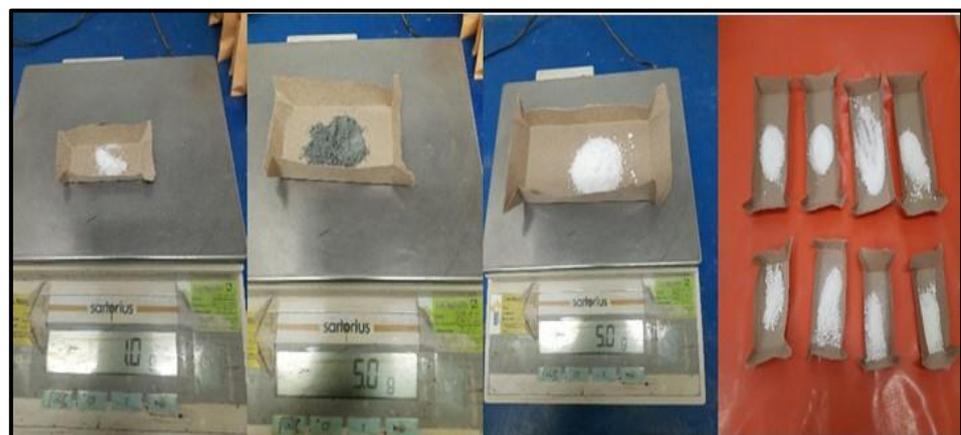


Figura 7. Pesado de zinc en polvo, acetato de plomo y de NaCN 0,5%



Figura 8. Control de Ph

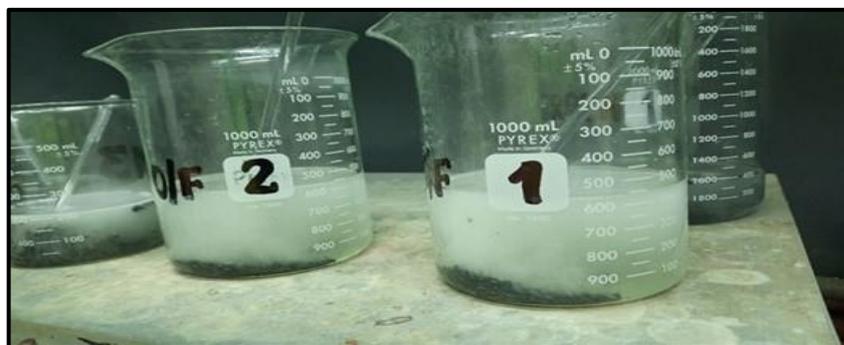


Figura 9. Eliminación de oxígeno



Figura 10. Agregando insumos en constante agitación



Figura 11. Formación de la esponja

B. Preparación de muestra para fundir

- Enumerar las bolsas de plástico conteniendo 140 g. de fundente de acuerdo al número de determinaciones.
- Agregar la muestra a la bolsa con fundente, adicionalmente agregar 2 a 5 g de harina o 1 a 5 g de nitrato de potasio, dependiendo de las características de la muestra. Añadir entre 3 a 5 ml de solución de Nitrato de Plata al 0,5% para el análisis por Oro.
- De acuerdo a la cantidad de muestras preparar los crisoles en la mesa de carga y codificar con los números correspondientes ordenando de adelante hacia atrás de izquierda a derecha de tal manera que, al cargar la hornada, los primeros crisoles del primer lote este posicionado en la parte de adelante hacia atrás y de izquierda a derecha.
- Insertar los controles internos: blanco de flux (fundente solo), blanco estéril (cuarzo), Material de referencia (primario y/o secundario), Duplicados (Fino y/o Split).

Tabla 3. Composición del Flux

Fundentes	Flux 01
Oxido de plomo (Litargirio)	48,00 %
Bicarbonato de Sodio Anhidro	34,50 %
Sílice	2,50 %
Bórax	15,00 %

Fuente: CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.



Figura 12. Enumeración de bolsas conteniendo fundente



Figura 13. Preparación de los crisoles codificados

C. Fundición

- Las muestras con fundente son homogenizadas bajo la campana de extracción, una vez terminado esto colocarlo en su respectivo crisol cubriéndolos con 15 g de bórax anhidro aproximadamente.



- Cargar los crisoles al horno utilizando el cargador múltiple; para la fusión iniciando a una temperatura de $850\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos, luego incrementar la temperatura a $950\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos y finalmente incrementar a $1050\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos.
- Una vez terminada la fusión retirar los crisoles de izquierda a derecha con la tenaza de descarga realizando un movimiento circular para una mejor aglomeración de plomo y golpear sobre una superficie dura, verter el contenido del crisol en el centro de las cavidades de las lingoteras, las cuales deben estar limpias y completamente secas. La descarga de crisoles demora aprox. 20 segundos por crisol.
- Dejar enfriar por 5 a 10 minutos aproximadamente, luego retirar la masa de la lingotera y con ayuda de un martillo separar el régulo de plomo de la escoria.
- Haciendo uso del martillo ubicar el regulo sobre el yunque eliminando así todo resto de escoria producto de la fundición. colocarlo en el tablero porta régulos. Demora aprox. 15 segundos por regulo.
- El régulo debe tener un peso 35 a 45 gramos, de no estar en este rango se tendrá que repetir el ensayo.
- La escoria, copelas y crisoles generados como residuos en esta etapa son almacenadas temporalmente en sacos sobre una plataforma de concreto que se encuentra en la parte externa de laboratorio bajo techo, luego el camión de medio ambiente los retira periódicamente y traslada hacia la tolva de gruesos para que ingrese al proceso de tratamiento en planta de procesos.

NOTA: Verificar la temperatura de los hornos de fundición y copelación semanalmente y/o cuando haya cambios de nuevas partes/accesorios.

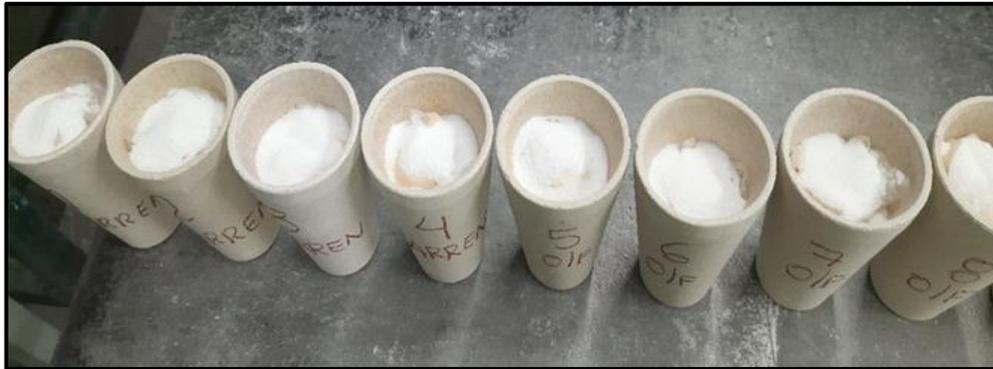


Figura 14. Crisoles listos para cargar al horno de fundición



Figura 15. Colada del contenido del crisol en el centro de las cavidades de las lingoteras



Figura 16. Régulos para darles forma de cubos

D. Copelación

- Cargar las copelas en el horno 20 minutos antes de iniciar la copelación a una temperatura de $950\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Utilizando el cargador de régulos, colocar en cada copela el regulo de adelante hacia atrás y de izquierda a derecha, cerrar la puerta del horno de copelación.
- Una vez en el horno y cuando el plomo se encuentre completamente fundido se entreabre la puerta del horno para facilitar la oxidación del plomo. La copelación se realizará a una temperatura de $950^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ durante 45 a 60 minutos.
- El punto final de copelación sucede cuando aparece el relampagueo del doré; indica que ha culminado el proceso de adsorción del plomo en la copela; esperar 10 segundos y luego proceder a retirar las copelas en orden. (tomar en cuenta el tamaño del doré) y enfriar por unos 5 minutos, enumerar con un lápiz de grafito las copelas de acuerdo con los alfanuméricos correspondientes y luego retirar los dorés de la copela con un alicate curvo y limpiar la base.



Figura 17. Carguío de régulos



Figura 18. Botón de oro y plata (dore)

E. Partición

- Limpiar la base del doré y proceder a laminar asegurándose de que no se destrozé el doré. Duración 3 segundos por doré
- Colocar los dorés dentro de crisoles de porcelana y agregar 5 ml de ácido nítrico al 15%. El crisol se colocará en la plancha de calentamiento a $130^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ hasta que se haya disuelto la plata aprox. por 15 minutos
- Agregar 1 ml de ácido nítrico concentrado y llevar a una temperatura de $160^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ por espacio de 10 minutos o hasta que aparezca el color marrón característico del oro, luego retirar el crisol para su enfriamiento.
- Separar la solución ácida del crisol de porcelana, añadir en frío 3 a 4 gotas de Hidróxido de Amonio al 15% y lavar con agua desionizada hasta por 4 veces para eliminar todo residuo de nitrato de plata y la acidez.
- Secar el crisol en la plancha de calentamiento, luego colocar sobre la plancha portacrisol en el horno de calcinación a $500^{\circ}\text{C} \pm 50$ por un tiempo de 5 minutos.
- Retirar del horno de Calcinación, enfriar los crisoles y llevar a la sala de Microbalanza para el respectivo pesado de los botones de Oro.

Estas actividades se pueden observar en las siguientes figuras:



Figura 19. Laminación del dore

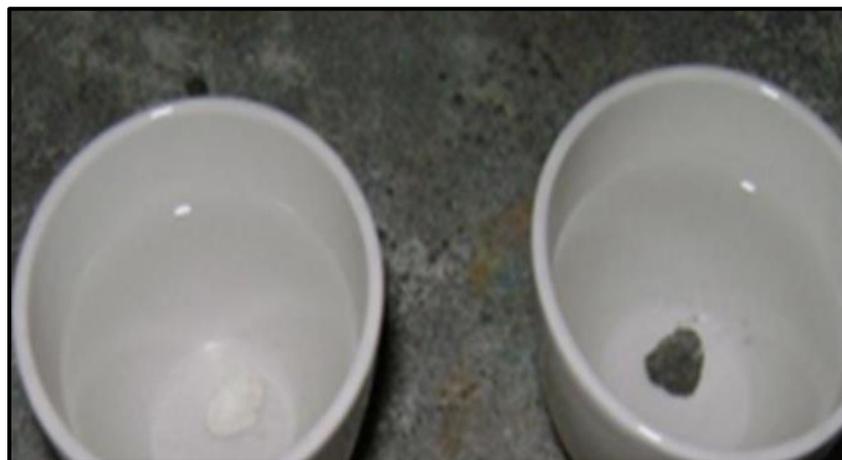


Figura 20. Liberación del oro con HNO_3



Figura 21. Lavado para obtener oro libre

F. Pesado de botones de oro

- Verificar las condiciones ambientales se encuentren de (20-25) °C y una humedad relativa de (40-80) %, asegurarse que no existan corrientes de aire y que el área de balanza se encuentre completamente cerrada.
- Tarar el platillo luego retirar y colocar el botón de oro sobre el platillo, registrar el peso de oro en el formato de análisis de oro.
- Retirar el platillo con el botón de oro usando una pinza y colocar en un crisol vacío, tarar el platillo nuevamente en la balanza, luego pesar el siguiente botón de oro.
- Culminado el pesado de todos los botones oro, registrar el peso de finos obtenidos en un formato.

A continuación, en la siguiente figura se observa el pesado de los botones.



Figura 22. Pesado del oro

G. Cálculo

Contenido de oro:

$$LeyAu = \frac{P_1}{W_{muestra}} \times 1000$$



Dónde:

Ley Au : Ley de Oro determinada en gramos por tonelada (g/TM)

P_1 : Peso de Oro obtenido en miligramos (mg)

W_{muestra} : Peso inicial de muestra en gramos (g)

3.3.1.4. Descripción del procedimiento DAP

- Se analizó el procedimiento a través de un DAP, donde se describieron cada una de las etapas para realizar el método, tomando en cuenta los tiempos, distancias y actividades que se realizan.
- Se realizó un diagrama Ishikawa donde se identificaron los problemas que se tienen en la empresa al aplicar este método.

3.3.2. Método de espectroscopia de absorción atómica para el análisis del oro en soluciones cianuradas propuesto en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C

3.3.2.1. Equipos, materiales e insumos químicos

A. Equipos de protección personal

- Lentes de seguridad
- Respirador de media cara con filtro para gases
- Overol con cinta reflectiva
- Protector auditivo
- Guantes de nitrilo
- Zapato de seguridad con punta de acero



B. Instrumentos/materiales/insumos químicos

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica varían AA-240
- Lámpara de Cátodo Hueco.
- Acetileno especial
- Compresora de aire sin aceite
- solución estándar certificada del elemento a analizar de 0.5, 1 y 2 ppm
- Blanco cianurado
- Sistema de extracción de gases.
- Tubos de ensayo.
- Gradillas.
- Parafilm.
- Vaso de precipitado de 25 mL
- Agua desionizada.
- Hoja de seguridad MSDS

3.3.2.2. Descripción del procedimiento

Para la aplicación de la espectroscopia de absorción atómica se deben seguir los siguientes pasos:

A. Verificación

- Hay que asegurar que el área de trabajo esté limpia, ordenada y libre de obstáculos.
- Asegurarse la operatividad del sistema de extracción de gases el funcionamiento de la compresora de aire y la salida de acetileno a una presión mayor a 100 psi.
- Intervalos de Presión, estos están según la siguiente tabla:

Tabla 4. Intervalos de precisión de salida

GAS / AIRE	Intervalos de presión de salida	
	Recomendable	Permisible
C₂H₂	75 kPa / 11 psi	65 - 100 kPa / 9.5 - 14.5 psi
AIRE	350 kPa / 50 psi	245 - 455 kPa / 35 - 65 psi

Fuente: Agilent

- Purgar la compresora de aire al inicio de cada turno.
- Verificar que las condiciones ambientales se encuentren entre 15 a 25 °C y una humedad relativa de 20 a 80%, registrar los valores en el formato de verificación de Condiciones Ambientales.
- Verificar el equipo de absorción atómica con el patrón de 5 ppm de Cobre y registrar en el formato de verificación del equipo de absorción atómica.
- Los estándares de calibración deben ser de las mismas características que la muestra: %CN y pH.



- Lavar el quemador con una solución jabonosa antes del inicio de la lectura, secarlo debidamente y puede utilizarse toalla desechable, aire comprimido, etc., eliminando cualquier impureza.
- La trampa líquida debe contener agua hasta el nivel que este cubra el sensor.
- El sistema de nebulización debe estar limpio y en buen estado: cámara de nebulización, O-Ring, Paddle, Capilar, Tornillos, etc.
- La solución utilizada para el cero instrumental debe ser renovada al inicio del análisis de cada elemento.
- Asegurarse que las muestras estén completas y en orden.

B. Lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica

- Encender el espectrofotómetro, seleccionar el método y prender la lámpara del elemento a leer, esperar unos 10 minutos hasta que estabilice la energía.
- Encender el extractor, la compresora y la llama, esperar 2 minutos para lograr una temperatura homogénea en el quemador.
- Verificar el último punto de la curva de calibración, si se encuentra dentro del rango de aceptación proceder a calibrar el equipo de absorción atómica y continuar con la lectura de las muestras.
- Verificar la curva de calibración al inicio y final, utilizando para ello un Patrón Sintético, la cual debe estar dentro de los rangos establecidos; caso contrario volver a calibrar u optimizar el equipo. Al culminar la lectura de



todas muestras apagar la llama, extractor, compresora y lámpara del elemento.

- De ser necesario efectuar una dilución de la muestra cuando su concentración sobrepase el límite de la curva de calibración.
- Las lecturas realizadas deben ser registradas en un formato electrónico.

C. Cálculo

La concentración se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = (\text{LectAu} - \text{LectBk}) * \text{Fd}$$

Dónde:

Lect Au : Lectura de oro (mg/L)

Lect Bk : Lectura de blanco (mg/L)

Fd : Factor de dilución (=Vol. Total/Alícuota)

D. Restricciones

- No se debe trabajar si el sistema de extracción de gases no se encuentra en funcionamiento.
- No se debe encender el equipo de absorción atómica sin antes haber verificado la presión del acetileno y del aire.

El equipo para realizar la absorción atómica se llama Espectrofotómetro de absorción atómica y se puede observar en la siguiente figura:

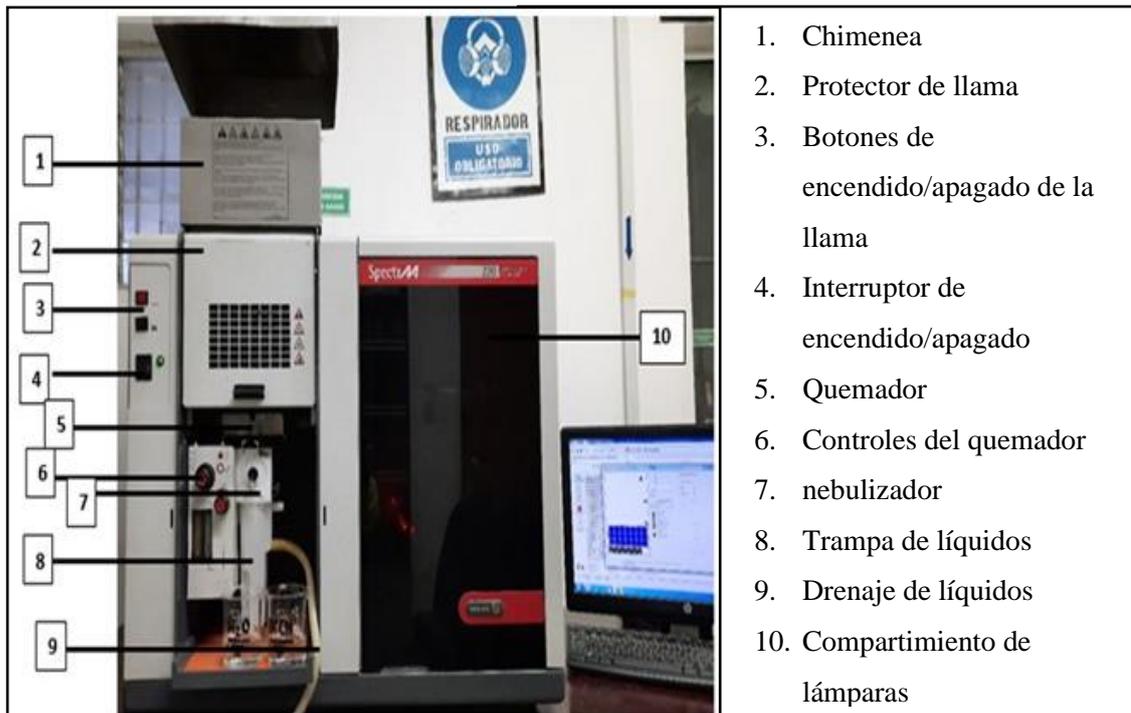


Figura 23. Espectrofotómetro de absorción atómica.

Fuente: Elaboracion propia.

3.3.2.3. Descripción del procedimiento DAP

- Se analizó el procedimiento a través de un DAP, donde se describieron cada una de las etapas para realizar el método, tomando en cuenta los tiempos, distancias y actividades que se realizan.

3.3.3. Comparación del método actual en la empresa y la espectroscopia de absorción atómica

3.3.3.1. Análisis de lecturas de ley por métodos

Para realizar la comparación entre ambos métodos primero se realizó utilizando soluciones diferentes: Barren y O/F en el momento de realizar el análisis.



Para el estudio de la variable independiente y la realización de las pruebas experimentales se usó el diseño de comparación de dos medias con 4 réplicas en cada punto de muestreo.

Los ensayos para determinar la ley de oro se hicieron utilizando la misma muestra líquida del día; por lo tanto, el diseño experimental estuvo definido de la siguiente manera:

Niveles : 2 métodos de análisis de oro

Réplicas : 4 por método/día

Puntos de muestreo : 2 (sol. O/F y sol. barren)

Días de muestreo : 6

Total de ensayos : 48

A. Procedimiento experimental

Del compósito diario de pulpa se tomará al azar 5 litros de solución para el método Chiddy y 1 litro solución para el método de absorción atómica los cuales fueron filtrados antes de cada ensayo.

Luego se eligen al azar uno de los 2 métodos para iniciar con los ensayos experimentales.

Se procede a calibrar el equipo empleado en cada método de análisis de oro antes de iniciar con el ensayo.

Para el caso del método chiddy se procedió con la precipitación del oro presente en la muestra a través del polvo de zinc para luego fundir el precipitado obtenido. Para el

caso de la absorción atómica se procedió a realizar la lectura directamente en el respectivo equipo el cual es un Agilent 240.

Los datos deben ser registrados en las siguientes tablas hasta completar todas las pruebas experimentales.

Tabla 5. Matriz experimental para el registro de datos de sol. Barren

Método de análisis de oro	Ley de oro de solución Barren en ppm																							
	DÍA # 1				DÍA # 2				DÍA # 3				DÍA # 4				DÍA # 5				DÍA # 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Chiddy																								
Absorción Atómica																								

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Matriz experimental para el registro de datos de sol. O/F

Método de análisis de oro	Ley de oro de solución O/F en ppm																							
	DÍA # 1				DÍA # 2				DÍA # 3				DÍA # 4				DÍA # 5				DÍA # 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Chiddy																								
Absorción Atómica																								

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de oro se realizó el mismo día con ambos métodos tanto con el método chiddy como con el método de absorción atómica a fin de mantener las mismas características de la solución para cada método de ensayo. Además, en cada prueba se utilizará el compósito diario de pulpa tomado por planta.

3.3.3.2. Comparación por tipo de solución

Esta comparación se realizó con los datos obtenidos en el paso anterior, donde se calculó la media y la desviación estándar de los 6 días en estudio, luego se les aplicó un



diseño del experimento, donde se aplicará antes una prueba de normalidad, lo que arrojó que los datos son normales, por lo que el más adecuado a aplicar en el experimento es el ANOVA o análisis de varianza, ya que esta prueba permitirá determinar si existen diferencias entre las medias de las lecturas de la ley, en este caso utilizando el método Chiddy y la absorción atómica., usando un nivel de confianza del 95%

Buscando con esto determinar si existen diferencias entre las soluciones que se utilicen para el análisis y los métodos de lectura de ley.

3.3.3.3. Análisis de costos

Este análisis se basó en determinar las diferencias desde distintos puntos de vistas o factores entre los que se encuentran: tiempos, distancias, actividades, análisis realizados por día y por costos, de manera de ofrecer una alternativa de lectura de ley a la empresa no solo desde el punto de vista financiero, sino que se le ofrece un panorama más amplio.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de los datos obtenidos se utilizó MINITAB 2020 como también para la realización de cuadros y gráficos; también se empleó para el diseño y análisis de experimentos que se realizó en la investigación.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.1.1. Del método chiddy de análisis del oro en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.

El proceso actual que aplica la empresa para el análisis de oro en soluciones cianuradas es el método chiddy el cual los resultados se detallan a continuación:

4.1.1.1. Diagrama de Análisis del Proceso (DAP)

Este método se puede apreciar a través de un diagrama de procesos, o DAP, donde se analizan las actividades que deben realizar o llevarse a cabo como son operaciones, almacenamiento, inspecciones, esperas y transporte. Obteniendo así el total de actividades, el tiempo requerido por actividad y las distancias que se deben recorrer. Para realizar las lecturas de ley utilizando el método chiddy se debieron realizar las siguientes actividades:

A. Filtrado de pulpa muestra

Este proceso consiste en 2 subactividades que se realizan en un tiempo total de 195 minutos recorriendo una distancia total de 3 metros. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales				Actividades						
Proceso:	Metodo Chiddy - Filtrado de pulpa muestra			Operación:	2		Distancia:	3		
Fecha:	Oct-21			Transporte:	0					
Versión:	1.00			Inspección:	0		Tiempo:	195		
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA			Espera:	0					
				Almacenamiento:	0					
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Símbolo					Observaciones
					○	⇒	□	□	▽	
1	Filtrar la solución cianurada (500 ml de overFlow y 1000 ml de barren)	1	180	0	x					
2	Trasvasar solución en un vaso de pp y colocarla en la plancha de calentamiento 80°C +/- 10°C	1	15	3	x					
Total		2	195	3	2	0	0	0	0	

Figura 24. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy - Filtrado de pulpa muestra

B. Precipitación

Este proceso consiste en 9 subactividades que se realizan en un tiempo total de 105 minutos recorriendo una distancia total de 20 metros. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales				Actividades						
Proceso:	Metodo Chiddy - Precipitación			Operación:	7		Distancia:	20		
Fecha:	Oct-21			Transporte:	0					
Versión:	1.00			Inspección:	1		Tiempo:	105		
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA			Espera:	1					
				Almacenamiento:	0					
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Símbolo					Observaciones
					○	⇒	□	□	▽	
1	Eliminar el oxígeno de la solución cianurada	1	30	0	x					
2	Agregar acetato de plomo y zinc en polvo	1	1	0	x					
3	Formación de la esponja (precipitado de oro)	1	20	0					x	
4	Añadir 50 mL de Acido Clorhídrico para eliminar el exceso de zinc	1	10	0	x					
5	Retirar el vaso de pp de la plancha de calentamiento para su enfriamiento y sedimentación	1	15	2	x					
6	Colocar papel filtro en un embudo de vidrio	1	5	3	x					
7	Proceso de filtrado del precipitado de oro	1	20	1					x	
8	Colocar el producto filtrado en la plancha de calentamiento	1	3	3	x					
9	Transporte del producto filtrado hacia el área de fundición	1	1	11	x					
Total		9	105	20	7	0	1	1	0	

Figura 25. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy – Precipitación

C. Preparación de muestras para fundir

Este proceso consiste en 5 subactividades que se realizan en un total de 24 minutos recorriendo una distancia total de 14 metros. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales				Actividades						
Proceso:	Metodo Chiddy - Preparación de muestras para fundir			Operación:	5	Distancia:			14	
Fecha:	Oct-21			Transporte:	0					
Versión:	1.00			Inspección:	0	Tiempo:			24	
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA			Espera:	0					
				Almacenamiento	0					
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Símbolo					Observaciones
					○	⇒	□	□	▽	
1	Preparar y enumerar bolsas con 140 g de fundente	1	10	5	x					
2	Colocar la muestra dentro de la bolsa	1	3	0	x					
3	Adicionar reactivos dependiendo de la característica de la muestra	1	3	0	x					
4	Preparar y ordenar crisoles en la mesa de carga	1	3	2	x					
5	Pesar controles internos	1	5	7	x					
Total		5	24	14	5	0	0	0	0	

Figura 26. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy - Preparación de muestras para fundir

D. Fundición

Este proceso consiste en 9 subactividades que se realizan en un tiempo total de 78,55 minutos recorriendo una distancia total de 26 metros. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales				Actividades						
Proceso:	Metodo Chiddy - Fundición			Operación:	8	Distancia:		26		
Fecha:	Oct-21			Transporte:	0					
Versión:	1.00			Inspección:	0	Tiempo:		78.55		
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA			Espera:	1					
				Almacenamiento	0					
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Símbolo					Observaciones
					○	⇒	□	□	▽	
1	Homogenizar muestra con fundente	1	4	7	x					
2	Colocar la muestra en crisol cubriendolos con 15 g de borax	1	2	0	x					
3	Cargar los crisoles al horno y fusión de la muestra 1050 °C +/- 50°C	1	60	3	x					
4	Retirar los crisoles con la tenaza de descarga	1	1	1	x					
5	Verter el contenido del crisol en las lingoteras	1	1	1	x					
6	Dejar de enfriar la masa de la lingotera	1	10	1						
7	Separar el regulo de plomo de la escoria	1	0.1	0	x					
8	Cubicar el regulo eliminando todo resto de escoria	1	0.3	2	x					
9	Pesar el regulo	1	0.15	11	x					
Total		9	78.55	26	8	0	0	1	0	

Figura 27. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy - Fundición

E. Copelación

Este proceso consiste en 4 subactividades que se realizan en un tiempo total de 99 minutos recorriendo una distancia total de 12 metros. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales				Actividades						
Proceso:	Metodo Chiddy - Copelación			Operación:	3	Distancia:		12		
Fecha:	Oct-21			Transporte:	0					
Versión:	1.00			Inspección:	0	Tiempo:		99		
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA			Espera:	1					
				Almacenamiento	0					
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Símbolo					Observaciones
					○	⇒	□	□	▽	
1	Calentar la copela en el horno de copelacion	1	30	11	x					
2	Colocar en cada copela el regulo a 950°C +/- 10°C.	1	60	0	x					
3	Retirar las copelas en orden y dejar enfriar	1	7	1						
4	Retirar los dore de la copela y limpiar la base del dore	1	2	0	x					
Total		4	99	12	3	0	0	1	0	

Figura 28. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy – Copelación

F. Partición

Este proceso consiste en 8 subactividades que se realizan en un tiempo total de 53,15 minutos recorriendo una distancia total de 22 metros. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales				Actividades						
Proceso:	Metodo Chiddy - Partición			Operación:	6		Distancia:		22	
Fecha:	Oct-21			Transporte:	1					
Versión:	1.00			Inspección:	1		Tiempo:		53.15	
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA			Espera:	0					
				Almacenamiento:	0					
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Símbolo					Observaciones
					○	⇒	□	□	▽	
1	Laminar el dore con ayuda de un martillo y yunque y colocar dentro de los crisoles de porcelana	1	0.1	2	x					
2	Agregar acido nitrico y colocar en la plancha de calentamiento hasta que se haya disuelto	1	30	3	x					
3	Separar la solución acida del crisol de porcelana	1	0.05	0	x					
4	Lavar con agua desionizada hasta por 4 veces	1	1	0						
5	Secar el crisol en la plancha de calentamiento	1	5	0	x					
6	Calcinar el boton de oro en el horno	1	5	0	x					
7	Retirar del horno de calcinacion y dejar enfriar los crisoles	1	10	2	x					
8	Llevar a la sala de microbalanza para el respectivo pesado del boton de oro	1	2	15	x					
Total		8	53.15	22	6	1	1	0	0	

Figura 29. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy - Partición

G. Pesado de botones de oro y cálculo

Este proceso consiste en 4 subactividades que se realizan en un tiempo total de 5,10 minutos y sin recorrer distancias. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales				Actividades						
Proceso:	Metodo Chiddy - Pesado de botones de oro y cálculo			Operación:	2		Distancia:		0	
Fecha:	Oct-21			Transporte:	0					
Versión:	1.00			Inspección:	2					
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA			Espera:	0		Tiempo:		5.1	
				Almacenamiento	0					
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Símbolo					Observaciones
					○	⇒	□	□	▽	
1	Verificar condiciones del area de balanza	1	3	0			x			
2	Tarar el platillo y colocar el boton de oro	1	1	0	x					
3	Registrar el peso de oro en el formato de analisis de oro	1	0.1	0			x			
4	Cálculo del contenido de oro de la muestra	1	1	0	x					
Total		4	5.1	0	2	0	2	0	0	

Figura 30. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Método Chiddy - Pesado de botones de oro y cálculo

A continuación, se detalla el resumen de las actividades:

Tabla 7. Resumen DAP – Método Chiddy

ACTIVIDADES	Tiempo (min.)	Distancia (m)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento	TOTAL DE SUBACTIVIDADES
1. Filtrado de pulpa muestra	195.00	3.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
2. Precipitación	105.00	20.00	7.00	0.00	1.00	1.00	0.00	9.00
3. Preparación de muestras para fundir	24.00	14.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00
4. Fundición	78,55	26.00	8.00	0.00	0.00	1.00	0.00	9.00
5. Copelación	99.00	12.00	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	4.00
6. Partición	53,15	22.00	6.00	1.00	1.00	0.00	0.00	8.00
7. Pesado de botones de oro y cálculo	5.10	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	4.00
TOTAL	559,80	97,00	33.00	1,00	4,00	3,00	0,00	41,00



De lo que se extrae que para realizar este método se realizan un total de 7 actividades las cuales se desglosan a su vez en 41 subactividades, de las cuales 33 son de operaciones, 1 de transporte, 4 de inspección y 3 son de espera, se realiza en un tiempo total de 559,80 minutos y se recorre una distancia total de 97,00 metros.

4.1.1.2. Realización del diagrama causa – efecto

Al analizar los resultados obtenidos en el diagrama causa – efecto, se encontró que los problemas asociados a personal es la lentitud en la toma de decisiones, que se encuentra asociado a la falta motivación y capacitación, otro problema identificado fue la falta de personal asociado a la falta de inversión y a las altas rotaciones.

En equipos se encontró que las principales deficiencias son la falta de mantenimiento y la capacidad obsoleta, asociados a la falta de inversión y equipos de segunda mano.

En cuanto a métodos, se encontraron deficiencias como demoras en la velocidad de análisis y en la redisolución del oro. En las deficiencias asociadas el medioambiente se encontraron emisión de gases y riesgo físico debido a la falta de mantenimiento en las campanas extractoras, el ruido y las altas temperaturas.

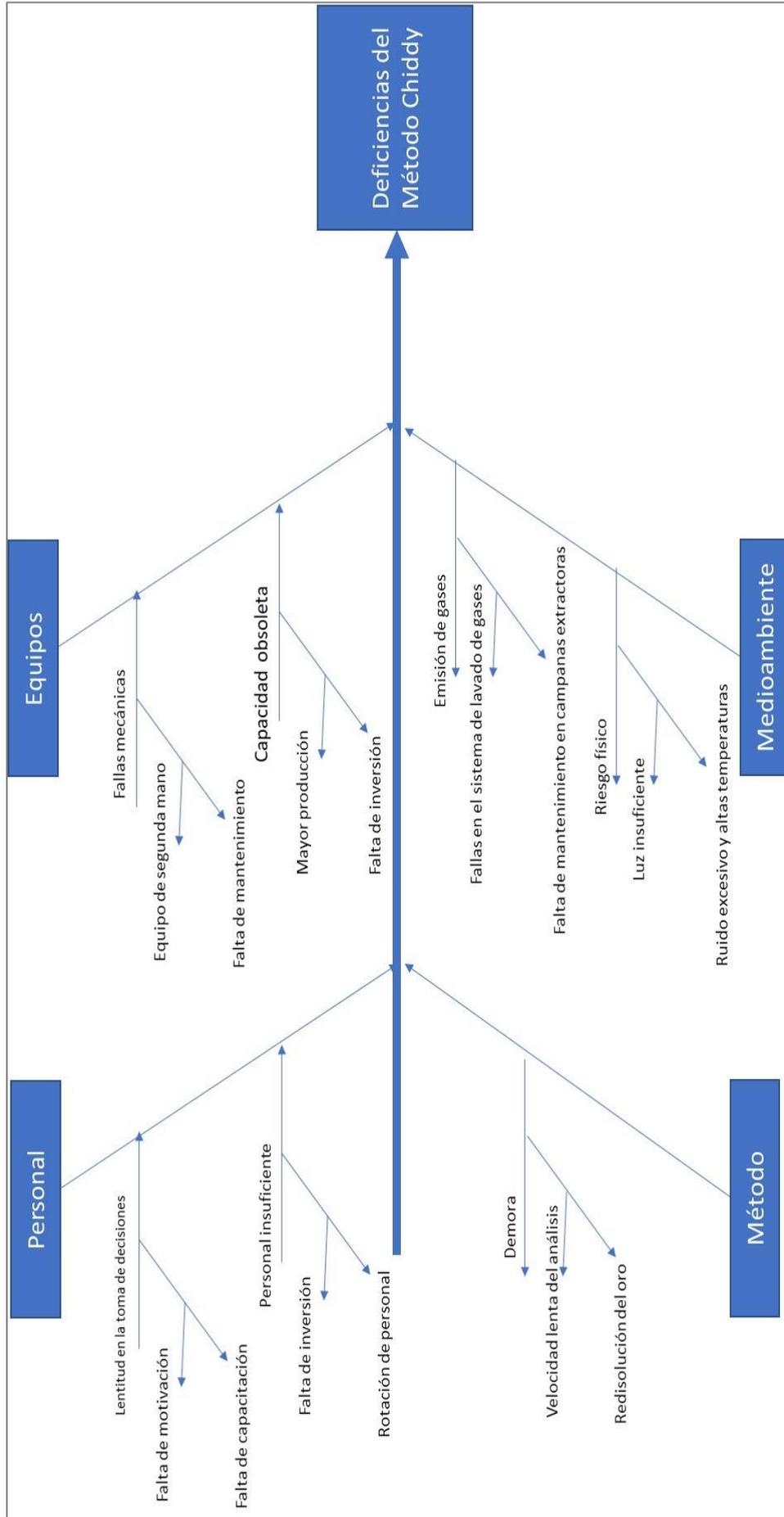


Figura 31. Diagrama causa – efecto. Método Chiddy.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Del método de espectroscopia de absorción atómica para el análisis de oro en soluciones cianuradas propuesto en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.

4.1.2.1. Diagrama de Análisis del Proceso (DAP)

Al realizar el DAP del método de absorción atómica se encontró que en este; se analizan las actividades que deben realizar o llevarse a cabo como son operaciones, almacenamiento, inspecciones, esperas y transporte. Obteniendo así el total de actividades, el tiempo requerido por actividad y las distancias que se deben recorrer. Para realizar las lecturas de ley utilizando el método de absorción atómica se debieron realizar las siguientes actividades:

A. Filtrado de pulpa muestra

Este proceso consiste en 2 subactividades que se realizan en un tiempo total de 12 minutos recorriendo una distancia total de 4 metros. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales			Actividades							
Proceso:	Metodo absorción atómica - Filtrado de pulpa muestra		Operación:	2	Distancia:		4			
Fecha:	Oct-21		Transporte:	0	Tiempo:		12			
Versión:	1.00		Inspección:	0	Espera:		0			
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA		Almacenamiento:	0						
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Simbolo					Observaciones
					○	⇒	□	□	▽	
1	Filtrar la solución cianurada (10 ml de overflow y 10 ml de barren)	1	10	2	x					
2	Trasvasar solución en un tubo de ensayo y llevarlo al área de AA	1	2	2	x					
Total		2	12	4	2	0	0	0	0	

Figura 32. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Absorción atómica - Filtrado de pulpa muestra

B. Primeros pasos

Este proceso consiste en 7 subactividades que se realizan en un tiempo total de 23,45 minutos recorriendo una distancia total de 6 metros. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales			Actividades							
Proceso:	Metodo absorción atómica - Primeros pasos		Operación:	5	Distancia:					6
Fecha:	Oct-21		Transporte:	0						
Versión:	1.00		Inspección:	2	Tiempo:					23.45
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA		Espera:	0						
			Almacenamiento:	0						
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Símbolo					Observaciones
					○	⇒	□	▢	▽	
1	Preparación de muestra	1	4	0	x					
2	Verifica el área de trabajo	1	4	0						
3	Verificar la operatividad del sistema de extracción de gases, compresora de aire y la salida del acetileno	1	3	2						
4	Purgar compresora de aire	1	9	2	x					
5	Preparar solución cianurada para el cero instrumental	1	0.15	2	x					
6	Preparar los estándares de calibración	1	3	0	x					
7	Asegurar que las muestras estén completas y en orden	1	0.3	0	x					
Total		7	23.45	6	5	0	2	0	0	

Figura 33. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Absorción atómica – Primeros pasos

C. Lectura en el espectrofotómetro de AA

Este proceso consiste en 11 subactividades que se realizan en un tiempo total de 14,15 minutos y recorriendo una distancia total de 2 metros. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales				Actividades						
Proceso:	Metodo absorción atómica - Lectura en el espectrofotómetro de AA			Operación:	8	Distancia:			2	
Fecha:	Oct-21			Transporte:	0					
Versión:	1.00			Inspección:	2					
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA			Espera:	1	Tiempo:			14.15	
				Almacenamiento:	0					
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Símbolo					Observaciones
					○	⇒	□	▣	▽	
1	Lavar el quemador	1	1	2	x					
2	Añadir agua a la cámara de nebulización	1	10	0	x					
3	Encender el espectrofotómetro, crear el método y prender la lámpara del elemento a leer	1	1	0	x					
4	Dejar que establezca la energía de la lámpara	1	0.15	0					x	
5	Encender el extractor, compresora y la llama y esperar una temperatura homogénea en el quemador	1	0.15	0	x					
6	Alinear el quemador para localizar el camino óptico	1	0.4	0	x					
7	Colocar el nombre de las muestras a analizar en el método "muestras etiquetas"	1	1	0	x					
8	Verificar el equipo de AA con el patrón de 5 ppm de Cu	1	0.15	0					x	
9	Calibrar el equipo de AA	1	0.15	0					x	
10	Lectura de las muestras	1	0.1	0	x					
11	Lectura patrón	1	0.05	0	x					
Total		11	14.15	2	8	0	2	1	0	

Figura 34. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Absorción atómica – Lectura en el espectrofotómetro de AA

D. Registro y Calculo (El método lo calcula automáticamente)

Este proceso consiste en 3 subactividades que se realizan en un tiempo total de 3,00 minutos y no se recorrieron distancias. EL resumen de esta actividad se detalla en la siguiente figura:

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO										
Datos generales				Actividades						
Proceso:	Metodo absorción atómica - Registro y calculo (automáticamente)			Operación:	3	Distancia:			0	
Fecha:	Oct-21			Transporte:	0	Tiempo:			3	
Versión:	1.00			Inspección:	0					
Realizado por:	DULIA CONDORI VILCA			Espera:	0					
				Almacenamiento:	0					
N°	Descripción	Cantidad	Tiempo (minutos)	Distancia (metros)	Simbolo					Observaciones
					○	⇒	□	□	▽	
1	Apagar la llama, extractor, compresora y lámpara del elemento	1	0	0	3	0	0	0	0	
2	Registrar las lecturas en el formato electrónico	1	1	0						
3	Calculo de la concentración	1	2	0						
Total		3	3	0	3	0	0	0	0	

Figura 35. Diagrama de Análisis de Proceso (DAP) – Absorción atómica – Registro y cálculo (automáticamente)

A continuación, se detalla el resumen de las actividades:

Tabla 8. Resumen DAP – Método Absorción atómica

ACTIVIDADES	Tiempo (min.)	Distancia (m)	Operación	Transporte	Inspección	Espera	Almacenamiento	TOTAL DE SUBACTIVIDADES
1. Filtrado de pulpa muestra	12.00	4.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
2. Primeros pasos	23,45	6.00	5.00	0.00	2.00	0.00	0.00	7.00
3. Lectura en el espectrofotómetro de AA	14,15	2.00	8.00	0.00	2.00	1.00	0.00	11.00
4. Registro y calculo (El método lo calcula automáticamente)	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
TOTAL	52.60	12.00	18.00	0.00	4.00	1.00	0.00	23.00



De lo que se extrae que para realizar este método se realizan un total de 4 actividades las cuales se desglosan a su vez en 23 subactividades, de las cuales 18 son de operaciones, 4 de inspección y 1 son de espera, se realiza en un total de 52,60 minutos y se recorre una distancia total de 12 metros.

4.1.3. Comparación del método actual en la empresa y la espectroscopia como método alternativo

4.1.3.1. Resultados de lecturas de leyes de oro por el método chiddy y absorción atómica para soluciones cianuradas Barren

Se realizó el experimento a diferentes métodos de análisis químico. Recogiendo información por 6 días y cuatro replicas con sus soluciones barren. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Niveles	:	2 métodos (por análisis de oro)
# réplicas	:	$n_A = 4$
		$n_B = 4$
Total de ensayos	:	8

Tabla 9. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren día 1

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				# réplicas "n"	Desviación Estándar "σ"
	# 1					
	1	2	3	4		
Chiddy (A)	0.035	0.034	0.036	0.036	4	0.000959
Absorción Atómica (B)	0.033	0.038	0.023	0.028	4	0.006454



En el primer día se puede observar que las variaciones usando solución barren en el método chiddy varía entre 0.034 y 0.036, con una diferencia de 0.002 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.023 y 0.038, con una diferencia de 0.015 ppm.

Tabla 10. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren en el día 2

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				MEDIAS	# réplicas “n”	Desviación Estándar “σ”
	# 2						
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	0.036	0.032	0.032	0.034	0.0335	4	0.001914
Absorción Atómica (B)	0.017	0.007	0.012	0.019	0.0137	4	0.005377

En el segundo día se puede observar que las variaciones usando solución barren en el método chiddy varía entre 0.032 y 0.036, con una diferencia de 0.004 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.007 y 0.019, con una diferencia de 0.012 ppm.

Tabla 11. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren en el día 3

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				MEDIAS	# réplicas “n”	Desviación Estándar “σ”
	# 3						
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	0.026	0.032	0.032	0.030	0.0300	4	0.002828
Absorción Atómica (B)	0.023	0.026	0.017	0.022	0.0220	4	0.003741

En el tercer día se puede observar que las variaciones usando solución barren en el método chiddy varía entre 0.026 y 0.032, con una diferencia de 0.006 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.017 y 0.026, con una diferencia de 0.009 ppm.

Tabla 12. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren en el día 4

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				MEDIAS	# réplicas “n”	Desviación Estándar “σ”
	# 4						
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	0.028	0.024	0.022	0.024	0.0245	4	0.002516
Absorción Atómica (B)	0.021	0.031	0.023	0.030	0.0262	4	0.004991

En el cuarto día se puede observar que las variaciones usando solución barren en el método chiddy varía entre 0.022 y 0.028, con una diferencia de 0.006 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.021 y 0.031, con una diferencia de 0.010 ppm.

Tabla 13. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren en el día 5

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				MEDIAS	# réplicas “n”	Desviación Estándar “σ”
	# 5						
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	0.025	0.030	0.028	0.029	0.0280	4	0.002160
Absorción Atómica (B)	0.021	0.018	0.021	0.023	0.0207	4	0.002062

En el quinto día se puede observar que las variaciones usando solución barren en el método chiddy varía entre 0.025 y 0.030, con una diferencia de 0.005 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.018 y 0.023, con una diferencia de 0.005 ppm.

Tabla 14. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución barren en el día 6

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				MEDIAS	# réplicas “n”	Desviación Estándar “σ”
	# 6						
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	0.030	0.035	0.028	0.031	0.0310	4	0.002943
Absorción Atómica (B)	0.028	0.020	0.019	0.029	0.0240	4	0.005228

En el sexto día se puede observar que las variaciones usando solución barren en el método chiddy varía entre 0.028 y 0.035, con una diferencia de 0.007 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.019 y 0.029, con una diferencia de 0.010 ppm

4.1.3.2. Resultados de lecturas de leyes de oro por el método chiddy y absorción atómica para soluciones cianuradas over flow

En las pruebas realizadas para la solución over flow de la empresa. Se observó el siguiente comportamiento de las lecturas de leyes de oro a diferentes métodos de análisis químico:

Niveles	:	2 métodos (por análisis de oro)
# réplicas	:	$n_A = 4$ $n_B = 4$
Total de Ensayos	:	8

Tabla 15. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 1

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA # 1				MEDIAS	# réplicas "n"	Desviación Estándar "σ"
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	1.288	1.296	1.304	1.282	1.2925	4	0.009574
Absorción Atómica (B)	1.221	1.217	1.233	1.221	1.2230	4	0.006928

En el primer día se puede observar que las variaciones usando solución over flow en el método chiddy varía entre 1.282 y 1.304, con una diferencia de 0.022 ppm y el método de absorción atómica varían entre 1.217 y 1.233, con una diferencia de 0.016 ppm

Tabla 16. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 2

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				MEDIAS	# réplicas “n”	Desviación Estándar “σ”
	# 2						
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	1.044	0.968	1.040	1.036	1.0220	4	0.036147
Absorción Atómica (B)	0.943	0.944	0.946	0.949	0.9455	4	0.002645

En el segundo día se puede observar que las variaciones usando solución over flow en el método chiddy varía entre 0.988 y 1.044, con una diferencia de 0.056 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.943 y 0.949, con una diferencia de 0.006 ppm

Tabla 17. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 3

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				MEDIAS	# réplicas “n”	Desviación Estándar “σ”
	# 3						
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	0.968	1.040	1.000	0.956	0.9910	4	0.037576
Absorción Atómica (B)	0.988	0.981	0.967	0.976	0.9780	4	0.008831

En el tercer día se puede observar que las variaciones usando solución over flow en el método chiddy varía entre 0.968 y 1.040, con una diferencia de 0.072 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.967 y 0.988, con una diferencia de 0.021 ppm

Tabla 18. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 4

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				MEDIAS	# réplicas “n”	Desviación Estándar “σ”
	# 4						
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	0.955	0.949	0.950	0.939	0.9482	4	0.006702
Absorción Atómica (B)	0.914	0.911	0.910	0.911	0.9115	4	0.001732

En el cuarto día se puede observar que las variaciones usando solución over flow en el método chiddy varía entre 0.950 y 0.939, con una diferencia de 0.011 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.910 y 0.914, con una diferencia de 0.004 ppm

Tabla 19. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 5

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				MEDIAS	# réplicas “n”	Desviación Estándar “σ”
	# 5						
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	1.001	0.999	1.011	1.009	1.0050	4	0.005887
Absorción Atómica (B)	0.984	0.987	0.992	0.984	0.9867	4	0.003775

En el quinto día se puede observar que las variaciones usando solución Over flow en el método chiddy varía entre 0.999 y 1.009, con una diferencia de 0.010 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.984 y 0.992, con una diferencia de 0.008 ppm

Tabla 20. Resultados de lecturas de leyes de oro en solución Over Flow día 6

Método de análisis de oro	Ley de Oro en ppm del DÍA				MEDIAS	# réplicas “n”	Desviación Estándar “σ”
	# 6						
	1	2	3	4			
Chiddy (A)	1.120	1.090	1.125	1.100	1.1087	4	0.016520
Absorción Atómica (B)	1.040	1.047	1.053	1.044	1.0460	4	0.005477

En el sexto día se puede observar que las variaciones usando solución over flow en el método chiddy varía entre 1.090 y 1.120, con una diferencia de 0.010 ppm y el método de absorción atómica varían entre 0.984 y 0.992, con una diferencia de 0.008 ppm

4.1.3.3. Análisis de lecturas de ley de oro de solución barren por ambos métodos

Los resultados promedio se muestran en las tablas del 9 al 14 para la solución barren, en base a esto se elaboran la figura 36 que se muestran a continuación:

Tabla 21. Resumen de lecturas de oro utilizando solución barren

DIA	SOL. BARREN			
	CHIDDY		ABSORCIÓN ATÓMICA	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
1	0.035	0.001	0.031	0.006
2	0.034	0.002	0.014	0.005
3	0.030	0.003	0.022	0.004
4	0.025	0.003	0.026	0.005
5	0.028	0.002	0.021	0.002
6	0.031	0.003	0.024	0.005

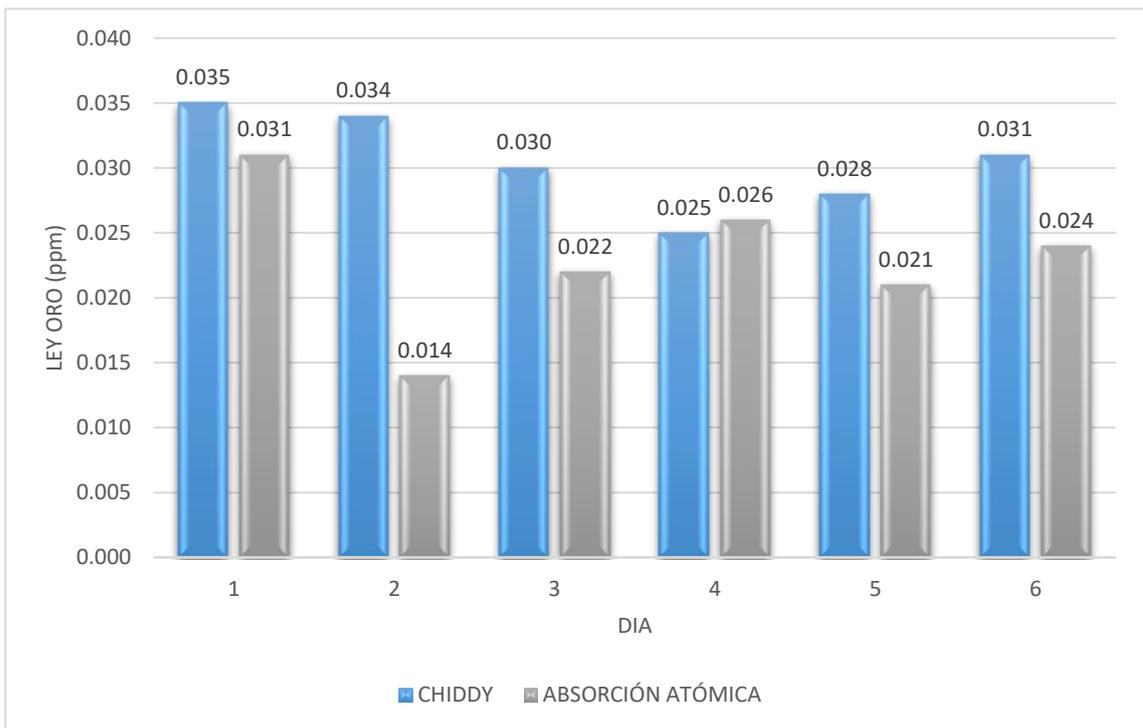


Figura 36. Resultados por ambos métodos utilizando solución barren

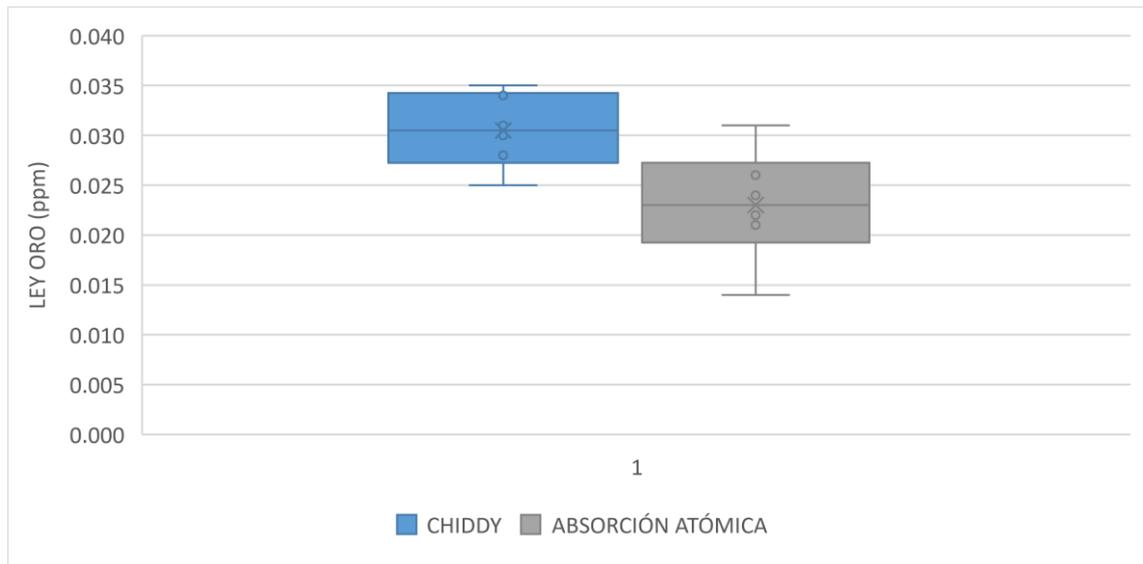


Figura 37. Diagrama de caja - Solución barren

Se puede observar que cuando se utiliza la solución barren en la absorción atómica, se registraron lecturas promedio desde 0.014 ppm. Mientras que en los que se utilizó la solución barren en chiddy la lectura promedio más baja fue de 0.025 ppm con una variación de 0.011 ppm.

Como también se observa que las lecturas de oro con el método chiddy son en promedio mayores a las lecturas con el método de absorción atómica confirmando lo que se planteó inicialmente en la hipótesis de esta investigación.

Esto se debe al extenso procedimiento químico que utiliza el método chiddy en su ejecución el cual va acumulando errores sistemáticos que aumentan el valor de la ley de oro reportándose lecturas poco confiables en el rango de baja ley porque se observó que no pudo reportar leyes menores de 0.022 ppm de oro (cuando con el método de absorción atómica se pudo leer tan bajo como 0.007 ppm de oro) perdiéndose la capacidad de adaptación del método frente a la variabilidad del proceso en planta.

La respuesta del método chiddy indica que es muy probable que a mayores leyes de oro (en solución) se tendrá una lectura de ley mayor que con el método de absorción

atómica porque en 5 de los 6 días de investigación se obtuvo mayores leyes lo cual confirma esta diferencia entre métodos. También se observa que con el método chiddy siempre se va a obtener la misma ley de oro en la solución barren pese a lo que pueda ocurrir con el mineral de planta lo cual no es confiable porque produce balances metalúrgicos erróneos.

4.1.3.4. Análisis de lecturas de ley de oro de solución over flow por ambos métodos

Los resultados promedio se muestran en las tablas del 15 al 20 para la solución over flow, en base a esto se elaboran la figura 38 que se muestran a continuación:

Tabla 22. Resumen de Lecturas de oro utilizando solución O/F

DIA	SOL. OVER FLOW			
	CHIDDY		ABSORCIÓN ATÓMICA	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
1	1.293	0.010	1.223	0.010
2	1.022	0.036	0.946	0.003
3	0.991	0.038	0.978	0.009
4	0.948	0.007	0.912	0.002
5	1.005	0.006	0.987	0.004
6	1.109	0.017	1.046	0.005

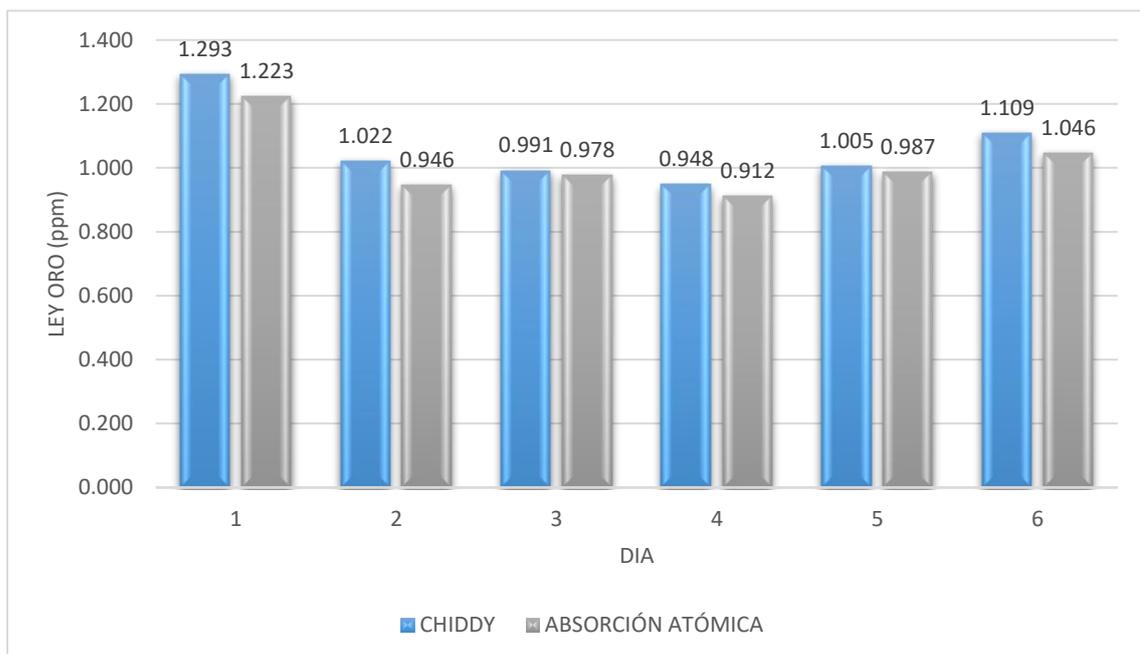


Figura 38. Resultados por ambos métodos utilizando solución over flow

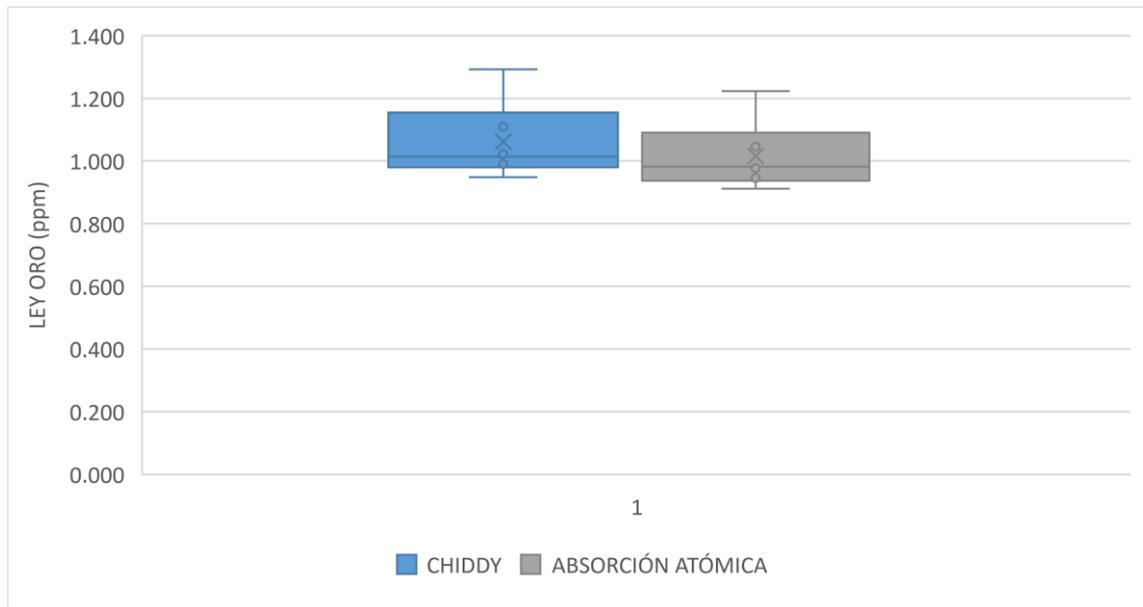


Figura 39. Diagrama de caja - Solución over flow

Se puede observar que las lecturas de oro con el método chiddy son en promedio mayores a las lecturas con el método de absorción atómica confirmando lo que se planteó inicialmente en la hipótesis de esta investigación.

Esto se debe al extenso procedimiento químico que utiliza el método chiddy en su ejecución el cual va acumulando errores sistemáticos que aumentan el valor de la ley de oro reportándose lecturas poco confiables en el rango de alta ley porque se observó que reportó leyes de hasta 1.304 ppm de oro (cuando con el método de absorción atómica se pudo leer un máximo 1.233 ppm de oro) haciendo que el inventario de oro de la planta sea mayor al real provocando expectativas equivocadas en la producción de oro.

La respuesta del método chiddy indica que es muy probable que a mayores leyes de oro (en solución) se tendrá una lectura de ley mayor que con el método de absorción atómica porque en 6 de los 6 días de investigación se obtuvo mayores leyes; lo cual confirma esta diferencia entre métodos. También se observa que con el método chiddy siempre se va a obtener leyes altas de cabeza calculada pese a lo que pueda ocurrir con el mineral de planta lo cual no es confiable porque produce balances metalúrgicos erróneos.



4.1.3.5. Comparación por tipo de solución Barren vs. Días, métodos

Para realizar la comparación por tipo solución Barren vs. Día, métodos; primeramente se realiza lo siguiente:

- 1.- Evaluación de datos: normalidad y datos atípicos.
- 2.- Comprobación de los supuestos del ANOVA (normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas con un nivel de confianza 95%)
- 3.- Si se cumplen con los supuestos; aplicar ANOVA.

1. Evaluación de datos

Antes de realizar cualquier prueba se debe verificar la normalidad y la atipicidad de los datos de cada método. Esto se hizo mediante la prueba de Anderson Darling; ya que el tamaño de muestra es pequeña o menor de 6 datos; obteniéndose los siguientes resultados:

A. Para el método de absorción atómica:

- **Prueba de normalidad de cada día de sol. Barren**

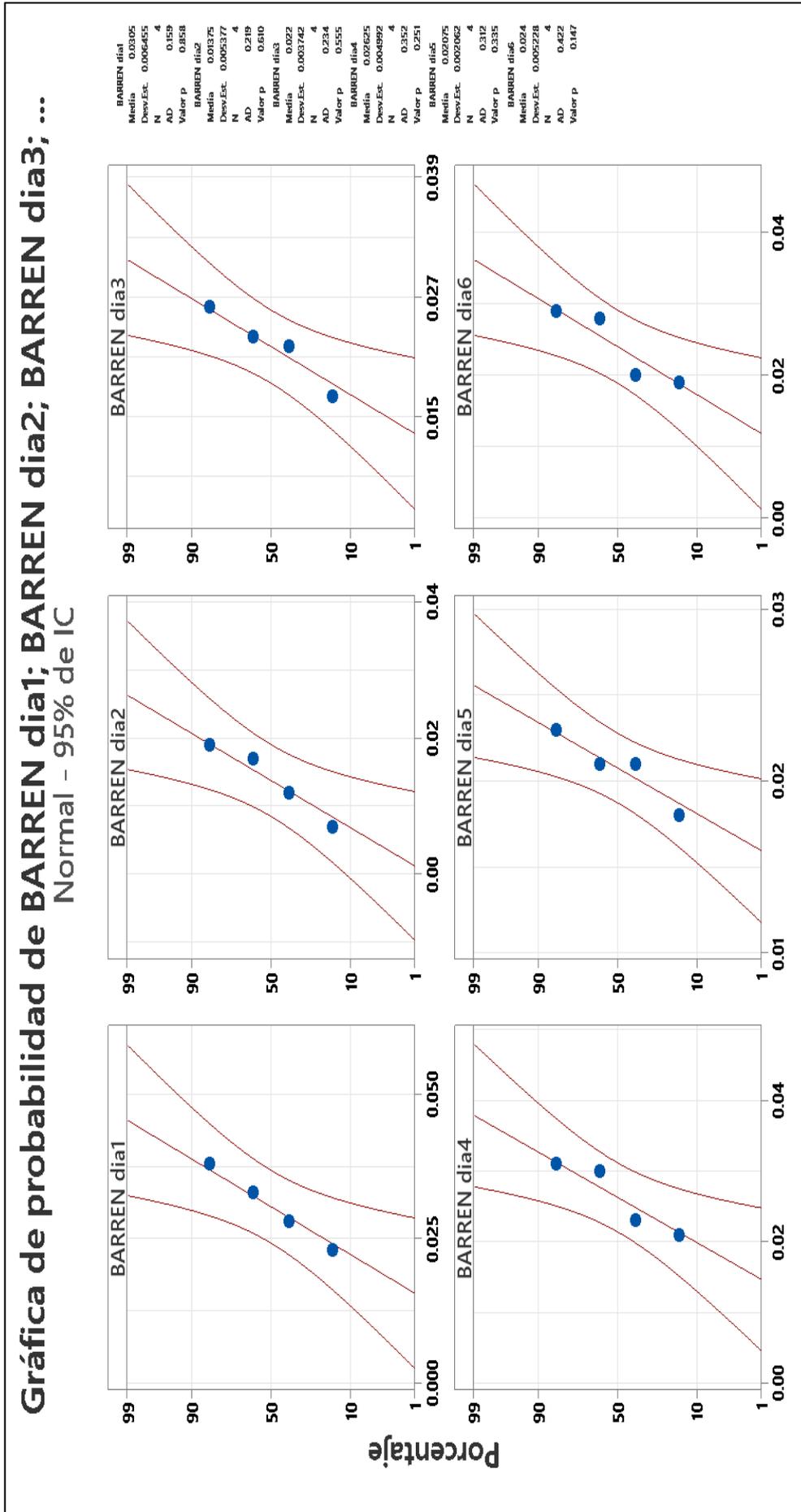


Figura 40. Grafica de probabilidad de sol. barren AA, día 1,2,3,4,5 y 6

Los datos son normales debido a que el p-valor supera el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) con la prueba de Anderson Darling, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Datos normales a un 95% de confianza.

- **Prueba de Datos atípicos mediante Grubbs de cada día de Sol. Barren**

H₀: Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal

H_a: El valor más pequeño o grande de los datos es un valor atípico

Nivel de significancia: Alfa = 0.05

Tabla 23. Prueba de valores atípicos sol. Barren AA

Prueba de Grubbs							
Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
BARREN día1	4	0.03050	0.00645	0.02300	0.03800	1.16	0.902
BARREN día2	4	0.01375	0.00538	0.00700	0.01900	1.26	0.653
BARREN día3	4	0.02200	0.00374	0.01700	0.02600	1.34	0.437
BARREN día4	4	0.02625	0.00499	0.02100	0.03100	1.05	1.000
BARREN día5	4	0.02075	0.00206	0.01800	0.02300	1.33	0.443
BARREN día6	4	0.02400	0.00523	0.01900	0.02900	0.96	1.000

Los datos no presentan datos atípicos debido a que el p-valor supera el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) con la prueba de Grubbs, se acepta la hipótesis nula.

B. Para el método chiddy:

- **Prueba de Normalidad de cada día de sol. Barren**

Gráfica de probabilidad de BARREN CHIDDY; BARREN CHIDDY; ... Normal - 95% de IC

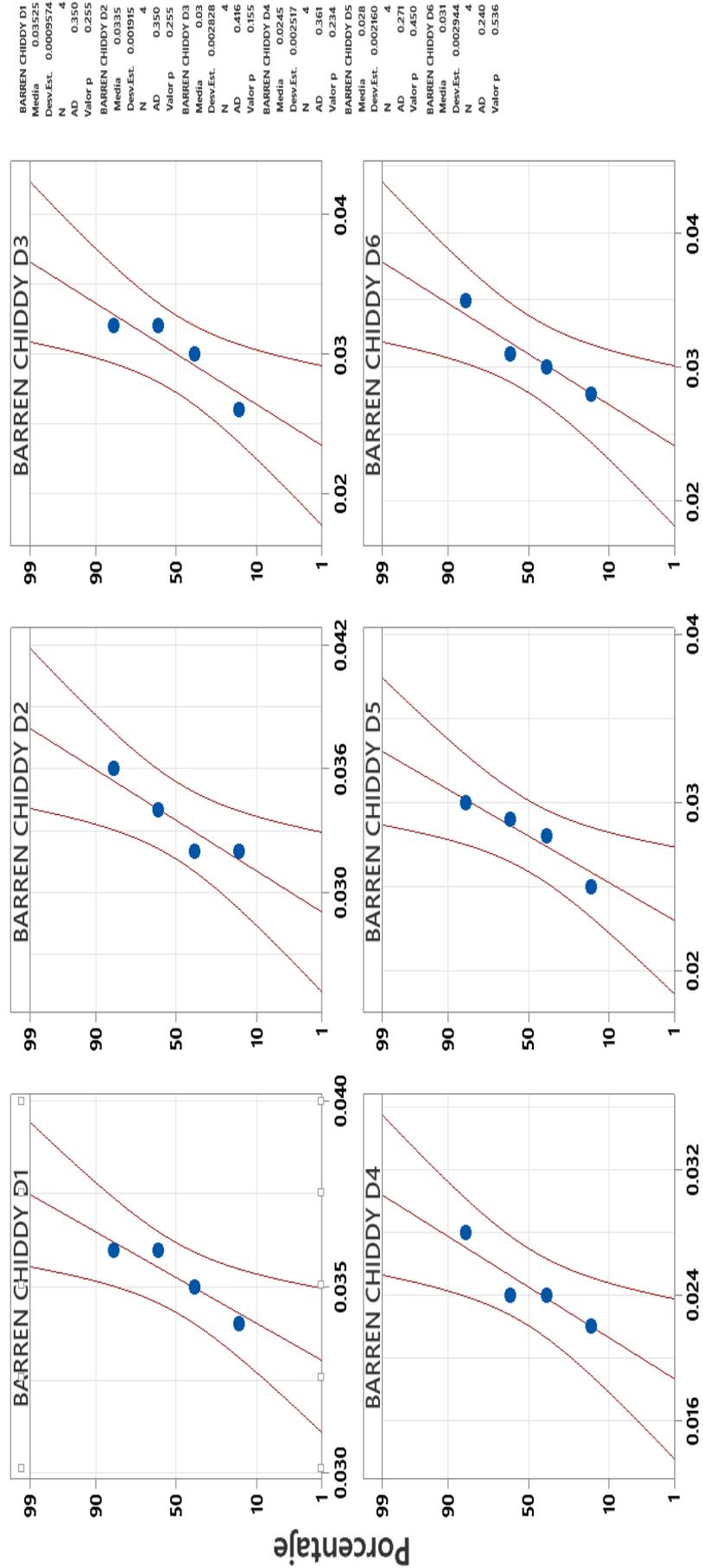


Figura 41. Grafica de probabilidad de sol. barren Método Chiddy, día 1,2,3,4,5 y 6

Los datos son normales debido a que el p-valor supera el nivel de significancia (alfa=0.05) con la prueba de Anderson Darling, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Datos normales a un 95% de confianza.

- **Datos atípicos mediante Grubbs de cada día de Sol. Barren**

H₀: Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal

H_a: El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico

Nivel de significancia: Alfa = 0.05

Tabla 24. Prueba de valores atípicos sol. barren chiddy

Prueba de Grubbs							
Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
BARREN CHIDDY D1	4	0.035250	0.000957	0.034000	0.036000	1.31	0.518
BARREN CHIDDY D2	4	0.033500	0.001915	0.032000	0.036000	1.31	0.518
BARREN CHIDDY D3	4	0.03000	0.00283	0.02600	0.03200	1.41	0.229
BARREN CHIDDY D4	4	0.02450	0.00252	0.02200	0.02800	1.39	0.291
BARREN CHIDDY D5	4	0.02800	0.00216	0.02500	0.03000	1.39	0.297
BARREN CHIDDY D6	4	0.03100	0.00294	0.02800	0.03500	1.36	0.377

Los datos no presentan datos atípicos debido a que el p-valor supera el nivel de significancia (alfa=0.05) con la prueba de Grubbs, se acepta la hipótesis nula.

2. Comprobación de supuestos del ANOVA

Los requisitos para utilizar la prueba ANOVA es realizar primero normalidad de los residuos y segunda homogeneidad de varianzas.

2.1. Normalidad de residuos

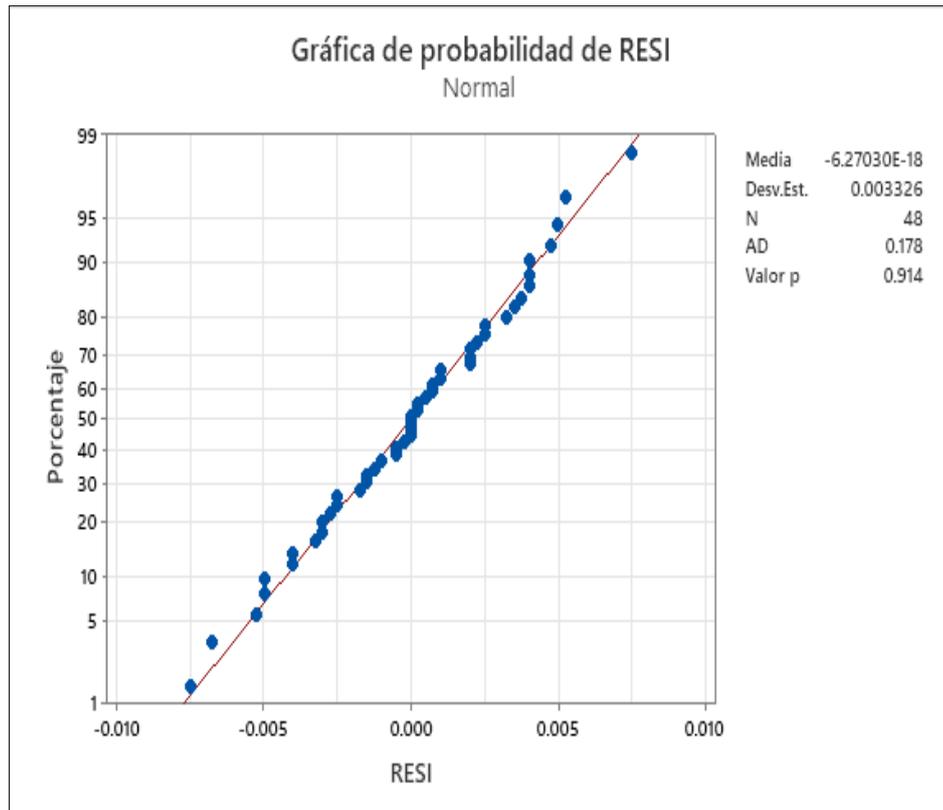


Figura 42. Grafica de probabilidad de residuos: Resultados Barren Vs. Días; Método

Los residuos son normales debido a que el p-valor supera el nivel de significancia (alfa=0.05) con la prueba de Anderson Darling. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, datos normales a un 95% de confianza.

2.2. Prueba de Homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna: Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia: Alfa=0.05

Se utiliza el método Bartlett. Este método es exacto para datos normales

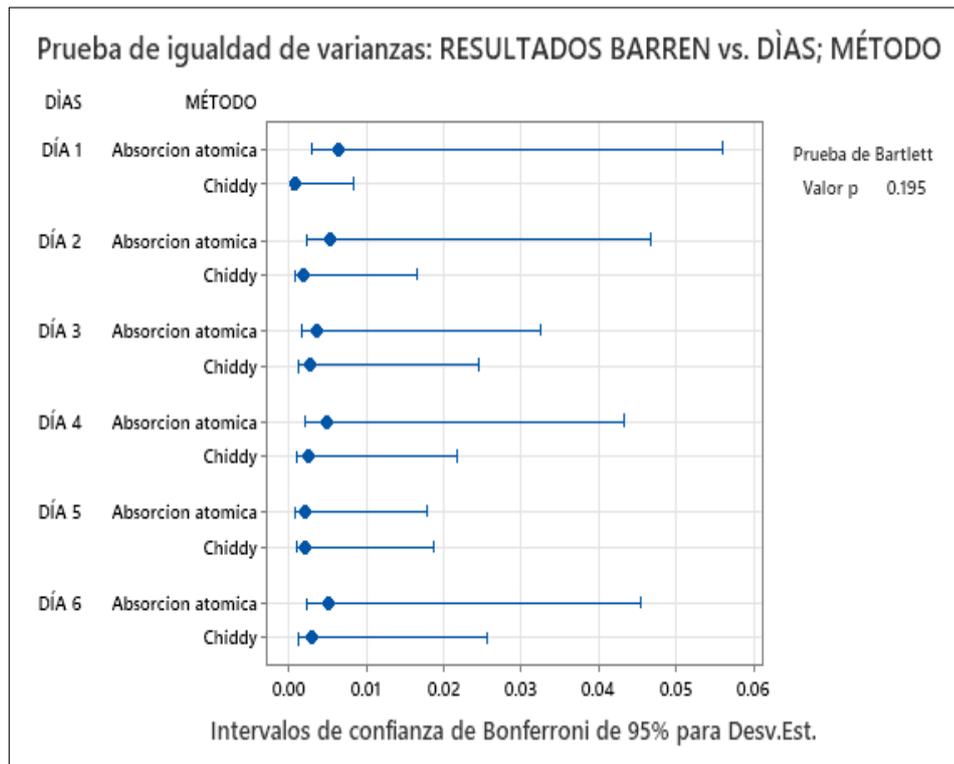


Figura 43. Prueba de igualdad de varianzas: Resultados Barren vs. Días; Método

Los datos presentan homogeneidad de varianzas debido a que el p-valor supera el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) con la prueba de Bartlett. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula a un 95% de confianza.

3. Prueba de ANOVA

- **Resultados Barren vs. Días; métodos**

Una vez realizado la evaluación de datos para solución barren en ambos métodos chiddy y absorción atómica se realiza la comparación de los métodos por día. Los resultados indican que los datos tienen un comportamiento normal debido a que el p-valor de las variables en estudio es mayor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$). Por lo tanto, se puede utilizar ANOVA para las pruebas de hipótesis planteadas en la investigación.

Para determinar si existen diferencias entre los grupos se procedió a realizar una prueba de hipótesis con diferencia de medias, donde las hipótesis fueron las siguientes:

H₀: Las medias de ley obtenidas son iguales con los métodos en estudio

H₁: Las medias de ley obtenidas son diferentes con los métodos en estudio

Tabla 25. Información del factor

Información del factor		
Factor	Tipo	Niveles Valores
DÍAS	Fijo	6 DÍA 1; DÍA 2; DÍA 3; DÍA 4; DÍA 5; DÍA 6
MÉTODO	Fijo	2 Absorción atómica; Chiddy

Tabla 26. Análisis de varianza

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
DÍAS	5	0.000447	0.000089	6.19	0.000
MÉTODO	1	0.000675	0.000675	46.73	0.000
DÍAS*MÉTODO	5	0.000487	0.000097	6.75	0.000
Error	36	0.000520	0.000014		
Total	47	0.002129			

Tanto para el factor "días" (día 1,2,3,4,5 y 6) "método" (chiddy y absorción atómica) y la interacción "días-método", se observa que si existen diferencias debido a que el p-valor es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$). Por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Es decir, al analizar los resultados obtenidos en la prueba de hipótesis se obtuvo que existen evidencias suficientes para afirmar que existen diferencias en las leyes obtenidas por ambos métodos.



4.1.3.6. Comparación por tipo de solución O/F vs. Días, métodos

Para realizar la comparación por tipo de solución O/F vs. Día, métodos; primero se realiza lo siguiente:

- 1.- Evaluación de datos: normalidad y datos atípicos,
- 2.- Comprobación de los supuestos del ANOVA (normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas con un nivel de confianza 95%)
- 3.- Si se cumplen con los supuestos aplicar ANOVA

1. Evaluación de datos

Antes de realizar cualquier prueba se debe verificar la normalidad y la atipicidad de los datos de cada método, esto se hizo mediante la prueba de Anderson Darling, ya que el tamaño de datos es pequeño o es menor de 6 datos, obteniéndose los siguientes resultados:

A. Para el método de absorción atómica:

- **Prueba de normalidad de cada día de sol. over flow**

Gráfica de probabilidad de OF AA DIA1; OF AA DIA2; OF AA DIA3; ...
Normal - 95% de IC

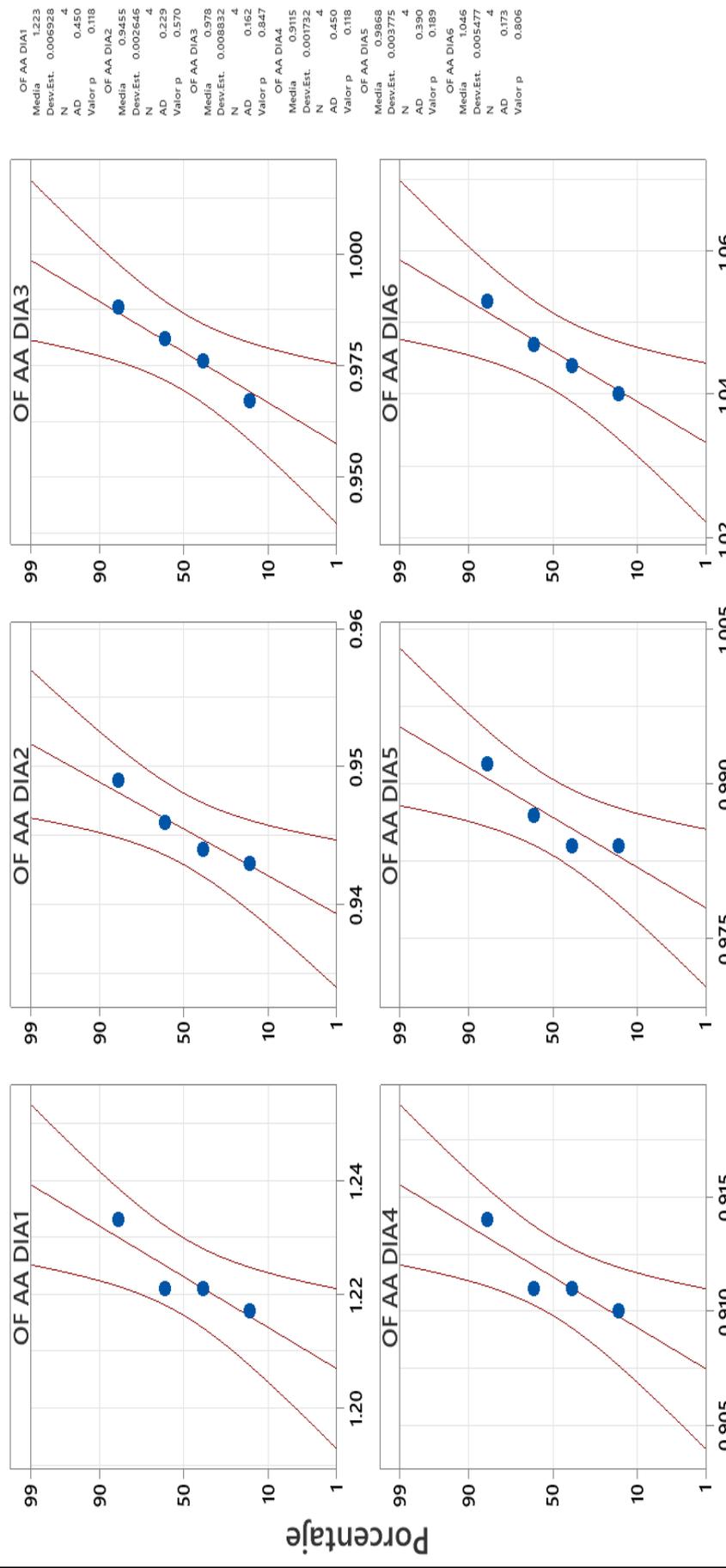


Figura 44. Grafica de probabilidad de sol. o/f AA, día 1,2,3,4,5 y 6

Los datos son normales debido a que el p-valor supera el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) con la prueba de Anderson Darling, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Datos normales a un 95% de confianza.

- **Prueba de Datos atípicos mediante Grubbs de cada día sol. O/F**

H₀: Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal

H_a: El valor más pequeño o grande de los datos es un valor atípico

Nivel de significancia: Alfa = 0.05

Tabla 27. Prueba de valores atípicos sol. O/F AA

Prueba de Grubbs							
Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
OF AA DIA1	4	1.2230	0.00693	1.2170	1.2330	1.44	0.151
OF AA DIA2	4	0.94550	0.00265	0.94300	0.94900	1.32	0.472
OF AA DIA3	4	0.97800	0.00883	0.96700	0.98800	1.25	0.679
OF AA DIA4	4	0.91150	0.00173	0.91000	0.91400	1.44	0.151
OF AA DIA5	4	0.98675	0.00377	0.98400	0.99200	1.39	0.291
OF AA DIA6	4	1.0460	0.00548	1.0400	1.0530	1.28	0.592

Los datos no presentan datos atípicos debido a que el p-valor supera el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) con la prueba de Grubbs, se acepta la hipótesis nula.

B. Para el método chiddy:

- **Prueba de Normalidad de cada día de sol. O/F**

Gráfica de probabilidad de OF CHIDDY DI; OF CHIDDY DI; ...
Normal - 95% de IC

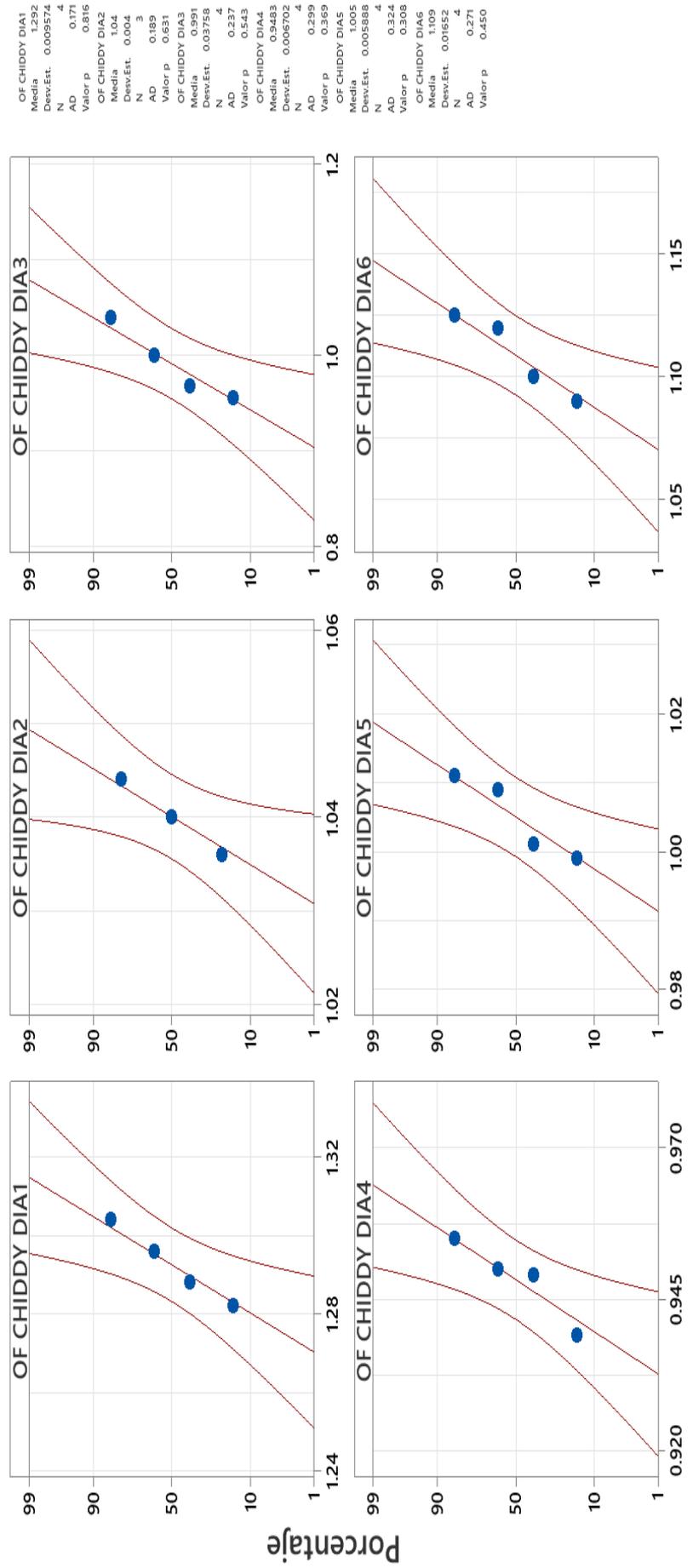


Figura 45. Grafica de probabilidad de sol. o/f chiddy, día 1,2,3,4,5 y 6

Los datos son normales debido a que el p-valor supera el nivel de significancia (alfa=0.05) con la prueba de Anderson Darling, por lo tanto se acepta la hipótesis nula. Datos normales a un 95% de confianza.

- **Datos atípicos mediante Grubbs de cada día de Sol. O/F**

H₀: Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal

H_a: El valor más pequeño o grande de los datos es un valor atípico

Nivel de significancia: Alfa = 0.05

Tabla 28. Prueba de valores atípicos sol. O/F Chiddy

Prueba de Grubbs							
Variable	N	Media	Desv.Est.	Mín.	Máx.	G	P
OF CHIDDY DIA1	4	1.2925	0.00957	1.2820	1.3040	1.20	0.797
OF CHIDDY DIA2	3	1.0400	0.00400	1.0360	1.0440	1.00	1.000
OF CHIDDY DIA3	4	0.9910	0.0376	0.9560	1.0400	1.30	0.523
OF CHIDDY DIA4	4	0.94825	0.00670	0.93900	0.95500	1.38	0.320
OF CHIDDY DIA5	4	1.0050	0.00589	0.9990	1.0110	1.02	1.000
OF CHIDDY DIA6	4	1.1088	0.0165	1.0900	1.1250	1.13	0.973

Los datos no presentan datos atípicos debido a que el p-valor supera el nivel de significancia (alfa=0.05) con la prueba de Grubbs, se acepta la hipótesis nula.

2. Comprobación de supuestos de ANOVA

2.1. Normalidad de residuos

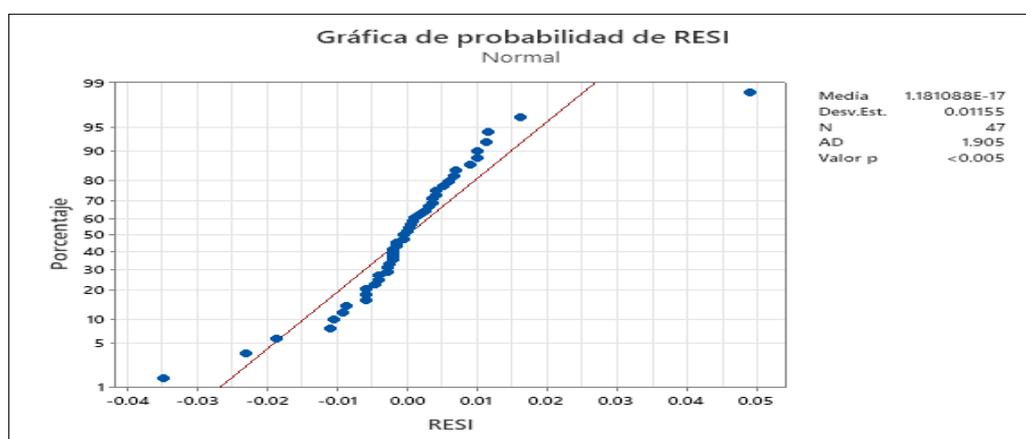


Figura 46. Grafica de probabilidad de residuos: resultados O/F VS. Días; Método

Los residuos no son normales debido a que el p-valor no supera el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) con la prueba de Anderson Darling. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula a un 95% de confianza.

2.2. Prueba de Homogeneidad de varianzas

Hipótesis nula: Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna: Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia: $\alpha=0.05$

Se utiliza el método Bartlett. Este método es exacto para datos normales

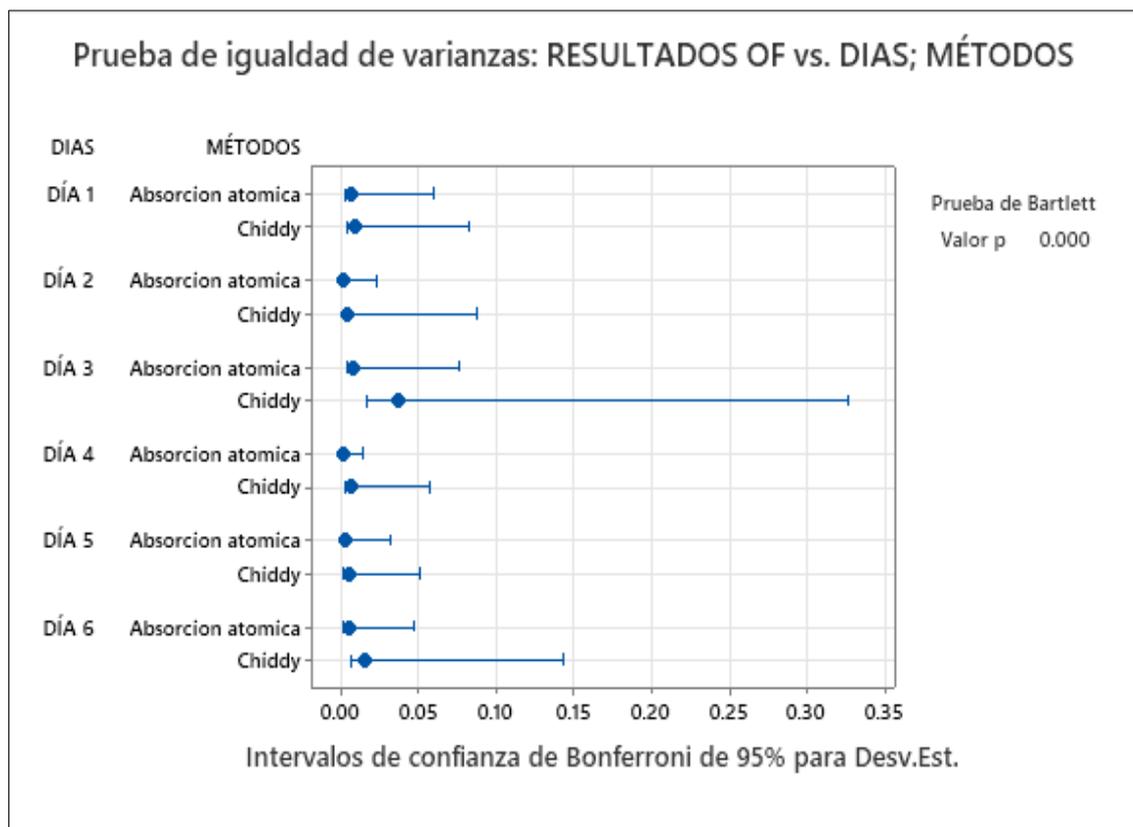


Figura 47. Prueba de igualdad de varianzas: resultados O/F Vs. Días; Método

Los datos no presentan homogeneidad de varianzas debido a que el p-valor no supera el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) con la prueba de Bartlett. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula a un 95% de confianza.

Según la gráfica de dispersión, el día 3 presenta alta variabilidad para el método chiddy frente al de absorción atómica, así mismo para el día 6. Por lo tanto, no se puede proceder con el estudio para el ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).

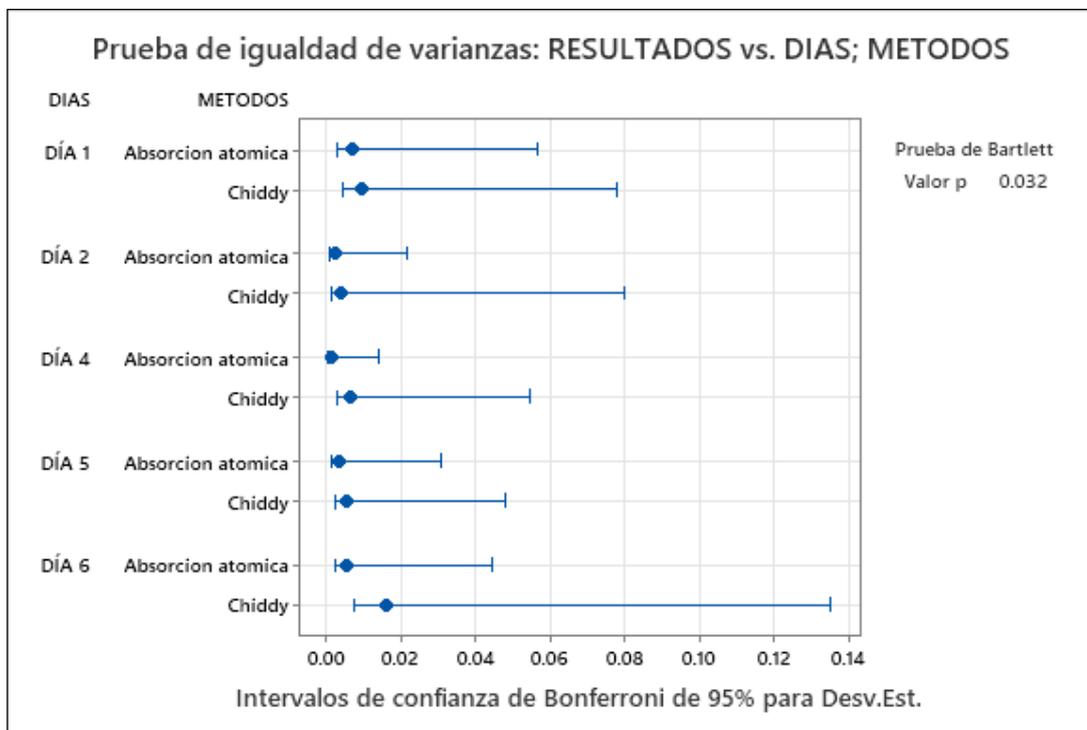


Figura 48. Prueba de igualdad de varianzas: resultados o/f vs DÍAS; MÉTODO (eliminando día 3)

Cuando se realizó la prueba eliminando el día 3, las gráficas siguen indicando que la variabilidad del método chiddy es constante en los diferentes días, esto debido a que el método chiddy es una técnica clásica y poco estable, muy por el contrario, con el método instrumental de absorción atómica el cual te da estabilidad en los datos y buena precisión.

4.1.3.7. Análisis de tiempos, distancias y actividades

Al analizar si existen diferencias entre los tiempos, las distancias y las actividades que se realizan al momento de aplicar cualquiera de los dos métodos se tiene:

Tabla 29. Comparación método chiddy y absorción atómica

Variables	Método Chiddy	Método Absorción Atómica	% Disminución
Tiempo	559,80 min	52,60 min	90,60%
Distancia	97,00 m	12,00 m	87,63%
Subactividades	41,00	23,00	43,90%

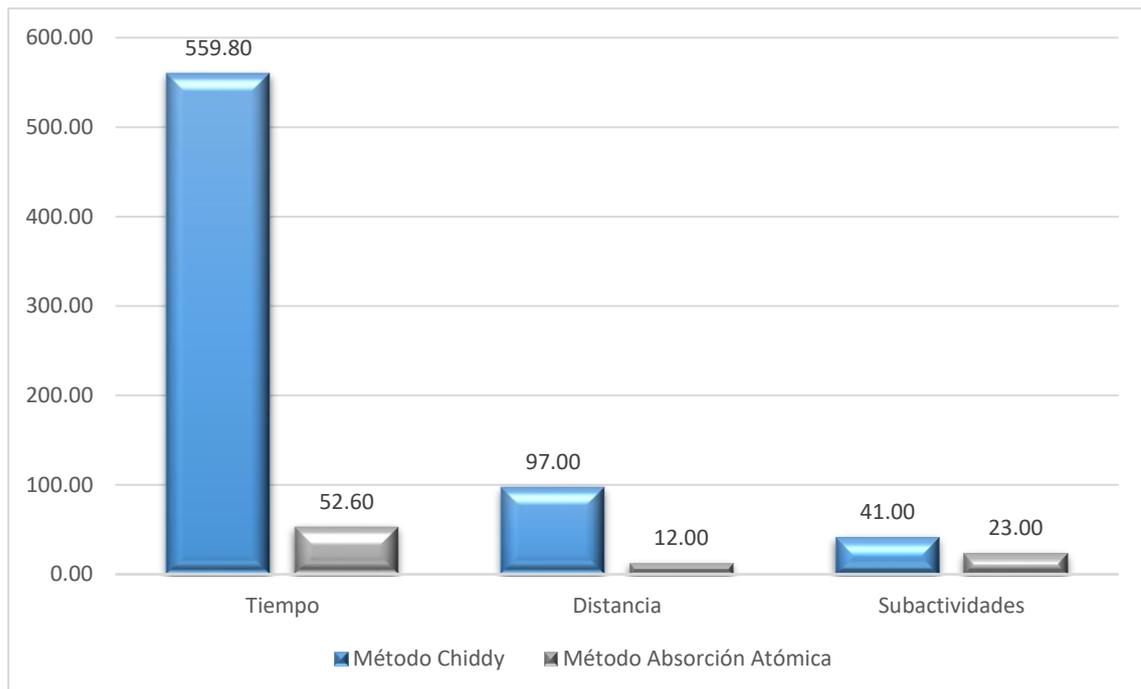


Figura 49. Comparación método chiddy y absorción atómica

Se puede observar que; con relación al tiempo de duración de cada método, se pudo evidenciar una diferencia del 90,60% en el tiempo de duración del proceso, mientras que, en las distancias recorridas por los trabajadores, se encontró que hubo una disminución del 87,63%, mientras que las subactividades realizadas, se encontró que hubo una reducción del 43,90%.

4.1.3.8. Análisis de costos

El análisis de costos se realizó basándose en los gastos incurridos en insumos, materiales y/o herramientas, por cada uno de los métodos.

Tabla 30. Costos de insumos del proceso actual

Actividad	Descripción	Costo Kg (S/.)	Cantidad Kg	Total (S/.)
	Acetato de plomo	322.40	0.001	0.32
	Zinc en polvo	235.04	0.010	2.35
	Cianuro de sodio	11.60	0.005	0.06
Precipitación	Ácido clorhídrico concentrado	2.03	0.050	0.10
	Papel filtro / Kraft.	0.26	1.00	0.26
	Papel filtro Whatman No 40	0.53	2.00	1.06
	Papel indicador pH	1.00	1.00	1.00
	Oxido de plomo amarillo (litargirio)	10.28	0.050	0.51
	Bicarbonato de sodio	6.00	0.035	0.21
	Sílice	3.40	0.003	0.01
	Bórax	4.48	0.015	0.07
	Harina	2.50	0.005	0.01
Ensaye al fuego	Nitrato de potasio	4.48	0.005	0.02
	Ácido nítrico cc al 33%	3.60	0.005	0.02
	Hidróxido de amonio al 15%.	2.51	0.015	0.04
	Agua desionizada	0.71	0.050	0.04
	Nitrato de Plata p.a.	22.38	0.005	0.11
	Copelas No 8C	1.48	1.00	1.48
	Crisoles refractarios	3.42	1.00	3.42
TOTAL				11.09

De la tabla 30, se puede observar que el costo por análisis utilizando el método chiddy es de S/ 11.09



Tabla 31. Costos de materiales/herramientas del proceso actual

Actividad	Descripción	Costo Unid (S/.)	Cantidad Unid	Total (S/.)
	Balde de 20 L	1.50	1.00	1.50
	Vaso de precipitado 25 mL	10.62	1.00	10.62
	Embudo de vidrio	10.50	1.00	10.50
	Vaso de precipitado pírrex de 500 mL	18.88	1.00	18.88
	Vaso de precipitado pírrex de 1000 mL	32.21	1.00	32.21
	Embudo de vidrio	10.50	1.00	10.50
	Bagueta de vidrio de 6mm diam x 25 cm	3.54	1.00	3.54
Precipitación	Luna de reloj	7.08	1.00	7.08
	Espátula de acero	8.26	1.00	8.26
	Piceta TP	9.32	1.00	9.32
	Probetas graduadas de 500 mL	36.58	1.00	36.58
	Probetas graduadas de 1000 mL	63.72	1.00	63.72
	Alicate curvo	20.50	1.00	20.50
	Cargador de régulos	30.10	1.00	30.10
	Cargador múltiple de crisoles	35.40	1.00	35.40
	Crayolas resistentes al calor	1.00	1.00	1.00
	Crisoles de porcelana	8.14	1.00	8.14
	Lingoteras de 6 cavidades	250.00	1.00	250.00
	Martillo	28.00	1.00	28.00
Ensaye al fuego	Pinza para manipular dores	18.50	1.00	18.50
	Pinza para manipular régulo	22.42	1.00	22.42
	Tablero porta régulos	15.00	1.00	15.00
	Tenaza de crisol	27.50	1.00	27.50
	Yunque	70.50	1.00	70.50
	Pinza para crisoles	22.42	1.00	22.42
TOTAL				762.19

De la tabla 31, el costo S/ 762.19 representa la inversión en materiales/herramientas que debe realizar un laboratorio en caso de desear utilizar el método chiddy como método de lectura de ley de oro en soluciones cianuradas.

Al analizar los costos por el método propuesto se tiene:

Tabla 32. Costos de insumos del método propuesto

Descripción	Costo Kg (S/.)	Cantidad Kg	Total (S/.)
Solución estándar certificada de oro 1000 ppm	2,017.60	0.004	8.07
Agua ultrapura purificada tipo I	2.95	0.600	1.77
Cianuro de Sodio p.a. NaCN	11.60	0.003	0.03
Hidróxido de sodio en lentejas p.a. NaOH	4.70	0.002	0.01
Papel indicador	1.00	1.000	1.00
TOTAL			10.88

De la tabla 32, se puede observar que el costo de S/ 10.88, representa el costo por aproximadamente 50 análisis utilizando el método por espectroscopia de absorción atómica.

Tabla 33. Costos de materiales/herramientas del método propuesto

Descripción	Costo Unid (S/.)	Cantidad Unid	Total (S/.)
Tubos de ensayo de 16 x 100 mm	1.30	50.00	65.00
Gradillas para 18 tubos	11.80	3.00	35.40
Parafilm	0.10	1.00	0.10
Vaso de precipitado de 25 mL	10.62	1.00	10.62
Fiolas aforadas de 100 mL clase A	18.76	3.00	56.28
Fiolas aforadas de 200 mL clase A	22.42	1.00	22.42
Pipetas volumétricas clase A de 0.5 ppm	8.54	1.00	8.54
Pipetas volumétricas clase A de 1 ppm	12.98	1.00	12.98
Pipetas volumétricas clase A de 2 ppm	17.35	1.00	17.35
Piceta	9.32	1.00	9.32
Bombilla de succión	7.00	1.00	7.00
Papel Toalla	2.50	1.00	2.50
Probeta graduada de propileno 25 mL	7.08	1.00	7.08
TOTAL			254.59

De la tabla 33, el costo S/ 254.59 representan la inversión de materiales que debe realizar un laboratorio en caso de desear utilizar el método por espectroscopia de absorción atómica como método de lectura de ley de oro en soluciones cianuradas.

Al realizar la comparación de los costos de insumos por análisis, se tomaron en cuenta como numero de muestras analizadas 50, ya que la base química que se prepara para realizar el método por espectroscopia de absorción atómica, equivale a 50 análisis en promedio.

Tabla 34. Costos de los análisis

Ítems	Método Chiddy	Absorción Atómica
Muestras analizadas	50	50
Costo por muestra (S/.)	11.09	0.22
Costo por 50 análisis (S/.)	554.50	10.88

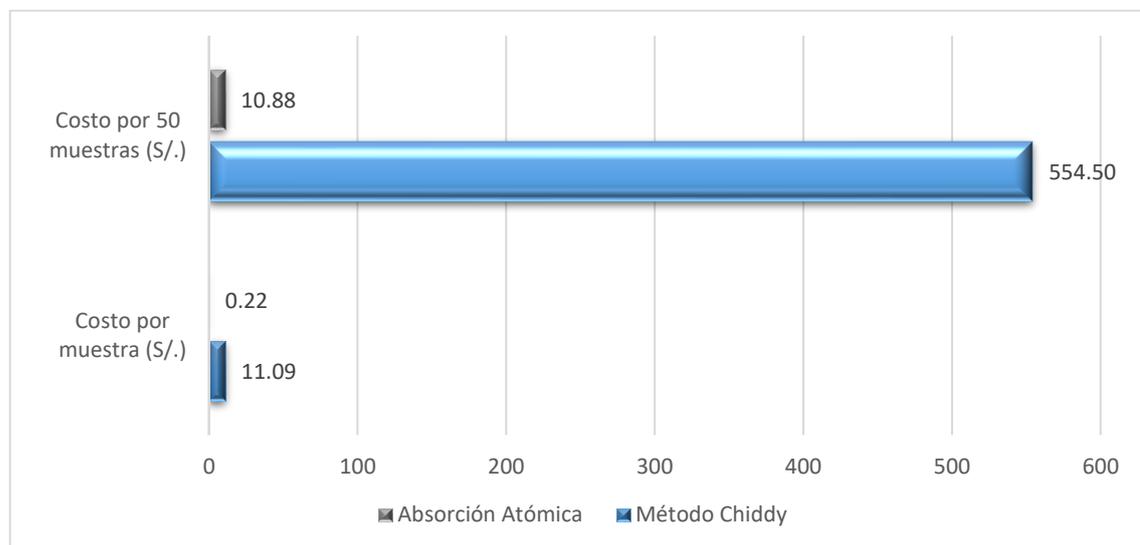


Figura 50. Costos por muestra

Al analizar los costos de insumos de los 2 métodos se tiene que, con el método chiddy, por la realización de 50 análisis es de S/ 554.50, mientras que por el método de absorción atómica solo se emplearían S/ 10.88, evidenciándose un ahorro de S/. 543.62



4.2. DISCUSIÓN

Luego de realizar la investigación se dio respuestas a la pregunta general que fue: ¿En qué medida se podrán comparar el método chiddy y la espectroscopia de absorción atómica como métodos de análisis del oro en soluciones cianuradas en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.?; llegando a la conclusión de que se puede medir en lecturas de ley, actividades, tiempos, distancias y costos, por lo tanto, si se puede aplicar la espectroscopia de absorción atómica como método alternativo, se demostró que, realiza lecturas de ley bajas como 0.007 ppm de oro, al igual que Pérez y Vargas (2017) obtuvo resultados parecidos al realizar comparaciones con tres tipos de concentraciones, además de presentarse invariable ante diversas situaciones de cuantificación de oro, siendo el porcentaje de recuperación de cada metal se encontraba entre el 90-110%.

En cuanto al método Chiddy, en la investigación se demostró que este método tiene una duración de 9,33 horas, registrando lecturas de ley superiores a 0.022 ppm de oro, por su parte Lipa (2019) realizó una investigación cuyo objetivo fue “describir el análisis de oro y plata para los distintos tipos de mineral geoquímico y concentrado en diferentes procesos en la unidad minera ARUNTANI SAC” (p. 16), utilizó el método chiddy obteniendo buenos resultados en cuanto a la lecturas de ley, donde se analizaron 5 muestras, de las cuales las 3 primeras lecturas de ley promedio fue 0.645 g/ton, mientras que en el resto se obtuvo 0.621 g/ton.

Cuando se evaluó el método de espectroscopia de absorción atómica para el análisis de oro en soluciones cianuradas como método alternativo, se demostró que este método tiene una duración de 52,60 minutos, también se determinó que este método es uno de los más exactos en cuanto a la lectura de ley, no solo del oro, sino de otros minerales, arrojando un alto porcentaje de eficiencia en cuanto a las lecturas de ley,



obteniendo lecturas por encima de 0.007 ppm de oro, mientras que Rosado (2017) que tuvo como objetivo general “evaluar el análisis químico en el primer ataque para el tratamiento de los minerales de oro en la empresa minera ARUNTANI S.A.C., proyecto minero Andrés-Jessica” (p. 2). concluyo que la lectura en equipo de absorción atómica resalta que su función es determinar, cuantitativamente, el oro que se presenta en las soluciones cianuradas, el cual se puede optimizar al controlar el nivel de temperatura en el equipo de absorción atómica, además de considerar el reactivo y número de crisoles, indicando que el error no debe superar el +/- 1%.

En cuanto a la comparación, se evidencia un ahorro de S/ 543.62 en costos de insumos, como también, disminución en tiempos, distancias y actividades aplicando el método por espectroscopia de absorción atómica, Reinoso (2018) aplicó la cianuración del oro como método para obtener el metal con granulometría adecuada y, posteriormente, se utilizó el equipo de absorción atómica para determinar la precipitación y recuperación del solvente que contiene a este metal. Cabe resaltar que la investigación realizó el proceso de análisis en un laboratorio químico, tanto a soluciones químicas como a sólidos, siendo en esta área donde se empleó la espectroscopia por absorción atómica, obteniendo resultados finales con un promedio 1 a 2 gr/Tm de oro.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: El método actual aplicado por CEPROMET Minera Porvenir S.A.C, para las lecturas de ley es el método chiddy, al realizar un diagrama de análisis de proceso (DAP), se determinó que este proceso tiene una duración de 559,80 min, donde se recorre una total de 97 metros, es decir, se realizan 41 subactividades, las cuales 33 eran operaciones, 4 inspecciones, 1 transporte y 3 de espera. Además, se encontró que este método produce leyes más altas.

SEGUNDA: Luego de evaluar el método de espectroscopia de absorción atómica para el análisis de oro en soluciones cianuradas propuesto en CEPROMET Minera Porvenir S.A.C.; mediante el diagrama de análisis de proceso (DAP) se determinó que este método tiene una duración de 52,60 min, recorriendo un total de 12 metros, es decir se realizan 23 subactividades las cuales 18 eran operaciones, 4 inspecciones y 1 espera. Llegando a la conclusión de que el método produce la ley de oro más confiable, ya que realiza lectura desde muy bajas leyes. Al realizar una comparación del método actual en la empresa y la espectroscopia como método alternativo, se determinó que el método chiddy es un proceso largo, ya que tiene una duración de 9,33 horas, mientras que el método propuesto solo tarda 52,60 minutos, reduciendo el tiempo en un 90,60%, en cuanto a las distancias con el método actual se recorren 97 metros y con el método propuesto alrededor de 12 metros, reduciendo las distancia recorridas en un 87,63%, en cuanto a las subactividades realizadas, estas se reducen de 41 a 23, indicando un 43,90% de reducción. En cuanto a los costos, el costo de insumos, analizando 50 muestras por el método chiddy es de S/ 554.50 y por el método de absorción atómica es de S/ 10.88, evidenciándose un ahorro de S/ 543.62, también se observó que el método chiddy no pudo reportar leyes menores de 0.022 ppm de oro, mientras que el método de absorción atómica se puede leer tan bajo



como 0.007 ppm de oro, perdiéndose la capacidad de adaptación del método frente a la variabilidad del proceso en planta. Además, al determinar si había diferencias entre los días y métodos se determinó que al utilizar solución Barren vs. Días; métodos, los resultados obtenidos en la prueba de hipótesis, se obtuvo que existen evidencias suficientes para afirmar que existen diferencias en las leyes obtenidas por ambos métodos, mientras que cuando se utilizó O/F vs. Días; métodos, los datos no presentan homogeneidad de varianzas ya que los datos por el método chiddy presentan alta variabilidad frente al de absorción atómica, por lo tanto, no se puede proceder con la prueba de igualdad de varianzas.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Instar a la empresa a utilizar el método de espectroscopia de absorción atómica como lector de la ley del oro en soluciones cianuradas, ya que se realiza en menos tiempo, se utilizan menos insumos y materiales lo que traería como consecuencia una reducción en los costos y un impacto ambiental bajo.

SEGUNDA: Emplear la espectroscopia de absorción atómica, ya que es uno de los métodos que mejor se adapta al análisis de oro en soluciones cianuradas.

TERCERA: Realizar estudios y buscar la razón de, el porque la variabilidad de lecturas de ley por el método chiddy.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 911 Metallurgist. (1 de enero de 2017). *Cianuración de oro y plata*. Obtenido de 911 Metallurgist: <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/cianuracion-oro-plata/>
- Agilent Technologies. (2016). *Los fundamentos de la espectroscopia: teoría*. Academic & Institutional Research.
- Aguilar, J. (4 de noviembre de 2015). *Cianuración*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/JoseMartinAguilar/cianuracin-54746226>
- Álvarez, R. (2005). *Aplicación de sistemas pasivos para el tratamiento de soluciones residuales de procesos de cianuración en minería de oro* (tesis doctoral). Universidad de Oviedo.
- Byrne, C. (2021). *Espectroscopia atómica*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Chávez, P. (2014). *Determinación de la dosificación óptima de cianuro para lograr la mayor recuperación de oro y plata en el proceso de lixiviación intensiva de concentrados* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: Repositorio Institucional UNSA.
- Churqui, J. y Condori, E. (2019). *Análisis y mejoramiento del método de lixiviación por agitación, del oro disuelto en cianuro para una mayor recuperación en comparación del oro total a nivel del laboratorio* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: Repositorio Institucional UNSA.



- Cooperación. (2020). La minería en tiempos de pandemia. *Actualidad Minera del Perú* (252).
- Daga, J. (2020). *Comparación analítica de ensayo al fuego y espectroscopia para muestras geoquímicas de alto contenido de oro y plata - Bureau Veritas S.A., 2019* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión: Repositorio Institucional UNJFSC.
- Diccionario de la Lengua Española. (2014). *Absorción*. Obtenido de RAE: <https://dle.rae.es/absorción?m=form>
- Diccionario de la Lengua Española. (2014). *Espectro*. Obtenido de RAE: <https://dle.rae.es/espectro?m=form>
- Domínguez, B., Cerecedo, H., Padilla, P. y García, J. (2020). La interacción de la luz con moléculas. *Revista Digital Universitaria*, 21(5), 1-10.
- Espinoza, A. (2019). *Estudio de oxidación/cianuración de un concentrado sulfuroso para la extracción de oro* (tesis de maestría). Universidad de Sonora: Repositorio UNISON.
- Ferris, C., Grubbs, F. y Weaver, C. (1946). *Operating Characteristics for the Common Statistical Tests of Significance*. <https://projecteuclid.org/journals/annals-of-mathematical-statistics/volume-17/issue-2/Operating-Characteristics-for-the-Common-Statistical-Tests-of-Significance/10.1214/aoms/1177730979.full>.
- Flores, C. (2019). *Estudio del proceso de cianuración de minerales auríferos para la recuperación de oro en el proyecto Oropesa, La Rinconada-Puno* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano: Repositorio UNAP.



- Gómez, U. (16 de noviembre de 2018). *El cianuro, un químico letal que puede matar en minutos*. Obtenido de El tiempo: <https://www.eltiempo.com/salud/los-efectos-del-cianuro-en-el-cuerpo-293330>
- González, A. (5 de abril de 2021). *Soluciones químicas*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/soluciones-quimicas/>
- Hurtado, J. (2016). *Metodología de la investigación*. Caracas, Venezuela: Quirón.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2019). *Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del cianuro de hidrógeno, cianuro de potasio y cianuro de sodio*. Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social-Gobierno de España.
- Jiménez, N., Romero, V., Pagneux, V. y Groby, J. (2017). Absorción perfecta de baja frecuencia por paneles acústicos ultrafinos basados en metamateriales. 48° *Congreso Español de Acústica*. Le Mans.
- Joyería Plaor. (16 de junio de 2016). *El oro. Características físicas, usos y propiedades*. Obtenido de Blog Joyería Plaor: <https://www.joyeriaplaor.com/blog/el-oro-caracteristicas-fisicas-usos-y-propiedades/>
- León, E., Camacho, M., García, O., Herrera, J., Villareal, J., Martínez, C., . . . Jiménez, G. (2017). Análisis de los espectros de absorción de las películas radiocrómicas EBT2 y EBT3. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica* , 38(1), 363-371.
- Lipa, R. (2019). *Análisis químico de oro y plata en sus diferentes procesos en la empresa minera Aruntani SAC Ocuvi-Lampa: laboratorio químico* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano]: Repositorio UNAP.



- Mondragón, P. (2017). *Espectroscopia de infrarrojo para todos/Espectros de alimentos consumidos en México*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.
- Moure, A., Pérez, F., Gonzáles, J., Muñoz, M. y Hublard, M. (2004). *Espectroscopia por absorción atómica*. Obtenido de Xtec: http://www.xtec.cat/~gjimene2/llicencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d32817116-3_____AAS_final.html
- Nava, F., Elorza, E., Uribe, A. y Pérez, R. (2007). Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: revisión de los principales métodos. *Revista de metalurgia*, 43(1), 20-28.
- Pérez, E. y Alvarado, D. (2018). Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua. *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 387-396.
- Pérez, E. y Vargas, A. (2017). Indagación de dos metodología analíticas para cuantificar oro en soluciones cianuradas, en industria de dispositivos electrónicos en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 30(2), 106-127.
- Reinoso, L. (2018). *Descripción del proceso de recuperación de oro de la unidad minera Ecodesarrollos Mineros S.A.S.* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: Repositorio Institucional UNSA.
- Rodríguez, R. (2017). *Fundamentos de química general: Disoluciones, propiedades coligativas y gases ideales*. Editorial UPSE.
- Rojas, N. y Bustamante, O. (2007). Disolución de cobre en cianuración convencional proveniente de ferrita cúprica. *Dyna*, 74(152), 151-157.



- Rosado, J. (2017). *Mejoramiento del análisis químico para minerales de oro* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: Repositorio Institucional UNSA.
- Serrano, J. (2017). *El espectro electromagnético. Absorción visible-ultravioleta. Instrumentación y métodos de análisis químico.*
- Wikipedia. (1 de agosto de 2006). *Cianuro*. Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cianuro#/media/Archivo:Cyanide-montage.png>
- Yana, J. (2018). *Optimización del proceso de cianuración de oro en la planta de La Joya Mining* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: Repositorio Institucional UNSA.



ANEXOS

Anexo 1. Cotización de insumos químicos (I)

CONDICIONES GENERALES	
VALIDEZ DE OFERTA	5 DÍAS
FORMA DE PAGO	AL CONTADO
TIEMPO DE ENTREGA	INMEDIATA
MONEDA	DOLARES AMERICANOS

OBSERVACIÓN: PUESTO EN LIMA

ITEM	CANT.	U.M.	DESCRIPCION	P.UNIT.	TOTAL
1	1	UND	PLOMO ACETATO II TRIHIDRATADO ACS 500GR	40.30	\$ 40.30
2	1	UND	SODIO ACETATO ANH ACS 1K	54.60	\$ 54.60
3	25	KG	BORAX DECAHIDRATADO 25 MULAS USA (SACO X 25KG)	1.12	\$ 28.00
4	100	KG	CIANURO DE SODIO HEBEI OIL X 50 KG	2.90	\$ 290.00
5	1	UND	SODIO CLORURO ACS 1 KG	16.25	\$ 16.25
6	25	KG	FUNDENTE A GRANUL: LITARGIRIO 40.00% CARBONATO DE SODIO DENSO 25.00% BÓRAX DECAHIDRATADO 25.00 % SÍLICE 10.0% BALDES DE 25 kg. LITARGIRIO GOLD FREE 5 ppb Au y 1 ppm Ag	5.07	\$ 126.75
7	1	UND	NITRATO DE POTASIO (SACO X 25 KG)	28.00	\$ 28.00
8	1	UND	YODURO DE POTASIO P.A. 1KG FRASCO CERRADO	55.97	\$ 55.97
9	1	UND	ZINC EN POLVO X 250 GR. - ZN - SOLUTEST	14.69	\$ 14.69
10	2	BT	AA SOLUCION STD. DE ORO 1,000PPM 500ML	252.20	\$ 504.40
11	2	BT	AA SOLUCION STD. DE PLATA 1,000PPM 500ML	44.20	\$ 88.40

ENTIDAD BANCARIA	NRO DE CUENTA CORRIENTE	SUB TOTAL	\$ 1,247.36
BCP SOLDES	191-1170154-096	IGV 18%	\$ 224.52
BCP DOLARES	191-1147860-1-14	TOTAL	\$ 1,471.88
BIVA DOLARES	001-9138-02-00407964		

Anexo 2. Cotización de insumos químicos (II)

PERU QUIMICOS SAC RUC 20120876083
AREQUIPA: Manuel Vinelly 140 Arequipa -
Arequipa
Tlf: 054- 222442

FECHA: 9/07/2021

COTIZACION N°- 0001-2021

DESTINATARIO

SEÑOR: CEPROMET MINERA PORVENIR S.A.C

ATENCIÓN: DULIA

LUGAR DE ENTREGA: AREQUIPA

RUC: 20455230714

CONDICIONES COMERCIALES:		MONEDA		OBSERVACIONES				
TIEMPO DE ENTREGA	VALIDEZ DE OFERTA	CONDICIONES DE PAGO	MONEDA					
15 DIAS	CONTADO		SOLES					
PRODUCTOS								
ITEM	DESCRIPCIÓN	PRESENTACION	CANTD	UNIDAD MEDIDA	PRECIO UNIT	SUB TOTAL	IGV	TOTAL
1	SILICATO DE SODIO ALCALINO	BIDON	30	UND	8.47	254.24	45.7623	300.00
2	BICARBONATO DE SODIO	SACO	25	KILO	5.08	127.12	22.88115	150.00
3	SODA CAUSICA	SACO	25	KILO	3.98	99.58	17.9235	117.50
4	AGUA DESHIONIZADA	UND	25	LITRO	0.60	15.00	2.7	17.70
				GALON	0.00	0.00	0	0.00
					0.00	0.00	0	0.00
SUB TOTAL						495.93	89.26695	585.19
SUB TOTAL						IGV	TOTAL	

CTA CTE SOLES

215 - 2466883-0-25

CTA CTE DOLARES

215 - 2466883-0-25



Anexo 3. Cotización de materiales de Laboratorio Qumico (I)

PERU QUIMICOS SAC RUC 20120876083
AREQUIPA: Manuel Vinelly 140 Arequipa -
Arequipa
Tif: 054- 222442

COTIZACION N°- 0001-2021



DESTINATARIO	FECHA:	21/07/2021
SEÑOR: CEPROMET MINERA PORVENIR S.A.C	ATENCIÓN: DULIA	
	LUGAR DE ENTREGA: AREQUIPA	

RUC: 20455230714

CONDICIONES COMERCIALES:								
TIEMPO DE ENTREGA	VALIDEZ DE OFERTA	CONDICIONES DE PAGO		MONEDA	OBSERVACIONES			
	15 DIAS	CONTADO		SOLES				
PRODUCTOS								
ITEM	DESCRIPCIÓN	PRESENTACION	CANTD	UNIDAD MEDIDA	PRECIO UNIT	SUB TOTAL	IGV	TOTAL
1	pipeta de vidrio volumetrica "A" X 1 ML	UND	1	UND	11.00	11.00	1.98	12.98
2	pipeta de vidrio volumetrica "A" X 2 ML	UND	1	UND	14.70	14.70	2.646	17.35
3	pipeta de vidrio volumetrica "A" X 3 ML	caja	1	UND	18.40	18.40	3.312	21.71
4	pipeta de vidrio volumetrica "A" X 4 ML	UND	1	UND	21.00	21.00	3.78	24.78
5	pipeta de vidrio volumetrica "A" X 5 ML	UND	1	UND	11.90	11.90	2.142	14.04
6	pipeta de vidrio volumetrica "A" X 10 ML	UND	1	UND	11.50	11.50	2.07	13.57
7	pipeta de vidrio volumetrica "A" X 20 ML	UND	1	UND	21.00	21.00	3.78	24.78
8	PROBETA GRAD. DE PROPILENO X 10ML	UND	1	UND	5.50	5.50	0.99	6.49
9	PROBETA GRAD. DE PROPILENO X 25 ML	UND	1	UND	6.00	6.00	1.08	7.08
10	probeta grad de propileno x 1000 ml	UND	1	UND	39.00	39.00	7.02	46.02
11	tubos de ensayo de 16 x 100 mm	UND	1	UND	1.10	1.10	0.198	1.30
12	tubos de ensayo de 16 x 150 mm	UND	1	UND	1.00	1.00	0.18	1.18
13	vaso (beaker)grad.f/baia x 25 ml	UND	1	UND	9.00	9.00	1.62	10.62
14	vaso (beaker)grad.f/baja x 50 ml	UND	1	UND	10.90	10.90	1.962	12.86
15	vaso (beaker)grad.f/baja x 100 ml	UND	1	UND	11.00	11.00	1.98	12.98
16	vaso (beaker)grad.f/baja x 250 ml	UND	1	UND	12.00	12.00	2.16	14.16
17	vaso (beaker)grad.f/baja x 600 ml	UND	1	UND	16.00	16.00	2.88	18.88
18	vaso (beaker)grad.f/baja x 1000 ml	UND	1	UND	27.30	27.30	4.914	32.21
19	vaso (beaker)grad.f/baja x 2000 ml	UND	1	UND	47.80	47.80	8.604	56.40
20	agua ultrapura purificada tipo I	LT	1	LITRO	2.50	2.50	0.45	2.95



Anexo 4. Cotizacion de materiales de Laboratorio Quimico (II)

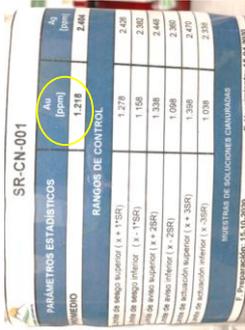
PERU QUIMICOS SAC RUC 20120876083		AREQUIPA: Manuel Vinelly 140 Arequipa - Arequipa		COTIZACION N°- 0001-2021				
TIF: 054- 222442		DESTINATARIO		FECHA:		21/07/2021		
SEÑOR: CEPROMET MINERA PORVENIR S.A.C				ATENCIÓN: DULIA		LUGAR DE ENTREGA: AREQUIPA		
RUC: 20455230714								
CONDICIONES COMERCIALES:								
TIEMPO DE ENTREGA	VALIDEZ DE OFERTA	CONDICIONES DE PAGO		MONEDA	OBSERVACIONES			
15 DIAS		CONTADO		SOLES				
PRODUCTOS								
ITEM	DESCRIPCIÓN	PRESENTACION	CANTD	UNIDAD MEDIDA	PRECIO UNIT	SUB TOTAL	IGV	TOTAL
1	baqueta de vidrio de 6 mm.diam.x25cm.largo	UND	1	UND	3.00	3.00	0.54	3.54
2	pipetador pelaeus estándar 3 salidas	UND	1	UND	22.00	22.00	3.96	25.96
3	copelas de magnesita n° 8c(cjax200uds)	caja	1	UND	250.00	250.00	45	295.00
4	crisoles de arcilla de 30g x und	UND	1	UND	2.50	2.50	0.45	2.95
5	crisoles de arcilla de 40 g x und	UND	1	UND	2.90	2.90	0.522	3.42
6	crisoles porc.35 D.S/24 D.B/40 mm. A CAP 25 ml	UND	1	UND	6.90	6.90	1.242	8.14
7	embudo de vidrio t/corto x 75 mm.diam	UND	1	UND	6.50	6.50	1.17	7.67
8	embudo de vidrio t/corto x 100 mm.diam	UND	1	UND	8.90	8.90	1.602	10.50
9	espatula de acero inox.hoja de 10 cm .M/madera	UND	1	UND	7.00	7.00	1.26	8.26
10	fiola t/plastica clase "A" X 50 ML	UND	1	UND	26.00	26.00	4.68	30.68
11	fiola t/plastica clase "A" X 100 ML	UND	1	UND	15.90	15.90	2.862	18.76
12	fiola t/plastica clase "A" x 200 ml	UND	1	UND	19.00	19.00	3.42	22.42
13	fiola t/plastica clase "A" x 250 ml	UND	1	UND	19.00	19.00	3.42	22.42

14	fiola t/plastica clase "A" x 500 ml	UND	1	UND	31.00	31.00	5.58	36.58
15	fiola t/plastica clase "A" x 1000 ml	UND	1	UND	54.00	54.00	9.72	63.72
16	gradillas de fierro plastificada para 18 tubos	UND	1	UND	10.00	10.00	1.8	11.80
17	lunas de relojde 60 mm.diam	UND	1	UND	4.50	4.50	0.81	5.31
18	lunas de relojde 100 mm.diam	UND	1	UND	6.00	6.00	1.08	7.08
19	matraz(erlenmeyer)grad.b/nag. X 125ml	UND	1	UND	6.20	6.20	1.116	7.32
20	matraz(erlenmeyer)grad.b/nag. X 250ml	UND	1	UND	8.00	8.00	1.44	9.44
21	matraz(erlenmeyer)grad.b/nag. X 500ml	UND	1	UND	12.00	12.00	2.16	14.16
22	mocropipeta de volumen variable de 2 a 20 ul	UND	1	UND	168.00	168.00	30.24	198.24
23	mocropipeta de volumen variable de 10 a 100 ul	UND	1	UND	168.00	168.00	30.24	198.24
24	papel filtro n° 40 de 12.5 cm.diam.x100 discos	caja	1	UND	45.00	45.00	8.1	53.10
25	Papel filtro FILT./rapida (34n)de 50 x 53cm	plg	1	UND	2.50	2.50	0.45	2.95
26	papel kraf de 75 x 1.00 (500 plgs)	resm	1	UND	108.20	108.20	19.476	127.68
27	papel ind. Ph 0,0-14 caja x200 tiras	caja	1	UND	169.80	169.80	30.564	200.36
28	papel parafilm de 4"x250 pies	caja	1	UND	146.00	146.00	26.28	172.28
29	frasco lavadores (pizeta) x 500 ml	UND	1	UND	7.90	7.90	1.422	9.32
30	frasco lavadores (pizeta) x 1000 ml	UND	1	UND	9.80	9.80	1.764	11.56
31	pinza para crisoles i/o capsulas de 26 cm	UND	1	UND	19.00	19.00	3.42	22.42
32	micropipetade volumen variable de 5 a 50 ul	UND	1	UND	168.00	168.00	30.24	198.24
33		UND	1	UND	0.00	0.00	0	0.00
34		UND	1	UND	0.00	0.00	0	0.00
						1533.50	276.03	1809.53
						SUB TOTAL	IGV	TOTAL
CTA CTE SOLES		CTA CTE DOLARES						

Anexo 5. Registro de resultados de ensayo por el método chiddy y absorcion atomica dia 1,2,3,4,5 y 6 con sus respectivos controles

DIA 1 11/11/2020			DIA 2 12/11/2020			DIA 3 13/11/2020			DIA 5 15/11/2020			DIA 6 16/11/2020			
METODO AA		METODO CHIDDY		METODO AA		METODO CHIDDY		METODO AA		METODO CHIDDY		METODO AA		METODO CHIDDY	
Sample	Au (mg/L)	Sample	Au (mg/L)	Sample	Au (mg/L)	Sample	Au (mg/L)	Sample	Au (mg/L)	Sample	Au (mg/L)	Sample	Au (mg/L)	Sample	Au (mg/L)
#SOLCN 11-11-20 1° DIA		#SOLCN 12-11-20 2° DIA		#SOLCN 13-11-20 3° DIA		#SOLCN 15-11-20 5° DIA		#SOLCN 16-11-20 6° DIA		#SOLCN 15-11-20 5° DIA		#SOLCN 16-11-20 6° DIA		#SOLCN 16-11-20 6° DIA	
SR-CN-001	1.215	SR-CN-001	1.198	SR-CN-001	1.201	SR-CN-001	1.209	SR-CN-001	1.201	SR-CN-001	1.203	SR-CN-001	1.201	SR-CN-001	1.201
BK	0.003	BK	-0.001	BK	-0.001	BK	-0.004	BK	-0.006	BK	0.000	BK	-0.006	BK	0.000
SOL BARREN	0.035	SOL BARREN	0.017	SOL BARREN	0.023	SOL BARREN	0.021	SOL BARREN	0.028	SOL BARREN	0.028	SOL BARREN	0.021	SOL BARREN	0.025
SOL BARREN	0.034	SOL BARREN	0.007	SOL BARREN	0.026	SOL BARREN	0.031	SOL BARREN	0.024	SOL BARREN	0.024	SOL BARREN	0.018	SOL BARREN	0.030
SOL BARREN	0.036	SOL BARREN	0.012	SOL BARREN	0.017	SOL BARREN	0.023	SOL BARREN	0.022	SOL BARREN	0.022	SOL BARREN	0.021	SOL BARREN	0.028
SOL BARREN	0.036	SOL BARREN	0.019	SOL BARREN	0.022	SOL BARREN	0.030	SOL BARREN	0.024	SOL BARREN	0.024	SOL BARREN	0.023	SOL BARREN	0.029
SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN	
SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN	
SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN	
SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN	
SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN	
SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN		SOL BARREN	
SR-CN-001	1.238	SR-CN-001	1.198	SR-CN-001	1.221	SR-CN-001	1.221	SR-CN-001		SR-CN-001		SR-CN-001		SR-CN-001	
BK	0.000	BK	-0.013	BK	0.008	BK	0.008	BK		BK		BK		BK	
SR-CN-001	1.238	SR-CN-001	1.209	SR-CN-001	1.208	SR-CN-001	1.208	SR-CN-001	1.210	SR-CN-001	1.210	SR-CN-001	1.183	SR-CN-001	1.220
BK	0.000	BK	-0.006	BK	-0.001	BK	-0.001	BK	0.000	BK	0.000	BK	-0.008	BK	0.000
O/F	1.221	O/F	0.943	O/F	0.988	O/F	0.988	O/F	0.914	O/F	0.955	O/F	0.984	O/F	1.001
O/F	1.217	O/F	0.944	O/F	0.981	O/F	0.981	O/F	0.911	O/F	0.949	O/F	0.987	O/F	0.999
O/F	1.233	O/F	0.946	O/F	0.967	O/F	0.967	O/F	0.910	O/F	0.950	O/F	0.992	O/F	1.011
O/F	1.221	O/F	0.949	O/F	0.976	O/F	0.976	O/F	0.911	O/F	0.939	O/F	0.984	O/F	1.009
O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F	
O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F	
O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F	
O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F	
O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F	
O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F	
O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F	
O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F	
O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F		O/F	
SR-CN-001	1.220	SR-CN-001	1.301	SR-CN-001	1.184	SR-CN-001	1.230	SR-CN-001	1.187	SR-CN-001	1.187	SR-CN-001	1.187	SR-CN-001	1.187
BK	0.003	BK	0.072	BK	-0.005	BK	0.004	BK	-0.006	BK		BK	-0.006	BK	

Anexo 6. Material de referencia externo e interno usado en las pruebas de ambos métodos

MATERIAL DE REFERENCIA EXTERNO SOLIDO ROCKLABS Y OREAS	Código de Muestra	Tipo de Muestra	Peso de Muestra (g)	Peso de Au (mg)	Ley Au (g/t)	Código de Muestra	Tipo de Muestra	Peso de Muestra (g)	Peso de Au (mg)	Ley Au (g/t)	Código de Muestra	Tipo de Muestra	Peso de Muestra (g)	Peso de Au (mg)	Ley Au (g/t)
		Oxk160	STD	30.0000	0.112	3.730	Oreas 60d	STD	30.0000	0.078	2.600	OxB130	STD	30.0000	0.003
	Resultado material de ref.			Resultado material de ref.			Resultado material de ref.			Resultado material de ref.			Resultado material de ref.		
															
MATERIAL DE REFERENCIA INTERNO SOLUCIONES CIANURADAS SR-CN-001															
BF (BLANCO FUNDENTE)															
BK (BLANCO ESTERIL (CUARZO))															



Anexo 7. Verificación de condiciones ambientales durante los 6 días de ensayo

Código:											
Fecha de Aprobación:											
Revisión:											
VERIFICACION DE CONDICIONES AMBIENTALES											
AREA: Sala de instrumentacion				EQUIPO: Termohigrómetro							
CODIGO: _____											
Fecha	Hora	Turno	Temperatura		Humedad Relativa		C	NC	Acción Correctiva	Responsable	Observaciones
			Lectura °C	TCV °C	Lectura %HR	HRV %HR					
01/11/20	07:25:00	A	22,0	21,9	34,0	35,5	√			WB	
	19:55:00	B	22,0	21,9	33,0	34,5	√			PC	
02/11/20	08:00:00	A	22,0	21,9	30,0	31,3	√			BB	
	20:30:00	B	22,0	21,9	30,0	31,3	√			PC	
03/11/20	08:00:00	A	20,0	19,9	28,0	29,1	√			WB	
	19:02:00	B	21,0	20,9	34,0	35,5	√			PC	
04/11/20	07:44:00	A	22,0	21,9	22,0	22,7	√			DC	
	20:51:00	B	22,0	21,9	24,0	24,9	√			DC	
05/11/20	07:52:00	A	21,0	20,9	24,0	24,9	√			PC	
	20:21:00	B	22,0	21,9	24,0	24,9	√			DC	
06/11/20	07:15:00	A	22,0	21,9	24,0	24,9	√			PC	
	20:48:00	B	22,0	21,9	24,0	24,9	√			DC	
07/11/20	07:20:00	A	20,0	19,9	24,0	24,9	√			PC	
	20:43:00	B	22,0	21,9	24,0	24,9	√			DC	
08/11/20	07:36:00	A	21,0	20,9	24,0	24,9	√			PC	
	19:24:00	B	22,0	21,9	24,0	24,9	√			DC	
09/11/20	07:35:00	A	23,0	22,9	24,0	24,9	√			VB/PC	
	21:07:00	B	21,0	20,9	24,0	24,9	√			DC	
10/11/20	07:07:00	A	21,0	20,9	24,0	24,9	√			PC	
	19:40:00	B	22,0	21,9	24,0	24,9	√			DC	
11/11/20	08:00:00	A	22,0	21,9	24,0	24,9	√			WB	
	22:20:00	B	21,0	20,9	22,0	22,7	√			BB	
12/11/20	08:00:00	A	21,0	20,9	30,0	31,3	√			DC	
	19:45:00	B	22,0	21,9	22,0	22,7	√			WB	
13/11/20	07:25:00	A	22,0	21,9	23,0	23,8	√			DC	
	20:00:00	B	22,0	21,9	24,0	24,9	√			BB	
14/11/20	07:06:00	A	22,0	21,9	22,0	22,7	√			DC	
	21:00:00	B	21,0	20,9	30,0	31,3	√			WB	
15/11/20	08:14:00	A	22,0	21,9	26,0	27,0	√			DC	
	22:30:00	B	22,0	21,9	32,0	33,4	√			BB	
16/11/20	19:32:00	A	21,0	20,9	40,0	41,6	√			DC	
	21:00:00	B	21,0	20,9	36,0	37,6	√			WB	
17/11/20	08:33:00	A	21,0	20,9	36,0	37,6	√			DC	
	21:00:00	B	21,0	20,9	23,0	23,8	√			BB	
18/11/20	09:06:00	A	22,0	21,9	33,0	34,5	√			DC	
	20:40:00	B	21,0	20,9	33,0	34,5	√			DC	
19/11/20	07:12:00	A	21,0	20,9	32,0	33,4	√			BB	
	20:14:00	B	21,0	20,9	32,0	33,4	√			DC	
20/11/20	08:00:00	A	21,0	20,9	33,0	34,5	√			WB	
	20:29:00	B	21,0	20,9	30,0	31,3	√			DC	
C: Conforme											
NC: No conforme											



Anexo 8. Verificación del equipo de absorción atómica durante los 6 días de ensayo

VERIFICACION DEL EQUIPO DE ABSORCION ATOMICA											
EQUIPO: Absorción Atómica		MARCA: AGILENT-Spectra AA			CODIGO DEL EQUIPO:						
Fecha	Turno	Presión Acetileno > 100 Psi	Presión de salida de Acetileno (9.5-15 Psi)	Presión de salida de aire (35-65 Psi)	Código de Lámpara	Ganancia	Absorbancia Cu 5 ppm > 0.500 uA.	C	NC	Responsable	Observaciones
01-11-20	A	145	15	50		56	0,6678	✓		DC	
	B	140	15	50		56	0,6905	✓		RC	
02-11-20	A	130	15	50		56	0,6691	✓		DC	
	B	125	15	50		56	0,6685	✓		RC	
03-11-20	A	125	15	50		56	0,6763	✓		DC	
	B	125	15	50		56	0,6824	✓		RC	
04-11-20	A	120	15	50		56	0,6763	✓		DC	
	B	115	15	50		56	0,6698	✓		RC	
05-11-20	A	250	15	50		57	0,7221	✓		PC	CAMBIO DE C2H2
	B	245	15	50		57	0,7213	✓		PC	
06-11-20	A	230	15	50		57	0,6956	✓		RC	
	B	225	15	50		57	0,6254	✓		PC	
07-11-20	A	225	15	50		57	0,6835	✓		RC	
	B	215	15	50		57	0,6923	✓		PC	
08-11-20	A	210	15	50		56	0,6697	✓		RC	
	B	210	15	50		57	0,6380	✓		PC	
09-11-20	A	190	15	50		56	0,6484	✓		RC	
	B	185	15	50		57	0,6997	✓		PC	
10-11-20	A	180	15	50		57	0,6937	✓		RC	
	B	175	15	50		57	0,6763	✓		PC	
11-11-20	A	715	15	50		57	0,6937	✓		RC	
	B	170	15	50		57	0,6392	✓		PC	
12-11-20	A	165	15	50		57	0,6533	✓		DC	
	B	160	15	50		57	0,6568	✓		DC	
13-11-20	A	150	15	50		57	0,6698	✓		PC	
	B	145	15	50		57	0,6691	✓		PO	
14-11-20	A	145	15	50		57	0,6799	✓		PC	
	B	135	15	50		57	0,6697	✓		PO	
15-11-20	A	135	15	50		57	0,6540	✓		PC	
	B	130	15	50		57	0,6626	✓		DC	
16-11-20	A	125	15	50		57	0,6587	✓		PC	
	B	120	15	50		57	0,6483	✓		DC	
17-11-20	A	115	15	50		57	0,7059	✓		PC	
	B	115	15	50		56	0,6682	✓		DC	
18-11-20	A	115	15	50		56	0,6759	✓		PC	
	B	110	15	50		57	0,6688	✓		DC	
19-11-20	A	100	15	50		57	0,6765	✓		BB	
	B	100	15	50		57	0,7525	✓		BB	
20-11-20	A	250	15	50		57	0,6799	✓		DC	CAMBIO DE C2H2
	B	250	15	50		56	0,6554	✓		WB	
21-11-20	A	240	15	50		56	0,6540	✓		DC	
	B	230	15	50		56	0,7565	✓		BB	
22-11-20	A	220	15	50		56	0,6587	✓		DC	
	B	215	15	50		56	0,7131	✓		WB	
23-11-20	A	210	15	50		56	0,7004	✓		DC	
	B	200	15	50		56	0,7435	✓		BB	
24-11-20	A	190	15	50		56	0,6950	✓		DC	
	B	180	15	50		56	0,7211	✓		WB	
25-11-20	A	180	15	50		56	0,6748	✓		BB	
	B	170	15	50		56	0,7267	✓		BB	
26-11-20	A	165	15	50		56	0,6527	✓		PC	
	B	165	15	50		57	0,6759	✓		PC	
27-11-20	A	160	15	50		57	0,7969	✓		BB	
	B	160	15	50		57	0,7181	✓		PC	
28-11-20	A	160	15	50		57	0,6950	✓		WB	
	B	155	15	50		57	0,7039	✓		PC	
29-11-20	A	145	15	50		57	0,8563	✓		BB	
	B	145	15	50		57	0,7770	✓		PC	
30-11-20	A	145	15	50		56	0,6658	✓		BB	
	B	140	15	50		57	0,6764	✓		PC	

C: Conforme NC: No conforme

Anexo 9. Verificación de estándares de curvas de calibración

VERIFICACIÓN DE ESTÁNDARES DE CALIBRACIÓN											
EQUIPO:		AGILENT SpectrAA Z40									
ELEMENTO:		Au Cianurado									
Marca	Lote	Fecha de Expiración	Set de Estándares	Fecha de Preparación	Fecha de Vendimiento	Preparado por:	Medio Final: 0.035% NaCN				Observaciones
							Rango Aceptación (Abs)	Absorbancia actual	Verificado por	Verificado por	
MERCK	XXXXX	30/12/2020	0.50	11/11/2020	17/11/2020	DC	0.026 - 0.034	0.0265	DC	OK	
			1.00	11/11/2020	17/11/2020	DC	0.048 - 0.060	0.0510	DC	OK	
			2.00	11/11/2020	17/11/2020	DC	0.095 - 0.125	0.1006	DC	OK	
			5.00				0.280 - 0.320				
			10.00				0.530 - 0.590				
			20.00				0.950 - 1.000				
			1.00	11/11/2020	17/11/2020	DC	0.048 - 0.060	0.0505	DC	OK	
MERCK	XXXXX	30/12/2020	0.50				0.026 - 0.034				
			1.00				0.048 - 0.060				
			2.00				0.095 - 0.125				
			5.00				0.280 - 0.320				
			10.00				0.530 - 0.590				
			20.00				0.950 - 1.000				
			1.00			0.048 - 0.060					
MERCK	XXXXX	30/12/2020	0.50				0.026 - 0.034				
			1.00				0.048 - 0.060				
			2.00				0.095 - 0.125				
			5.00				0.280 - 0.320				
			10.00				0.530 - 0.590				
			20.00				0.950 - 1.000				
			1.00			0.048 - 0.060					

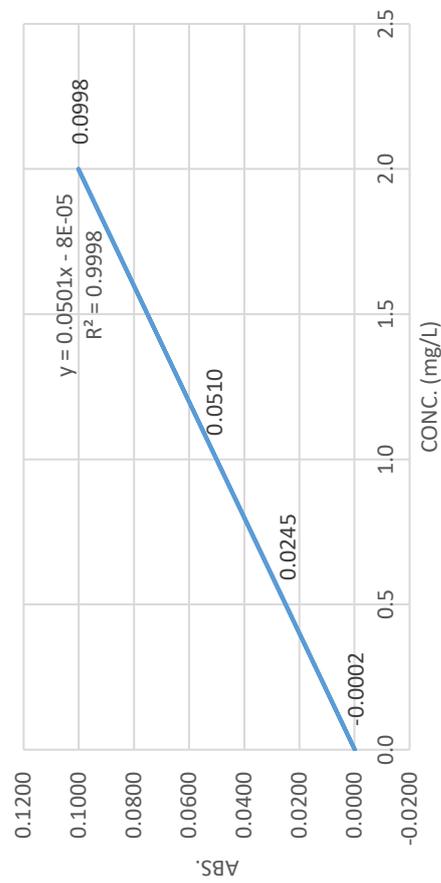
0.9999458966

Código:
Fecha de Aprobación:
Revisión:

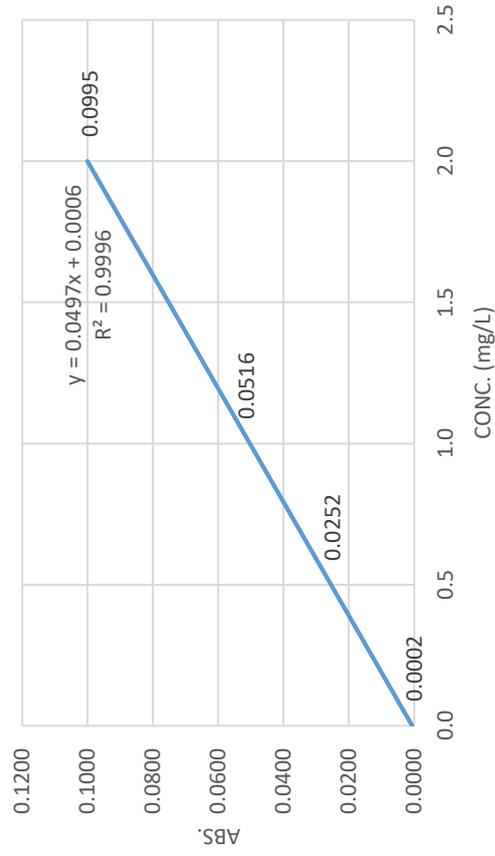
Anexo 10. Registro de curvas de calibración de absorción atómica día 1

REGISTRO DE CURVAS PARA SOLUCIONES CIANURADAS - DIA 1																
ANALISTA	FECHA	TURNO	HORA	SAMPLE Labels	ELEM	CONCENTRACIONES				ABSORBANCIAS				COEF. CORR.		
						CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2	PATRON 3	PATRON 4	CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2		PATRON 3	PATRON 4
DC	11/11/2020	2T	21:26	Barren	Au	0.000	0.500	1.000	2.000		0.0003	0.0260	0.0503	0.0995		1.000
DC	11/11/2020	2T	22:10	O/F	Au	0.000	0.500	1.000	2.000		0.0001	0.0263	0.0516	0.1005		1.000

1
Gráfica de línea ajustada - BARREN - Día



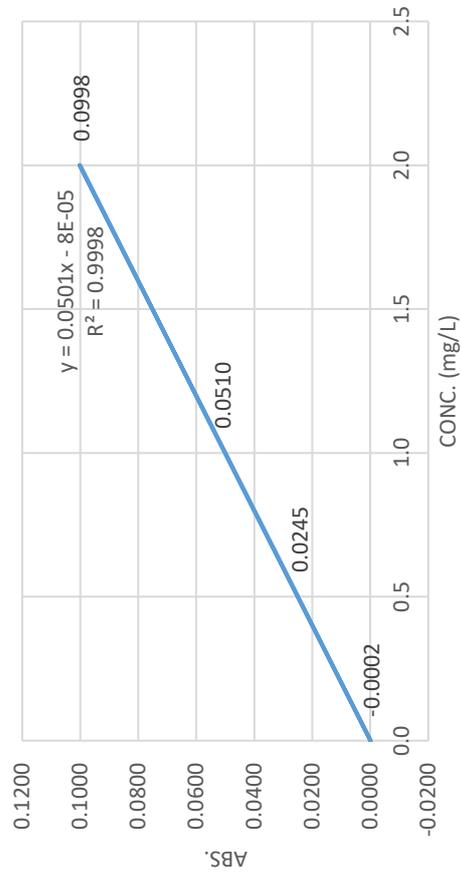
Gráfica de línea ajustada - O/F - Día 1



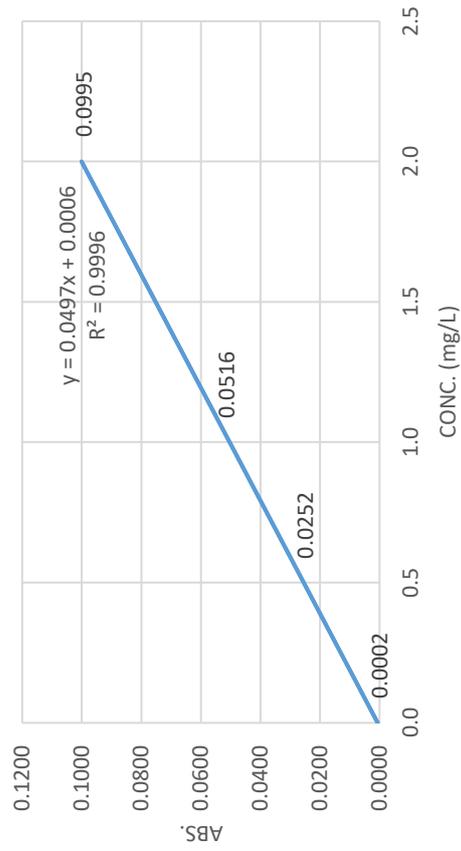
Anexo 11. Registro de curvas de calibración de absorción atómica día 2

REGISTRO DE CURVAS PARA SOLUCIONES CIANURADAS - DIA 2															
ANALISTA	FECHA	TURNO	HORA	SAMPLE LABELS	ELEM	CONCENTRACIONES				ABSORBANCIAS				COEF. CORR.	
						CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2	PATRON 3	PATRON 4	CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2		PATRON 3
DC	12/11/2020	2T	23:20	BARREN	AU	0.000	0.500	1.000	2.000		0.0001	0.0258	0.0488	0.0959	1.000
DC	12/11/2020	2T	23:29	O/F	AU	0.000	0.500	1.000	2.000		-0.0001	0.0254	0.0489	0.0949	1.000

Gráfica de línea ajustada - BARREN Día 2



Gráfica de línea ajustada - O/F Día 2

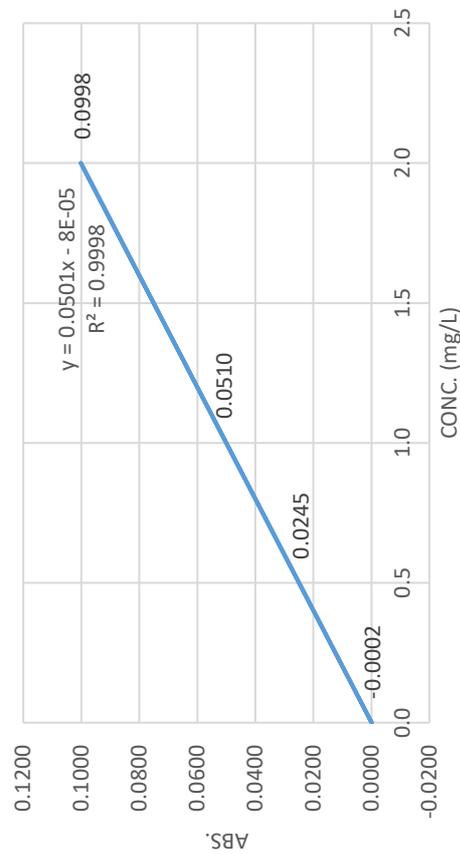


Anexo 12. Registro de curvas de calibración de absorción atómica día 3

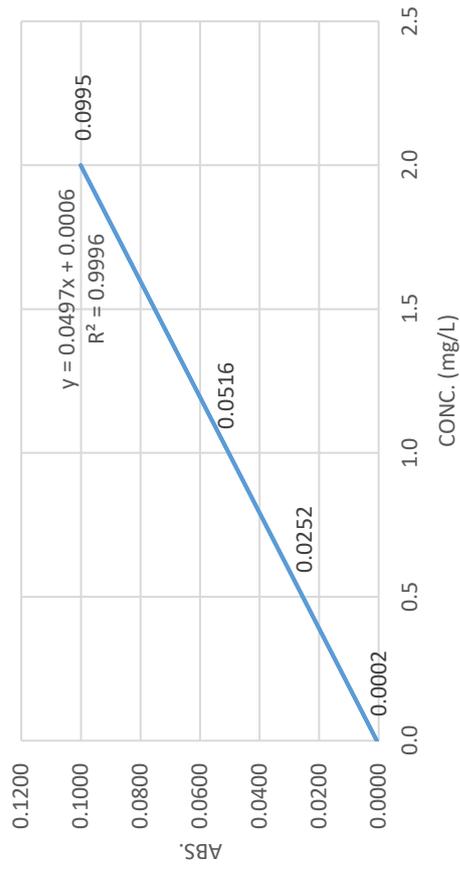
ANALISTA	FECHA	TURNO	HORA	SAMPLE LABELS	ELEM	CONCENTRACIONES								ABSORBANCIAS				COEF. CORR.	
						CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2	PATRON 3	PATRON 4	CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2	PATRON 3	PATRON 4				
						DC	13/11/2020	2T	21:26	Barren	Au	0.000	0.500	1.000	2.000		0.0001		0.0257
DC	13/11/2020	2T	22:10	O/F	Au	0.000	0.500	1.000	2.000		0.0007	0.0260	0.0505	0.0978					1.000

REGISTRO DE CURVAS PARA SOLUCIONES CIANURADAS - DIA 3

Gráfica de línea ajustada - BARREN Día 3



Gráfica de línea ajustada - O/F Día 3



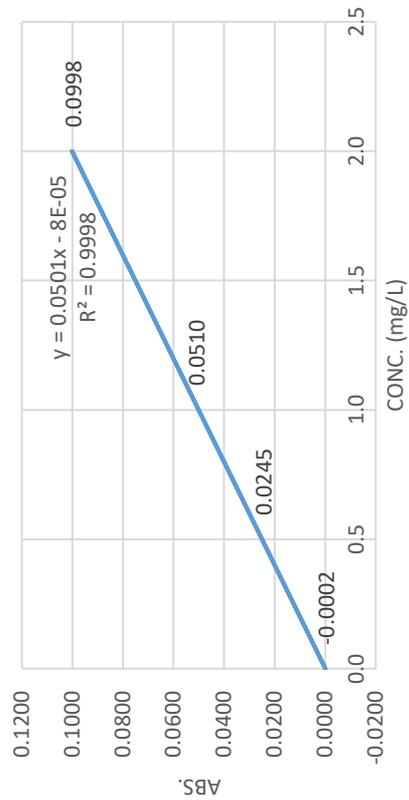
Anexo 13. Registro de curvas de calibración de absorción atómica día 4

ANALISTA	FECHA	TURNO	HORA	SAMPLE LABELS	ELEM	CONCENTRACIONES								ABSORBANCIAS				COEF. CORR.
						CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2	PATRON 3	PATRON 4	CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2	PATRON 3	PATRON 4			
DC	14/11/2020	2T	04:38	Sol. Barren	Au	0.000	0.500	1.000	2.000		0.0002	0.0263	0.0510	0.0978		1.000		
DC	14/11/2020	2T	04:44	O/F	Au	0.000	0.500	1.000	2.000		0.0001	0.0260	0.0494	0.0964		1.000		

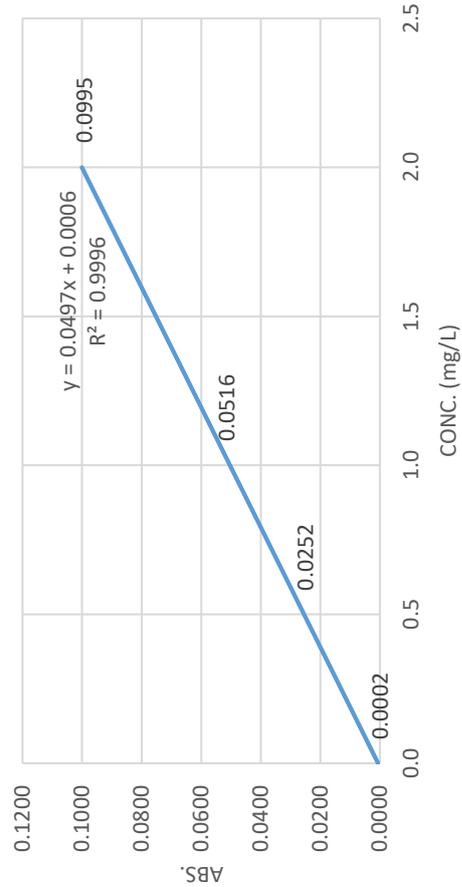
REGISTRO DE CURVAS PARA SOLUCIONES CIANURADAS - DIA 4

Grafica de línea ajustada - BARREN

Día 4



Grafica de línea ajustada - O/F Día 4

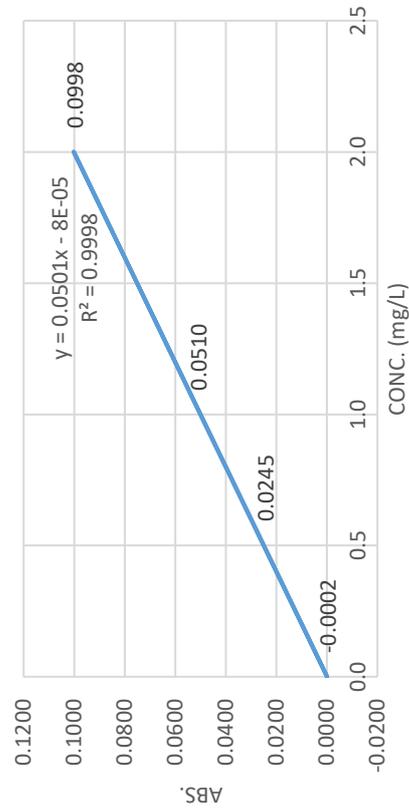


Anexo 14. Registro de curvas de calibración de absorción atómica día 5

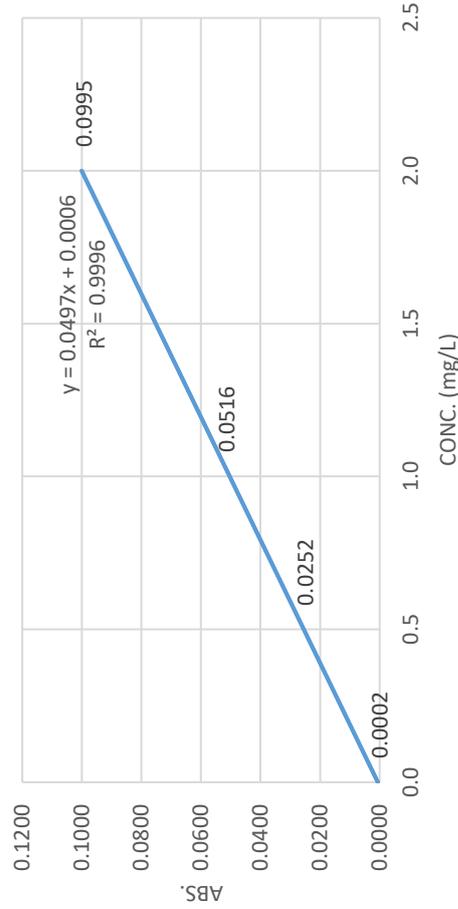
ANALISTA	FECHA	TURNO	HORA	SAMPLE LABELS	ELEM	REGISTRO DE CURVAS PARA SOLUCIONES CIANURADAS - DIA 5										
						CONCENTRACIONES				ABSORBIANCIAS				COEF. CORR.		
						CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2	PATRON 3	PATRON 4	CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2		PATRON 3	PATRON 4
DC	15/11/2020	2T	21:26	Sol. Barren	Au	0.000	0.500	1.000	2.000		-0.0005	0.0265	0.0519	0.0996		1.000
DC	15/11/2020	2T	22:10	O/F	Au	0.000	0.500	1.000	2.000		-0.0006	0.0265	0.0521	0.1031		1.000

Grafica de línea ajustada - BARREN

Día 5



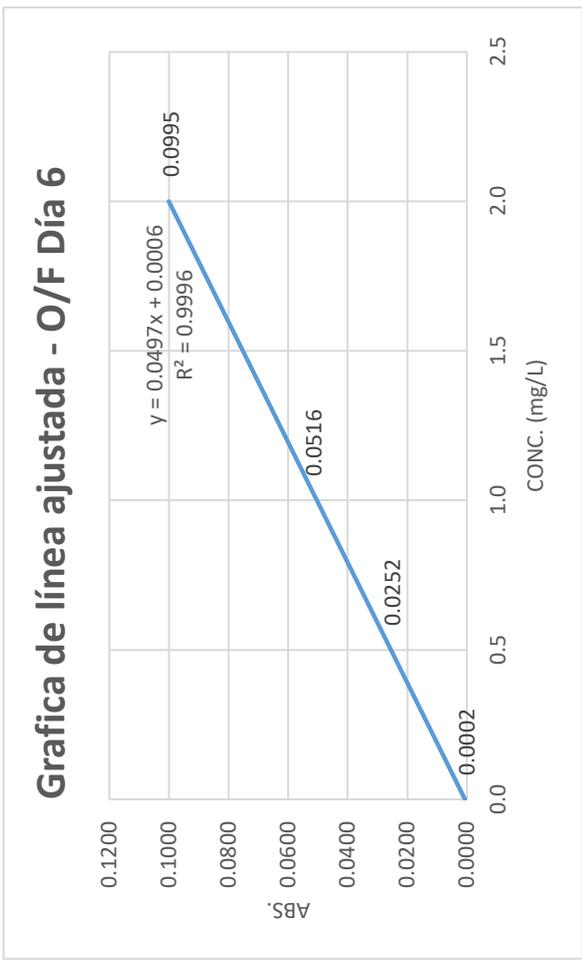
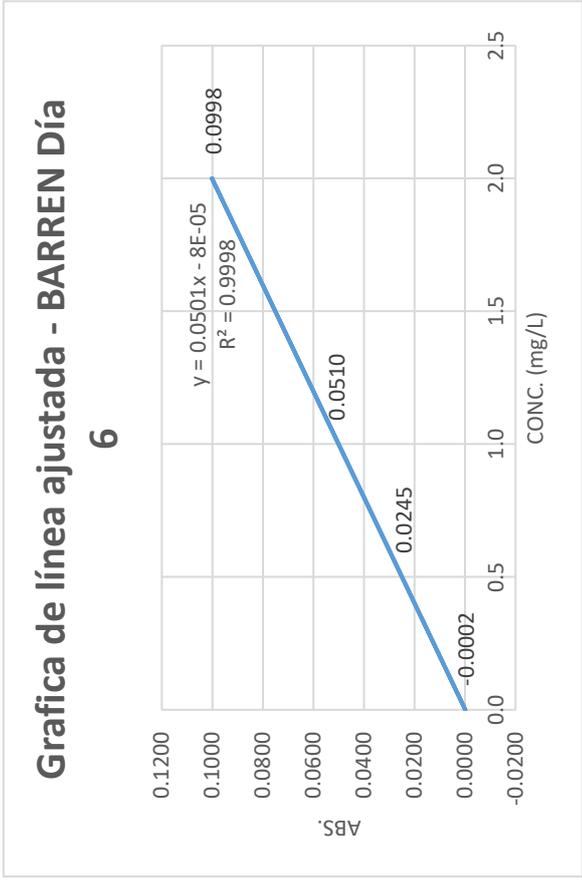
Grafica de línea ajustada - O/F Día 5



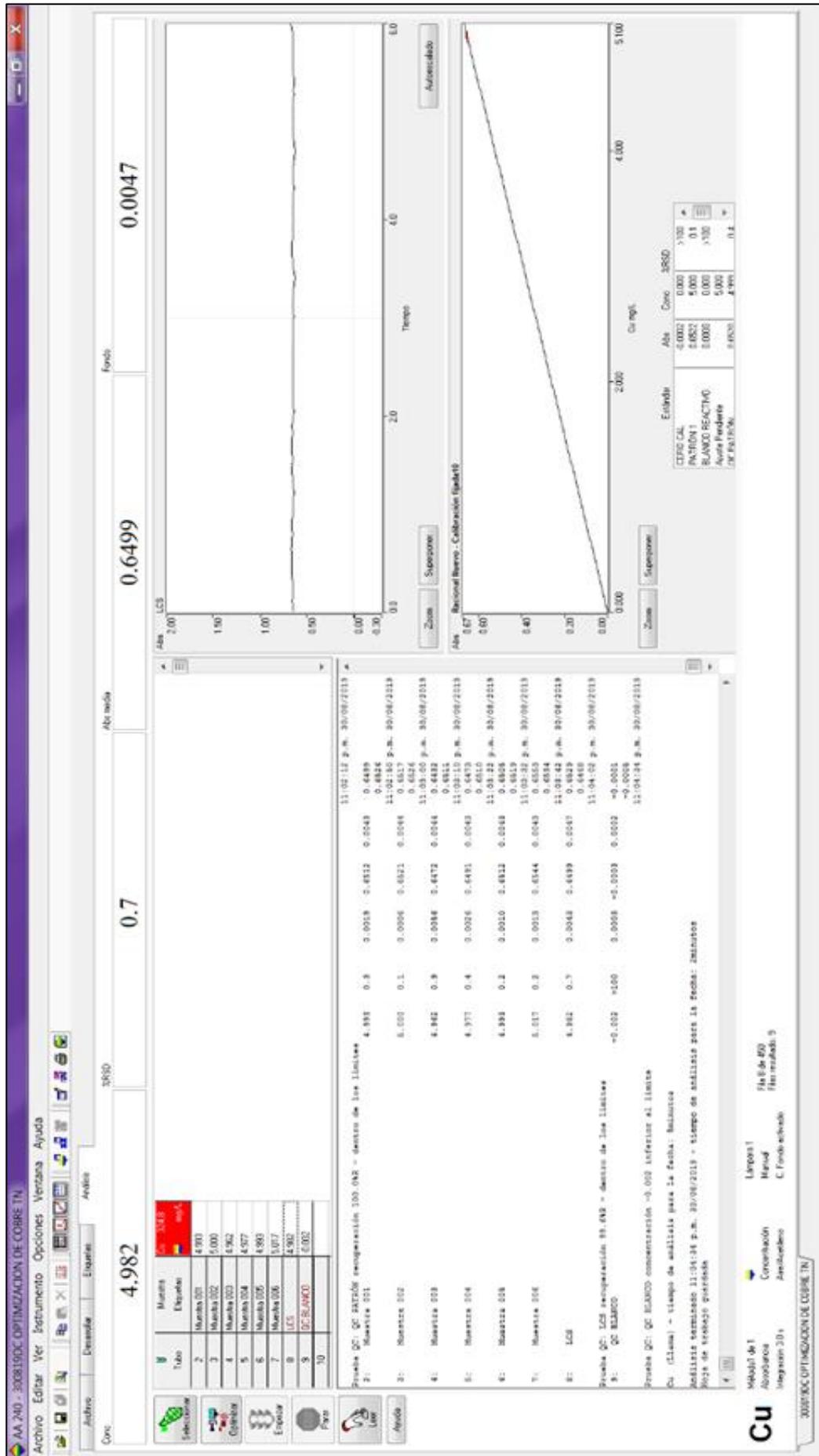
Anexo 15. Registro de curvas de calibración de absorción atómica día 6

ANALISTA	FECHA	TURNO	HORA	SAMPLE LABELS	ELEM	CONCENTRACIONES								ABSORBANCIAS				COEF. CORR.
						CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2	PATRON 3	PATRON 4	CERO CAL	PATRON 1	PATRON 2	PATRON 3	PATRON 4			
DC	16/11/2020	2T	23:37	Barren	Au	0.000	0.500	1.000	2.000		-0.0002	0.0245	0.0510	0.0998		1.000		
DC	16/11/2020	2T	23:44	O/F	Au	0.000	0.500	1.000	2.000		0.0002	0.0252	0.0516	0.0995		1.000		

REGISTRO DE CURVAS PARA SOLUCIONES CIANURADAS - DIA 6



Anexo 16. Optimización del equipo de absorción atómica con Cu 5 ppm





Anexo 17. Informe de ensayo de solucion cianurada Au - laboratorio externo



Laboratorios Analíticos del Sur
Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur
Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-21-00744
Fecha de emisión: 21/12/2021

Página 1 de 1
Clave generada : B15B04D4

Señores: DULIA CONDORI VILCA
Dirección: CERRO COLORADO - AREQUIPA
Atención: DULIA CONDORI VILCA
Recepción: 21/12/2021
Realización: 21/12/2021
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados
*901 Método de ensayo para Oro por Absorción Atómica en solución Alcalina

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*901
				Au mg/L
SS21002868	CP-12-4 (#1)	No proporcionado por el cliente.	Solución de cianuro	2,56
SS21002870	CP-12-06 (#3)	No proporcionado por el cliente.	Solución de cianuro	0,77

Fin del Informe



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

*<Valor numérico>=Limite de detección del método, *<Valor Numérico>=Limite de cuantificación del método
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

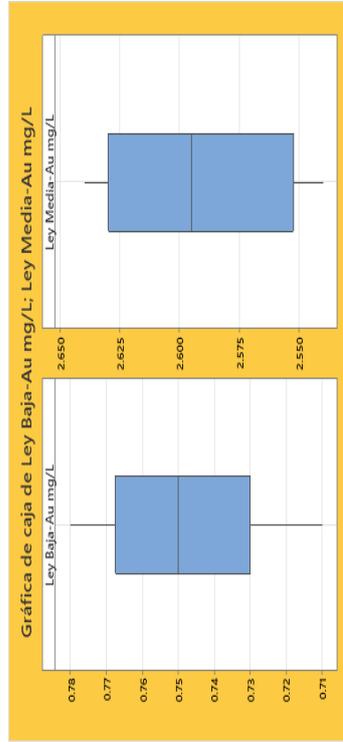


Validar el informe via web

Anexo 18. Determinación de veracidad laboratorio externo vs laboratorio interno

VERACIDAD

1 PASO: DETERMINAR VALORES ATÍPICOS



3 PASO: DETERMINACION DE VERACIDAD:

PARA LA LEY BAJA:

T de una muestra: Ley Baja-Au mg/L

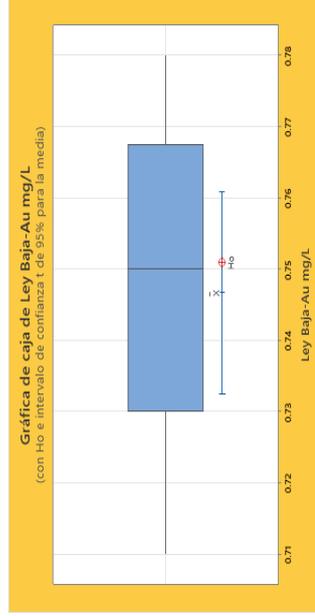
Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 0.751$

Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 0.751$

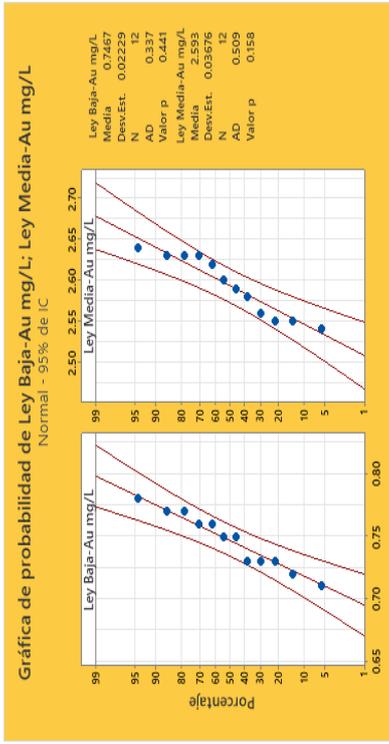
Valor T Valor p

-0.67 0.515



CONCLUSIÓN: Los datos no presentan datos atípicos.

2 PASO: DETERMINAREMOS EL TIPO DE NORMALIDAD QUE PROVIENE:



CONCLUSIÓN: Los datos provienen de una distribución normal debido a que el p-valor supera el nivel de significancia ($\alpha=0.05$) con la prueba de Anderson Darling, por lo tanto se acepta la hipótesis nula, datos normales a un 95% de confianza.

PARA LA LEY MEDIA:

T de una muestra: Ley Media-Au mg/L

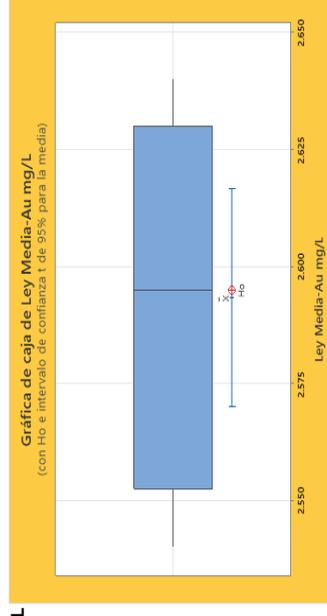
Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 2.595$

Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 2.595$

Valor T Valor p

-0.16 0.878



RESPUESTA: El metodo es veraz para la ley media debido a que el p-valor es mayor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$), se acepta la hipótesis nula.

Anexo 19. Determinación de precisión laboratorio externo vs laboratorio interno

PRECISIÓN

Método		Determinación de Au por Absorción Atómica	
Ley Baja-Au mg/L	MRI-01 (Au mg/L)	0.751	VCV
Ley Media-Au mg/L	MRI-02 (Au mg/L)	2.595	VCV
Condiciones de Repetibilidad (r) y Reproducibilidad (R)			
LABORATORIO QUIMICO	TURNO	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L
EXTERNO	TURNO 01	0.77	2.58
EXTERNO	TURNO 01	0.75	2.54
EXTERNO	TURNO 01	0.76	2.55
EXTERNO	TURNO 02	0.76	2.59
EXTERNO	TURNO 02	0.77	2.55
EXTERNO	TURNO 02	0.78	2.56
INTERNO	TURNO 01	0.71	2.62
INTERNO	TURNO 01	0.75	2.63
INTERNO	TURNO 01	0.73	2.60
INTERNO	TURNO 02	0.73	2.63
INTERNO	TURNO 02	0.72	2.64
INTERNO	TURNO 02	0.73	2.63
LABORATORIO QUIMICO	TURNO	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L
EXTERNO	n ₁	6	6
INTERNO	n ₂	6	6
LABORATORIO QUIMICO	TURNO	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L
EXTERNO	n ₁ ²	36	36
INTERNO	n ₂ ²	36	36
LABORATORIO QUIMICO	TURNO	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L
EXTERNO	X _{prom1}	0.765	2.562
INTERNO	X _{prom2}	0.728	2.625
LABORATORIO QUIMICO	TURNO	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L
EXTERNO	X ² _{prom1}	0.58523	6.56214
INTERNO	X ² _{prom2}	0.53047	6.89063
LABORATORIO QUIMICO	TURNO	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L
EXTERNO	S ₁	0.07049	0.01941
INTERNO	S ₂	0.071329	0.01378
LABORATORIO QUIMICO	TURNO	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L
EXTERNO	S ₁ ²	0.00011	0.00038
INTERNO	S ₂ ²	0.00018	0.00019
LABORATORIO QUIMICO	TURNO	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L
EXTERNO	n ₁ *X _{prom1}	4.59000	15.37000
INTERNO	n ₂ *X _{prom2}	4.37000	15.75000

LABORATORIO QUIMICO	TURNO	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L
EXTERNO	n ₁ *X ² _{prom1}	3.51135	39.37282
INTERNO	n ₂ *X ² _{prom2}	3.18282	41.34375
LABORATORIO QUIMICO	TURNO	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L
EXTERNO	(n ₁ -1)*S ₁ ²	0.00055	0.00188
INTERNO	(n ₂ -1)*S ₂ ²	0.00088	0.00095
Parametro	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L	
P	2	2	
T ₁	8.96000	31.12000	
T ₂	6.69417	80.71657	
T ₃	12	12	
T ₄	72	72	
T ₅	0.00143	0.00283	
Parametro	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L	
S ² ₁	0.000143333	0.000283333	
S ² ₂	0.000648333	0.001958333	
S ² ₃	0.000791667	0.002241667	
Parametro	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L	
S ₁	0.0119219	0.01683251	
S ₂	0.025462391	0.044253060	
S ₃	0.028136572	0.047346242	
Parametro	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L	
Prom (X _{prom})	0.75	2.59	
C	0.00000747	0.000002593	
Parametro	Ley Baja-Au mg/L	Ley Media-Au mg/L	
RSD _{Dickwitz}	16.72	13.86	
RSD _r	1.6034	0.6491	
HO r	0.09590	0.04682	
CONDICIÓN r	Repetible	Repetible	
RSD _r	3.76829	1.82569	
HO R	0.22539	0.13170	
CONDICIÓN R	Reproducible	Reproducible	

CONCLUSION: Si es repetible y reproducible es preciso. Por lo tanto, si soy veaz y preciso soy exacto (confiable)