



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales

No Renovables

Maestría en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

Análisis comparativo de lixiviación con cianuro de sodio y el agente lixivante jinchan en el mineral procedente del área minera Las Paralelas

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva.

AUTOR:

Ing. Vladimir Alexander Buri Flores

DIRECTOR:

Ing. Jimmy Stalin Paladines, Ph.D.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 24 de abril de 2023

Ing. Jimmy Stalin Paladines, Ph.D.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado : **Análisis comparativo de lixiviación con cianuro de sodio y el agente lixivante jinchan en el mineral procedente del área minera Las Paralelas**, de autoría del estudiante **Vladimir Alexander Buri Flores**, previa a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Jimmy Stalin Paladines, Ph.D.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Vladimir alexander Buri Flores**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de identidad: 110426753-7

Fecha: 02 de mayo 2023

Correo electrónico: vladimir.buri@unl.edu.ec

Teléfono: 0986433220

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Vladimir Alexander Buri Flores**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis comparativo de lixiviación con cianuro de sodio y el agente lixivante jinchan en el mineral procedente del área minera Las Paralelas**, como requisito para optar por el título de **Magister en Minería Mención, Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dos días del mes de mayo de dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: Vladimir Alexander Buri Flores

Cédula: 110426753-7

Dirección: Alfredo Escarabay y Agustín Aguirre, Las Pitas I (Loja -Ecuador)

Correo electrónico: vladimir.buri@unl.edu.ec

Teléfono: 0986433220

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Jimmy Stalin Paladines, Ph.D.

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a Dios ya que de él proviene la sabiduría, de su boca viene el conocimiento y la inteligencia. Él provee de sana sabiduría a los rectos; y es escudo a los que caminan rectamente (Proverbios 2:3-7).

A mi amada esposa Katherine e hijos, Sheyla y Fernando quienes con su amor y comprensión incondicional me han fortalecido en cada momento.

A mis queridos padres Napoleón y Teresa que me brindaron su apoyo y cariño, supieron alentarme desde niño en cada una de mis metas.

A mi hermana Jhoanna que siempre me ha motivado a seguir adelante en mis proyectos.

A mi hermano Fernando que, a pesar de su temprana partida está presente en cada momento de mi vida.

Vladimir Alexander Buri Flores

Agradecimiento

A Dios por concederme la sabiduría para desarrollar mi proyecto, a mi familia y amigos por ser promotores y partícipes de mi desarrollo personal.

A la Empresa Minera Agrimroc S.A, quienes permitieron el desarrollo integral del presente trabajo en sus instalaciones y de esa forma poder cumplir con los objetivos señalados en el mismo.

A la Universidad Nacional de Loja, Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, y su oferta académica en la Maestría en Minas Mención, Mineralurgia y Metalurgia Extractiva.

El agradecimiento especial al Ing. Jimmy Stalin Paladines, quien, en calidad de director de tesis me brindo su conocimiento y apoyo, para la presentación y culminación del presente trabajo.

Mis agradecimientos al Ing. Ivan Puglla en calidad de director de la Maestría en Minas Mención, Mineralurgia y Metalurgia Extractiva, por su gestión día a día para el mejoramiento continuo de profesionales.

Vladimir Alexander Buri Flores

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización de tesis por parte del autor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xii
Índice de anexos	xv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	4
3. Introducción	6
4. Marco teórico	8
4.1. Metalurgia	8
4.1.1. Procedimientos de la metalurgia extractiva.	8
4.2. Pirometalurgia.	9
4.3. Ensayo al fuego.	9
4.4. Hidrometalurgia	10
4.5. Separación Solido – Líquido.	11
4.6. Hidrometalurgia del oro	11
4.7. Lixiviación	12
4.8. Métodos de Lixiviación.	13
4.8.1. Lixiviación por Agitación.	14

4.8.2.	Variables a considerar en lixiviación por agitación mecánica.....	16
4.9.	La cinética de lixiviación del oro.	19
4.10.	Agentes lixiviantes del oro.	20
4.10.1	Lixiviación con Cianuro de Sodio.....	20
4.10.2.	Agente Lixivante Jinchan.....	21
5.	Metodología	26
5.1.	Métodos.....	26
5.1.1.	Área de estudio.....	26
5.2.	Datos generales.....	28
5.2.1.	Hidrografía.....	28
5.2.2.	Clima.....	28
5.2.3.	Sísmica.....	29
5.2.4.	Geomorfología.....	30
5.3.	Metodología para el primer objetivo.....	35
5.4.	Metodología para el segundo objetivo.....	59
5.5.	Metodología para el tercer objetivo.....	69
6.	Resultados	71
6.1.	Resultados ensayo al fuego.....	71
6.2.	Resultados del consumo de Cianuro de Sodio y Jinchan.....	73
6.2.1.	Consumos de Cianuro de Sodio y Jinchan muestra MPA01-VS.....	73
6.2.2.	Consumos de Cianuro de Sodio y Jinchan muestra MPA02-X2 AT..	75
6.2.3.	Consumos de Cianuro de Sodio y Jinchan muestra MPA03-X7P.....	76
6.2.4.	Consumos de Cianuro de Sodio y Jinchan muestra MPA04-X7(2). ..	77
6.3.	Resultados comparación de la lixiviación entre Cianuro de Sodio vs. Jinchan.....	80
6.3.1.	Cinética de lixiviación con NaCN y Jinchan muestra MPA01-VS. ...	80
6.3.2.	Cinética de lixiviación con NaCN y Jinchan muestra MPA02-X2.....	83

6.3.3. Cinética de lixiviación con NaCN y Jinchan muestra MPA03-X7P. .	86
6.3.4. Cinética de lixiviación con NaCN y Jinchan muestra MPA04-X7(2)	89
7. Discusión	94
8. Conclusiones	98
9. Recomendaciones	99
10. Bibliografía	100
11. Anexos	103

Índice de tablas:

Tabla 1. División de la metalurgia extractiva	8
Tabla 2. Composición/Información (Jinchan)	23
Tabla 3. Estaciones meteorológicas.....	29
Tabla 4. Valor del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	30
Tabla 5. Poblaciones Ecuatorianas y valor del factor Z.	30
Tabla 6. Muestras codificadas mina Las Paralelas	43
Tabla 7. Codificación muestras de mina en laboratorio	46
Tabla 8. Parámetros prueba de lixiviación muestra MPA01 -VS.....	59
Tabla 9. Parámetros prueba de lixiviación muestra MPA02 -X2AT.....	60
Tabla 10. Parámetros prueba de lixiviación muestra MPA03-X7P.....	60
Tabla 11. Parámetros prueba de lixiviación muestra MPA02 -X2AT.....	61
Tabla 12. Resultados muestras, ensayo al fuego	71
Tabla 13. Consumo NaCN por tonelada mineral muestra MPA01-VS.....	73
Tabla 14. Consumo Jinchan por tonelada mineral muestra MPA01-VS.....	74
Tabla 15. Consumo NaCN por tonelada mineral muestra MPA02-X2 AT.....	75
Tabla 16. Consumo Jinchan por tonelada mineral muestra MPA02-X2 AT.....	75
Tabla 17. Consumo NaCN por tonelada mineral muestra MPA03-X7P.....	76
Tabla 18. Consumo Jinchan por tonelada mineral muestra MPA03-X7P.....	77
Tabla 19. Consumo NaCN por tonelada mineral muestra MPA04-X7(2)	78
Tabla 20. Consumo Jinchan por tonelada mineral muestra MPA04-X7(2)	78
Tabla 21. Control de disolución con NaCN muestra MPA01-VS.....	80
Tabla 22. Balance Metalúrgico MPA01-VS con NaCN.....	81
Tabla 23. Control de disolución con Jinchan muestra MPA01-VS.....	81
Tabla 24. Balance Metalúrgico MPA01-VS con Jinchan.....	82
Tabla 25. Control de disolución con Jinchan muestra MPA02-X2	83
Tabla 26. Balance Metalúrgico MPA02-X2 con NaCN	84
Tabla 27. Control de disolución con Jinchan muestra MPA02-X2	84
Tabla 28. Balance Metalúrgico MPA02-X2AT con Jinchan.....	85
Tabla 29. Control de disolución con NaCN muestra MPA03-X7P.....	86
Tabla 30. Balance Metalúrgico MPA03-X7P con NaCN.....	87
Tabla 31. Control de disolución con Jinchan muestra MPA03-X7P.....	87

Tabla 32. Balance Metalúrgico MPA03-X7P con Jinchan.....	88
Tabla 33. Control de disolución con NaCN muestra MPA04-X7(2)	89
Tabla 34. Balance Metalúrgico MPA04-X7(2) con NaCN	90
Tabla 35. Control de disolución con Jinchan muestra MPA04-X7(2)	90
Tabla 36. Balance Metalúrgico MPA04-X7(2) con Jinchan	91
Tabla 37. Disolución NaCN vs. Jinchan en cada una de las muestras de mina.....	92
Tabla 38. Resumen, Oro total y disolución de las muestras ensayadas.....	93

Figura 31. Cuarteador mineral Jones.....	48
Figura 32. Pulverizadora mineral.	49
Figura 33. Mineral reducido a malla -200.....	50
Figura 34. Encerado de balanza.....	51
Figura 35. Pesaje para ensayo al fuego.	51
Figura 36. Agregado a la muestra agente reductor.....	52
Figura 37. Agregado de muestra mineral y fundentes.....	52
Figura 38. Verificación horno 1050 °C.	53
Figura 39. Ingreso crisoles al horno.	53
Figura 40. Vertido crisol en lingotera.....	54
Figura 41. Liberación del regulo de plomo de las escorias.	54
Figura 42. Regulo de plomo en forma de cubo para copelación.	55
Figura 43. Ingreso de oxígeno al horno enfriamiento proceso copelación.....	55
Figura 44. Enfriamiento copelas.....	56
Figura 45. Ataque químico, botones dore.	57
Figura 46. Esquema de determinación oro total ensayo al fuego.....	58
Figura 47. Mineral reducido a malla -200 por agente lixivante.	61
Figura 48. Agitación mecánica, reactores.	62
Figura 49. Muestra mineral 1000 g en reactor.	63
Figura 50. Pesaje de NaCN.	63
Figura 51. Agente lixivante Jinchan.....	64
Figura 52. Pesaje agente lixivante Jinchan.....	64
Figura 53. Acondicionamiento para agitación mecánica.	65
Figura 54. Filtrado de muestra para análisis.....	66
Figura 55. Muestras para titulación.	66
Figura 56. Titulación NaCN y Jinchan.....	67
Figura 57. Punto de viraje titulación NaCN y Jinchan.....	68
Figura 58. Equipo de AAS-200.....	68
Figura 59. Muestras lixiviantes a intervalos.....	69
Figura 60. Representación gráfica de resultados; ensayo al fuego.....	71
Figura 61. Comparación consumo de agentes lixiviantes muestra MPA01-VS. ..	74
Figura 62. Comparación consumo de agentes lixiviantes muestra MPA02-X2 AT	75

Figura 63. Comparación consumo de agentes lixiviantes muestra MPA03-X7P .	77
Figura 64. Comparación consumo de agentes lixiviantes muestra MPA04-X7(2)	78
Figura 65. Resumen, comparación consumo de NaCN y Jinchán.	79
Figura 66. Comparativa de disolución entre NaCN vs. Jinchán en la muestra MPA01-VS, y el tiempo.	82
Figura 67. Comparativa de disolución entre NaCN vs. jinchán en la muestra MPA02-X2AT, y el tiempo.	85
Figura 68. Comparativa de disolución entre NaCN vs. Jinchán en la muestra MPA03-X7P, y el tiempo.	88
Figura 69. Comparativa de disolución entre NaCN vs. Jinchán en la muestra MPA04-X7(2), y el tiempo.	91
Figura 70. Resumen porcentaje de disolución NaCN vs. Jinchán muestras ensayadas de mina.....	92

Índice de anexos:

Anexo 1. Mapa de la cuenca hidrográfica Río Balao.....	103
Anexo 2. Mapa de precipitaciones del Cantón Camilo Ponce Enríquez.....	104
Anexo 3. Mapa de temperatura del Cantón Camilo Ponce Enríquez.....	105
Anexo 4. Informe Sísmico Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional.	106
Anexo 5. Mapa geomorfológico Camilo Ponce Enríquez.....	134
Anexo 6. Parámetros físicos de la mena.....	135
Anexo 7. Caracterización macroscópica en las muestras de mena.	136
Anexo 8. Análisis químico por fluorescencia de rayos X y mineralógico por difracción de rayos X.	140
Anexo 9. Mapa de muestreo y ubicación interior mina.	143
Anexo 10. Malla valorada.	147
Anexo 11. Tablas, figuras variación y consumo de cal.....	148
Anexo 12. Certificación de traducción del resumen.	152

1. Título

**Análisis comparativo de lixiviación con cianuro de sodio y el agente lixiviante jinchan
en el mineral procedente del área minera Las Paralelas**

2. Resumen

El presente trabajo investigativo tiene como finalidad determinar la eficiencia en la disolución de oro a través de la comparación entre el agente lixivante más común como el Cianuro de Sodio que ha sido utilizado para la recuperación de oro y el agente lixivante Jinchan (cianurato de sodio carbonizado más tiourea).

Los ensayos en el proceso hidrometalúrgico de lixiviación con estos dos agentes se los realizó a escala de laboratorio y se utilizaron 4 muestras representativas de distintas vetas de la mina Las Paralelas, los cuales fueron sometidos a ensayos con los agentes lixiviantes antes mencionados.

De forma inicial se determinó metalúrgicamente la ley del mineral por ensayo al fuego y dentro de los parámetros principales operacionales de lixiviación en laboratorio se consideró: concentración de agentes lixiviantes, controles de pH, velocidad de agitación mecánica, temperatura, tiempos de reacción, porcentaje de sólidos, granulometría malla valorada -200, en un tiempo de 28 a 30 horas; con la finalidad de obtener la cinética de disolución para la valoración de la efectividad en el proceso de lixiviación y sus respectivos consumos.

El mineral presento los siguientes porcentajes de recuperación: para la muestra MPA01-VS, el agente lixivante Jinchan fue más efectivo en el proceso con una tasa de disolución del 64,09% con respecto al Cianuro de Sodio que obtuvo un 64,80%, así mismo el consumo de cianuro fue mayor con 3,20 g, mientras que Jinchan consumió 2,80 g, y el consumo de cal fue mayor para el proceso con cianuro con 6,10 g y menor para el Jinchan con 5,50 g.

La prueba realizada en la muestra MPA02-X2 AT, el porcentaje de disolución más efectivo en el proceso fue para el Jinchan con 90,28% mientras que el Cianuro de Sodio obtuvo una tasa de disolución de un 88.98%, el consumo de reactivo lixivante en la muestra, fue mayor para el Cianuro de Sodio con 3 g, y un consumo de 2,75 g para el Jinchan, los consumos de cal se ubican en mayor proporción para el tratamiento con Cianuro de Sodio con 5.8 g y menor un menor consumo de 5.20 g para el Jinchan.

En la muestra MPA03-X7P, el agente lixivante Jinchan fue más efectivo en el proceso con una tasa de disolución del 34,60% con respecto al Cianuro de Sodio que obtuvo un 34,16 %, así mismo el consumo de Cianuro de Sodio fue mayor con 3,40 g, mientras que el consumo de Jinchan registro 2,90 g, y el consumo de cal fue mayor para el proceso con Cianuro de Sodio con 6,50 g y menor para el Jinchan con 5,80 g.

Para la muestra ensayada MPA04-X7(2), el agente lixivante Jinchan fue más efectivo en el proceso con una tasa de disolución del 94,47% con respecto al Cianuro de Sodio que obtuvo un 92,17%; el consumo de Cianuro de Sodio fue mayor con 2.85 g, mientras que Jinchan consumió 2,56g, en cuanto al consumo de cal fue mayor para el proceso con Cianuro de Sodio con 5,60 g y menor para el Jinchan con 5,10 g.

Palabras clave: lixiviación, agitación mecánica, ensayo al fuego, Cianuro de Sodio, Jinchan.

2.1. Abstract

The present research work aims to determine the efficiency in gold dissolution through the comparison between the most common leaching agent such as sodium cyanide, which has been used for gold recovery, and the Jinchan leaching agent (carbonized sodium cyanurate plus thiourea).

The tests in the hydrometallurgical leaching process with both agents were carried out at laboratory scale using 4 representative samples from different veins of the Las Paralelas mine, which were tested with the aforementioned leaching agents.

Initially, the ore grade was determined metallurgically by fire assay and within the main operational parameters of laboratory leaching, the following were considered: concentration of leaching agents, pH controls, mechanical agitation speed, temperature, reaction times, percentage of solids, granulometry -200 mesh, in a time of 28 to 30 hours; with the purpose of obtaining the dissolution kinetics for the evaluation of the effectiveness in the leaching process and its respective consumptions.

The mineral presented the following recovery percentages: for the sample MPA01-VS, the leaching agent Jinchan was more effective in the process with a dissolution rate of 64.09% with respect to the Sodium Cyanide that obtained 64.80%, likewise the cyanide consumption was higher with 3.20 g, while Jinchan consumed 2.80 g, and the lime consumption was higher for the process with cyanide with 6.10 g and lower for Jinchan with 5.50 g.

The test performed on sample MPA02-X2 AT, the most effective dissolution percentage in the process was for Jinchan with 90.28% while Sodium Cyanide obtained a dissolution rate of 88.98%, the consumption of leaching reagent in the sample, was higher for the Sodium Cyanide with 3 g, and a consumption of 2.75 g for the Jinchan, the lime consumptions are located in higher proportion for the treatment with Sodium Cyanide with 5.8 g and lower a lower consumption of 5.20 g for the Jinchan.

In the sample MPA03-X7P, the Jinchan leaching agent was more effective in the process with a dissolution rate of 34.60% with respect to the Sodium Cyanide that obtained 34.16 %, likewise the consumption of Sodium Cyanide was higher with 3.40 g, while the consumption of Jinchan registered 2.90 g, and the lime consumption was higher for the process with Sodium Cyanide with 6.50 g and lower for the Jinchan with 5.80 g.

For the tested sample MPA04-X7(2), the leaching agent Jinchan was more effective in the process with a dissolution rate of 94.47% with respect to Sodium Cyanide which obtained 92.17%; the consumption of Sodium Cyanide was higher with 2.85 g, while Jinchan consumed 2.56g, as for the lime consumption was higher for the process with Sodium Cyanide with 5.60 g and lower for Jinchan with 5.10 g.

Key words: leaching, mechanical agitation, fire test, Sodium Cyanide, Jinchan.

3. Introducción

La lixiviación es una reacción líquida/sólido heterogénea en la cual la velocidad de reacción debe tratarse a través de modelos de procedimiento cinéticos para sólidos en contacto con fluidos para una condición no catalizada (Romero Bonilla Hugo, 2020).

Hoy en día la lixiviación con nuevos agentes como tiosulfato, tiourea o compuestos como el cianurato de sodio carbonizado, forman parte de los avances dentro de las nuevas técnicas aplicadas a los procesos hidrometalúrgicos de lixiviación, aunque lagunas de ellas se emplean desde hace algún tiempo, están enfocadas principalmente en aumentar la recuperación de oro en el proceso; proponiéndose como una alternativa a la aplicación convencional del Cianuro de Sodio que es el agente lixivante más utilizado en la actualidad.

Dentro del campo investigativo en Ecuador es muy escaso las pruebas hidrometalúrgicas de lixiviación por agitación mecánica con el agente lixivante Jinchan, el mismo que puede ser aplicado a la lixiviación en pilas, a la lixiviación de estanques y carbón en lixiviación de mineral oxidado portador de oro, según manifiesta la empresa Guangxi Senhe High Technology Ltd. (China) la cual patenta el producto como de alta tecnología; de allí su importancia en el análisis de lixiviación con este reactivo similar al Cianuro de Sodio, esto proporcionara información valiosa con la intención de contribuir con una nueva alternativa para el sector metalúrgico-minero del país.

El Área Minera “Las Paralelas” se encuentra ubicado en el campo minero San Gerardo en donde actualmente mantiene actividades de exploración y explotación, cuenta con planta de Beneficio en donde procesa el mineral proveniente de vetas de la mina principal denominada “Mina Paralelas” las mismas que son de baja a intermedia sulfuración, los sulfuros forman hilos agusanados < 4mm, estos sulfuros incluyen pirita y arsenopirita, y cantidades bajas de calcopirita y esfalerita.

Las características mineralógicas tanto del área minera “Las Paralelas” como de todo el cantón Camilo Ponce Enríquez es conocida, ya que tienen sus particularidades referentes al contenido de minerales de sulfuros y minerales refractarios, lo cual disminuye la efectividad en la recuperación de oro con Cianuro de Sodio.

La empresa minera Agrimroc S.A. titular del área Minera “Las Paralelas” ha considerado que la utilización de agentes lixiviantes constituye un costo importante en el proceso de beneficio, contemplándose parámetros en su disponibilidad, transporte, precio en planta, consumo y recuperación de mineral, además del aseguramiento en su disposición, determinando que el aspecto que más resalta es que; el agente lixiviante tiene que ser lo más efectivo posible, para la disolución del mineral de oro.

Ante lo expuesto, el alcance del presente proyecto está contemplado en el objetivo general que consiste en evaluar la eficiencia en la recuperación de oro comparando agentes lixiviantes como el Cianuro de Sodio y el Jinchan, aplicado al mineral proveniente de la “Mina Paralelas”, en el proceso de lixiviación.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se han planteado los siguientes objetivos los mismos que contribuirán en la obtención y análisis de datos, y son los siguientes:

Objetivo General.

- Evaluar la eficiencia en la recuperación de oro comparando agentes lixiviantes como el Cianuro de Sodio y el Jinchan.

Objetivos Específicos.

- Estimar la ley de oro por ensayo al fuego del mineral de mina.
- Medir la cantidad de Jinchan y Cianuro de Sodio que consume el mineral de mina.
- Valorar la efectividad del Cianuro de Sodio y Jinchan en el proceso de lixiviación.

4. Marco teórico

4.1. Metalurgia.

La metalurgia extractiva se puede definir como la parte de la metalurgia que estudia los métodos químicos necesarios para tratar una mena mineral o un material que se va a reciclar de tal forma que se pueda obtener, a partir de cualquiera de ellos, el metal, más o menos puros o algunos de sus componentes (Gaviria Ana Cecilia, 2007).

4.1.1. Procedimientos de la metalurgia extractiva.

Las operaciones en metalurgia extractiva caen dentro de uno de dos grupos; operacionales de vía seca y operaciones de vía húmeda. A las primeras se las conoce, de la forma general, como operaciones pirometalúrgicas y a las segundas como operacionales hidrometalúrgicas. Las operaciones de vía seca se realizan a altas temperaturas entre productos de estado sólido, líquido y gaseoso, mientras que las operaciones de vía húmeda se realizan a través de reacciones en fase acuosa y bajas temperaturas, a continuación, se observa en la siguiente tabla su división.

Tabla 1. División de la metalurgia extractiva

Pirometalurgia	Hidrometalurgia
- Calcinación	- Lixiviación Ácida Básica Neutra
- Tostación Oxidante Sulfatante Clorurante Aglomerante	- Purificante y/o concentración Métodos químicos Convencionales Cementación Resinas de cambio de ion Extracción con disolventes
Otras	
- Fusión Reductora Ultra reductora Neutra, Oxidante	- Precipitación Electrólisis Cementación Métodos químicos

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, Instituto Minerales CIMEX, Notas Clase Piro metalurgia, Medellín 2008.

4.2. Pirometalurgia.

La pirometalurgia es la ciencia y el arte de extraer el metal de interés a partir de los minerales y está basada en las transformaciones químicas, la termodinámica, transferencia de calor y la cinética de las reacciones químicas. Los medios son a través de un balance de masa y calorífico (M.Sc, 2009).

El término proceso pirometalúrgico es usado con frecuencia para describir los procesos de alta temperatura relacionados con la producción de metales. Sin embargo, los principios básicos que sustentan el uso de altas temperaturas son comunes en el proceso de todos los materiales (Oscar Jaime Restrepo Baena I.M.M. MSc. y otros, 2008).

4.3. Ensayo al fuego.

Ensayos al Fuego, más conocido como ensayos por vía seca, es el tipo de análisis que se emplea para poder separar el oro y plata del mineral proveniente de exploraciones, mineral de cabeza y/o concentrados, con una muestra de mineral que se mezcla con los fundentes (Flux). Se realiza la fusión, y posteriormente la copelación para obtener el Doré. Se ataca con HNO₃ para finalmente calcinarlo (Ruiz, 2017).

La determinación directa por ensayo al fuego de la plata y el oro permite mejorar la precisión de los análisis para altos contenidos de los mismos en los minerales (Jiménez, 2011).

El método de ensayo al fuego o vía seca se fundamenta en la pulverización completa del mineral, tamizado y su posterior fundición en crisol conjuntamente con óxido de plomo y otras sustancias apropiadas para la formación de la escoria. Es una técnica empleada para coleccionar el oro (y también otros metales como la plata, platino, etc.) con plomo en estado líquido a temperaturas entre 900 –1000°C (Ruiz, 2017).

El grupo formado por oro y plata tiene un comportamiento particular, que es usado para su separación del resto de elementos contenidos en una muestra. El Au y Ag presentes son coleccionados hacia la fase líquida metálica durante la fundición por medio del plomo

liquido proveniente del litargirio (reactivo adicionado). La ganga es convertida dentro de una escoria fusible por medio de los reactivos componentes del flux (Ruiz, 2017).

Los metales preciosos poseen débil afinidad por los elementos no metálicos, especialmente a altas temperaturas; así como una alta afinidad por plomo fundido. Se procura tratar el metal noble con la menor cantidad de plomo, porque si existe un exceso grande e inútil de éste, se producen pérdidas considerables en la copelación (Ruiz, 2017).

La fundición se inicia en el horno a la temperatura de 750°C y se sube gradualmente hasta 950°C, en más o menos 50 minutos. En los primeros minutos se reduce algo de plomo desde litargirio. Al subir la temperatura se desarrollan las reacciones químicas y la masa entra en agitación violenta reduciéndose el plomo y estas pequeñas “gotitas” de plomo atrapan a las partículas de oro y plata (Ruiz, 2017).

4.4. Hidrometalurgia.

“La hidrometalurgia es una rama de la metalurgia extractiva que corresponde a la tecnología de extraer metales desde los materiales que lo contienen por medios físico-químicos acuosos. Generalmente se desarrolla en las siguientes etapas secuenciales (Mihovilovic, 2001)”.

- Etapa de disolución selectiva de los metales desde los sólidos que los contienen mediante una solución acuosa. A esta etapa se le conoce como lixiviación.
- Etapa de procesamiento y transformación de los metales disueltos en el medio acuoso de lixiviación mediante agentes externos que permiten la purificación y/o concentración de estos metales, aún en soluciones acuosas.
- Etapa de recuperación selectiva de los valores metálicos disueltos en el medio acuoso, conocida como precipitación, en la que se obtiene el metal o un compuesto que lo contiene, en la forma de un producto sólido.

4.5. Separación Sólido – Líquido.

La hidrometalurgia u operaciones por vía húmeda se caracterizan por el empleo de reactivos que son líquidos y se utilizan a temperaturas próximas a la del ambiente.

Como su fin es la obtención del metal, es preciso que se pueda extraer la mayor cantidad posible del mismo de la mena; la extracción es factible si el metal está en la mena en forma de compuesto soluble en el tipo de disolvente a emplear, que la disolución obtenida por el ataque del disolvente a la mena tenga una concentración metálica determinada y admita una separación fácil de la parte insoluble de la mena.

Posteriormente esta disolución debe ceder fácilmente el metal con ayuda de precipitadores adecuados y buscar el medio para que el disolvente libre de metal se incorpore de nuevo al proceso.

La separación sólido-líquido es una parte fundamental en la mayoría de los procesos de tratamiento e hidrometalúrgicos, y de importancia especial después de procesos de lixiviación, clarificación antes de cambio iónico, extracción por solventes, precipitación, donde hay que recuperar los líquidos o soluciones portantes y en aquellos otros procesos donde se precise recuperar los sólidos de la mejor calidad posible, cristalización o precipitación (Jaime & Restrepo Baena, 2019).

4.6. Hidrometalurgia del oro.

“Las raíces en cuanto a la hidrometalurgia pueden remontarse al periodo de los alquimistas, en donde la transmutación de metales base en oro se convertía en su ocupación primordial (Habashi, 1993)”.

Los procesos hidrometalúrgicos son todas aquellas reacciones que se usan para extraer, purificar y recuperar minerales y metales en sistemas acuosos, la mayoría de los sistemas de recuperación de oro usan técnicas hidrometalúrgicas, de las cuales las más importantes son la lixiviación, las soluciones concentradoras y purificadoras, y la recuperación de oro. Dependiendo del tipo de mena, se pueden utilizar métodos como la

cloración, oxidación a presión y oxidación biológica, con el fin de incrementar la cantidad de oro extraída en la etapa de la lixiviación, esto se logra liberando el oro contenido y transformando los constituyentes que interfieren en formas menos reactivas.

Las reacciones químicas más importantes en la extracción del oro son aquellas que están involucradas con el oro en sí, otros metales de valor y las reacciones que involucran minerales ganga. Estas reacciones de ganga pueden resultar en un incremento en el consumo de reactivo, la disolución de las especies puede tener un efecto negativo en el proceso siguiente y la precipitación de especies a la solución, todo lo anterior puede afectar de manera general la eficiencia de la extracción de oro (Jaime & Restrepo Baena, 2019).

Hoy en día, la principal vía de extracción de oro se logra a partir de la lixiviación del mineral teniendo al CN^- como el principal agente lixivante involucrado, el cual proviene del Cianuro de Sodio (NaCN). Hasta el momento, el uso de cianuro en la lixiviación de oro continúa erigiéndose como el principal lixivante dado el bajo costo que representa su uso y sus grandes extracciones tanto de oro como de plata. Aunque el CN^- es peligroso, su implementación dentro de la lixiviación requiere de condiciones de seguridad a valores de $\text{pH} > 10$. Sin embargo, aun cuando el CN^- es un agente poderoso, ya que actúa como ligante formando compuestos de coordinación, lo cual contribuye a la extracción de oro y plata del mineral insoluble. El cianuro, como ligante, forma compuestos de coordinación con diversos iones metálicos y minerales (Yannopoulos, 1991).0

4.7. Lixiviación.

“La lixiviación es la extracción de una parte soluble de un sólido por medio de un disolvente (J. F. Richardson, 2002)”.

En la metalurgia intervienen las partes mencionadas: sólido, agente lixivante (disolvente) que normalmente está disuelto en la solución acuosa y ocasionalmente un agente externo que actúa como oxidante o reductor y participa en la disolución del metal de interés mediante un cambio en los potenciales de óxido- reducción (potencial redox) de la solución lixivante. La lixiviación también puede realizarse con participación de presión, distinta a la atmosférica, temperaturas inferiores o superiores a las del ambiente (Mihovilovic, 2001)

El proceso de disolución de metales se denomina lixiviación. El Cianuro de Sodio se disuelve en agua donde, en condiciones ligeramente oxidantes, disuelve el oro contenido en el mineral. La solución resultante que contiene oro se denominada solución cargada (Mark J. Logsdon y otros, 2001).

La cinética de lixiviación de minerales es el proceso de la determinación de la velocidad y los mecanismos de disolución de los metales de interés económico; con el objeto de obtener información que permita determinar condiciones de operación, mecanismos y etapas controladas involucradas, y la predicción de la velocidad de extracción del oro bajo diversas condiciones (Danny, 2021).

4.8. Métodos de Lixiviación.

Los diferentes métodos de lixiviación tienen el objetivo de lograr un correcto balance económico entre los recursos aportados – inversiones iniciales, gastos operacionales, energía, insumos, reactivos (lixiviantes, oxidantes y reguladores de pH), agua, mano de obra, etc. – y los beneficios – valor del producto recuperado – que se espera obtener del procesamiento de las materias primas que se desean explotar. Entre los métodos de lixiviación tenemos:

- Lixiviación in-situ.
- Lixiviación en botaderos.
- Lixiviación en pilas (heap leaching).
- Lixiviación en bateas o percolación.
- Lixiviación por agitación (Vilca, 2006).

“Para escoger algún método de lixiviación se tienen en cuenta las siguientes características: tamaño de partícula, aglomeración y altura del lecho de mineral, flujo específico de soluciones lixiviantes, ciclo de lixiviación, consumo de reactivo regulador de pH y consumo de agua (Mihovilovic, 2001)”.

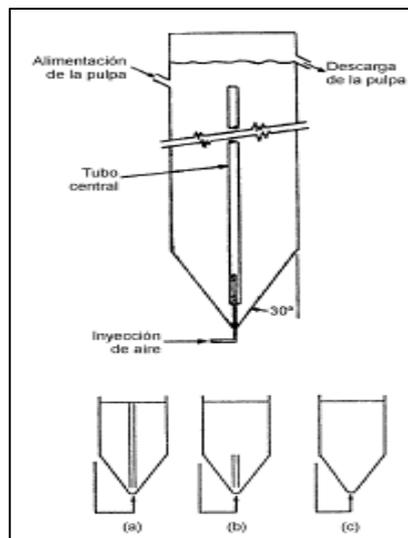
4.8.1. Lixiviación por Agitación.

Se lleva a cabo en tanques agitados por alguna de las alternativas siguientes:

- Agitación Neumática
- Agitación Mecánica
- Agitación Mixta.

En la agitación neumática o por aire, se emplean los denominados elevadores de aire (“air- lift”), conocidos en nuestro medio como tanques Pachuca, los cuales aún son empleados por ejemplo en Zambia, para recuperar cobre y cobalto de antiguos relaves de flotación la figura 1 representa los tanques pachucas.

Figura 1. Reactor Pachuca lixiviación.

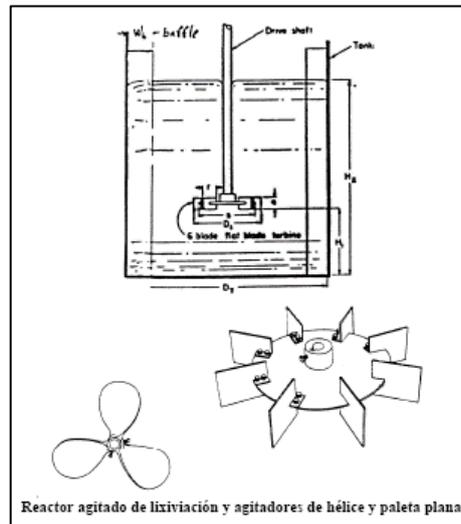


Nota: El gráfico representa los tanques pachucas para la agitación neumática por aire. Tomado de (Gaviria Ana Cecilia, 2007). Hidrometalurgia Aplicada Línea de metales Preciosos.

La agitación mecánica ver figura 2, se lleva a cabo en tanques generalmente cilíndricos, el agitador puede tener diferentes formas y esta geometría varía dependiendo de las características granulométricas del mineral y la viscosidad de la pulpa. La agitación mecánica asistida con la inyección de aire, ha demostrado ser un método excelente en los procesos extractivos de metales preciosos. El mineral que se trata por este método debe ser

de alto tenor y su granulometría debe de ser fina (para minerales auríferos debe estar en la malla 200), requiere alta inversión de capital, pero este se recupera debido a la dinámica del proceso que suele tomar entre 6 a 24 horas. La extracción puede alcanzar el 95% y la concentración de agente lixiviante en las soluciones debe estar entre media a alta.

Figura 2. Tanque e impeler, lixiviación por agitación.



Nota: El gráfico representa la agitación mecánica, demostrado ser un método excelente en los procesos extractivos de metales preciosos. Tomado de (Gaviria Ana Cecilia, 2007) Hidrometalurgia Aplicada Línea de metales Preciosos.

Mientras que otros métodos de lixiviación como por ejemplo in situ, pilas y terreros toma años y la que se realiza en tanques toma días la lixiviación por agitación toma en promedio de 24 a 30 horas dependiendo de la mineralogía, las razones para esta rápida velocidad de lixiviación son:

- El tamaño fino de las partículas sólidas.
- La rápida saturación de la solución de lixiviación de la superficie de mineral como resultado de una agitación vigorosa.

Ventajas y desventajas.

a) Ventajas de la lixiviación por agitación:

- Se obtienen mayores recuperaciones.
- La cinética de extracción es más rápida (horas).
- Es posible una gran automatización.
- Se minimizan los problemas de finos.

b) Desventajas de la lixiviación por agitación:

- Un mayor costo de inversión y operación.
- Necesita una etapa de molienda y una etapa de separación sólido-líquido. (espesamiento y filtración).
- La inversión requiere tratar menas de alta ley.

La particularidad del sistema de lixiviación por agitación reside en el hecho que pueden aplicarse diferentes factores que logren aumentar la cinética, como, por ejemplo:

- Temperaturas.
- Agitación intensa.
- Presión de gases.
- Uso de reactivos (Zanabria Quispe, 2021).

4.8.2. Variables a considerar en lixiviación por agitación mecánica.

El análisis de las variables de la lixiviación por agitación en sistemas industriales, para la definición y optimización del proceso, debe necesariamente hacer confluir aspectos técnicos, operacionales y económicos.

Granulometría.

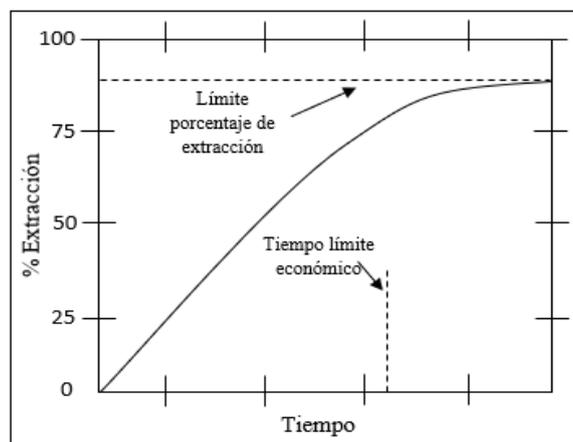
El grado de molienda debe ser lo suficiente para exponer, por lo menos parcialmente, la superficie del mineral valioso a la acción de la solución lixivante. Depende del tipo de mineral y de sus características mineralógicas. Deberá considerarse un tamaño tal que no contenga un exceso de gruesos (> 2 mm) que produzca problemas en la agitación (embanca

miento, aumento de la potencia del agitador) y que, por otra parte, no contenga un exceso de finos (menos de 40% < 75 micrones), que dificulten la separación sólido-líquido posterior de la pulpa lixiviada. Debido a lo anterior y, además, para disminuir los consumos de energía por concepto de molienda y los costos de filtración y decantación, la agitación se deberá tratar de realizarla al mayor tamaño que la operación lo permita (Camila Becerra Soto, 2015).

Tiempo de lixiviación.

La economía del proceso de lixiviación es función del grado de disolución o porcentaje de extracción del mineral valioso. Sin embargo, esto no es tan importante como el tiempo necesario para una extracción aceptable, es decir la velocidad de disolución.

Figura 3. Porcentaje de disolución en función del tiempo.



Nota: El gráfico representa la cinética de disolución del oro en porcentaje vs. el tiempo. Tomado de (Camila Becerra Soto, 2015). Lixiviación Agitada.

La figura 3, muestra una curva típica entre estos dos parámetros. Existe al principio una extracción rápida, que decrece posteriormente al máximo obtenible para un tamaño dado de partícula. Esta curva se puede obtener de pruebas de lixiviación en el laboratorio (Camila Becerra Soto, 2015).

Mineralogía del mineral.

El tamaño y la disposición de la especie valiosa influye el grado de molienda necesario para exponer esta especie a la solución lixivante.

Otras variables.

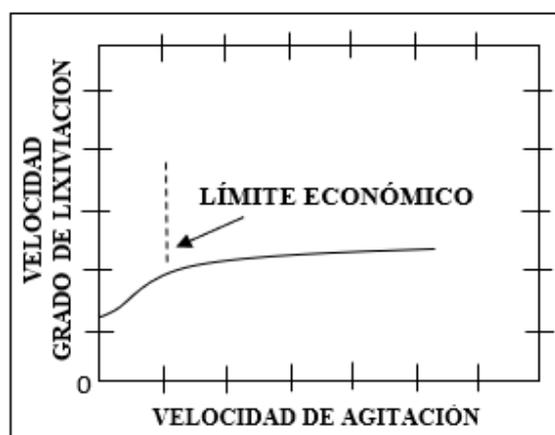
La lixiviación se realiza a temperatura ambiente (o en autoclaves) y la concentración de reactivos debe ser optimizada según el tipo de operación.

El porcentaje de sólidos debe ser en la mayoría de los casos lo más alto posible para alcanzar una alta concentración del ion metálico en la solución de lixiviación, minimizar los costos de inversión en el circuito de lixiviación por menor capacidad volumétrica y reducir el tamaño y costo subsecuente de espesamiento y filtración. El porcentaje de sólidos en la pulpa varía entre 20 y 50%.

La velocidad de agitación debe ser lo suficiente alta para mantener los sólidos en suspensión, para que no decanten.

Una velocidad de agitación alta tiende a favorecer la cinética de la reacción, pero tiene un costo energético apreciable Figura 4 (Camila Becerra Soto, 2015).

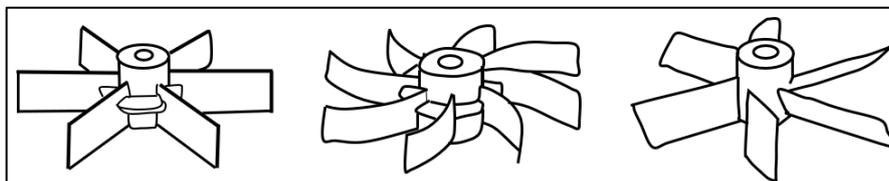
Figura 4. Velocidad de Agitación y grado de lixiviación.



Nota: El gráfico representa la velocidad de Agitación vs. el grado de lixiviación que entre más rápido sea es económicamente favorable. Tomado de (Camila Becerra Soto, 2015). Lixiviación Agitada.

Favorece también la disolución de gases en la solución. Existen varios diseños de agitadores esto se puede observar en la Figura 5.

Figura 5. Tipos de impulsores.



Nota: El gráfico representa algunos diseños de agitadores para la lixiviación agitada (Camila Becerra Soto, 2015). Lixiviación Agitada.

4.9. La cinética de lixiviación del oro.

Para lixiviar oro son necesarios un reactivo complejo y un oxidante o catalizador oxidante, el oxidante usado en la cianuración es oxígeno de la atmósfera. La reacción para la disolución de oro en una solución alcalina es representada con la siguiente ecuación, la cual fue propuesta por Elsner (1846):



Esto se debe a la limitada o baja concentración de oxígeno ya que el porcentaje de lixiviación de oro es frecuentemente controlada por el transporte masivo de oxígeno a la superficie del oro. Las cinéticas son generalmente muy lentas y el proceso de lixiviación usualmente se requiere más de 24 horas (Alberto, 2013).

En el contexto de la extracción del oro, la lixiviación es el proceso de disolución de un metal o mineral en un líquido. En lo que concierne al oro, la reacción ocurre en una solución acuosa, en este proceso se requiere de un complejante y un oxidante para llegar a tasas aceptables de lixiviación; Solo un número de agentes ligantes pueden formar complejos lo suficientemente estables para ser usados en procesos de extracción aurífera (Gaviria Ana Cecilia, 2007).

4.10. Agentes lixiviantes del oro.

En todos los casos donde el oro es sometido a un proceso de lixiviación, la disolución está regida por los principios electroquímicos de la corrosión, donde el mecanismo de reacción depende de cada sustancia lixivante (Mejía, 2010).

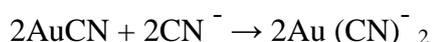
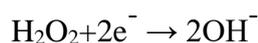
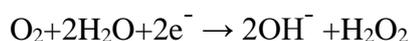
4.10.1 Lixiviación con Cianuro de Sodio.

Fundamentos. – “La acción disolvente de las soluciones de cianuro sobre el oro metálico fue conocida, desde 1783, por el científico sueco Carl Wilhelm Scheele, y mencionada en sus publicaciones (Mihovilovic, 2001).”. “Sin embargo, fue Elsner, en Alemania, el primero que estableció la necesidad de la presencia de oxígeno para que el cianuro disuelva el oro, planteando la reacción global (Mihovilovic, 2001)”:



La reacción de Elsner continúa hasta que prácticamente todo el cianuro es consumido o todo el metal es disuelto (Vesga, 2010).

El mecanismo de disolución de oro en soluciones cianuradas ocurre en la interfase sólido-líquido y es de naturaleza electroquímica, pudiendo ser representado por las siguientes reacciones (Mihovilovic, 2001).



Proceso. - En el proceso tradicional de cianuración, el oxígeno se suministra a través del aire, el cianuro se adiciona como Cianuro de Sodio y se utiliza cal para controlar la alcalinidad.

“La adición de cal a la pulpa con cianuro es una práctica universal no solamente para evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis sino también para neutralizar cualquier constituyente ácido del mineral, que de otra manera liberaría ácido cianhídrico (Vesga, 2010)”.

La disolución de oro, puede verse afectada negativamente por cianicidas (minerales de cobre, sulfuros de arsénico, antimonio y de otros metales, azufre y minerales arcillosos), que no sólo disminuyen la concentración de cianuro disponible para la lixiviación, sino que además pueden inhibir el proceso (Gómez, 2010).

La disolución de oro está regida por procesos físicos de difusión con varias etapas, entre ellas: disolución de cianuro y oxígeno, transporte de estos reactivos a la superficie del mineral, adsorción del cianuro y oxígeno, formación del complejo cianurado y, al final, la desorción y transporte de este complejo a la solución (Gómez, 2010).

Parámetros. - En cada proceso hidrometalúrgico para la extracción de metales poseen parámetros fijos con los cuales se alcanzan las mejores condiciones de operación (recuperación vs. economía). Entre los parámetros más importantes en la etapa de lixiviación son: velocidad de agitación, pH, concentración de las soluciones de cianuro, tamaño de partícula, temperatura, tiempo de operación y densidad de pulpa (Sandoval, 2013).

Desventajas. - Las principales desventajas de la cianuración son: carácter tóxico del agente lixivante (cianuro), cinética de reacción lenta y bajas recuperaciones cuando se procesan minerales refractarios tales como pirita, arsenopirita, carbonatos, minerales cupríferos, entre otros (Sandoval, 2013).

4.10.2. Agente Lixivante Jinchan.

Jinchan es un nuevo tipo de agente de lixiviación alcalino creado por Senhe High Technology y considerado como producto de alta tecnología y utilizado en el beneficio del oro como sustituto del Cianuro de Sodio. En la actualidad, el agente de preparación de oro es respetuoso con el medio ambiente. Jinchan es el único producto patentado para la "extracción de oro respetuosa con el medio ambiente" en todo el mundo.

El producto es utilizado en la producción de oro directamente como sustituto del Cianuro de Sodio sin cambiar el proceso y el equipo original, disfruta de ventajas tales como baja toxicidad, protección ambiental, alta recuperación, buena estabilidad, operación conveniente, reciclaje rápido, dosis baja, bajo costo y almacenamiento conveniente y transporte.

La empresa Senhe High Technology señala la siguiente información a ser considerada:

Aplicación. – Las aplicaciones en minerales tales como: mineral oxidado de oro y plata, mineral primario, mineral de oro con alto contenido de azufre y arsénico, escoria de cianuración, concentrado de oro, ceniza de piritita y lodo de ánodo, etc. Dentro de los procesos de beneficio es aplicable en lixiviación en vertedero, lixiviación en piscina y pulpa de carbón (lixiviación por agitación), etc.

Presentación. - La presentación del producto es en forma granular o en polvo.

Disolución. - Se puede usar después de disolverse completamente con agua a temperatura normal (en general, la disolución se puede acelerar en agua corriente o mediante agitación total; la piscina de dosificación se puede construir cerca de la piscina de solución estéril en lixiviación en pilas, este proceso es para permitir que el remanso que ha pasado el carbono lave directamente el Jinchan y lo disuelva en una piscina de solución estéril.

Alcalinidad. – Se debe considerar para el ajuste de alcalinidad en general, con cal o sosa cáustica con valor de pH estable entre 11-12; cuando el valor de pH del agua estancada disminuya, la alcalinidad se ajustará oportunamente; cuando el valor de pH es demasiado

alto (más de 12) se generará suciedad alcalina y afectará la adsorción del carbón activado o se producirá la pasivación del líquido y afectará el efecto de lixiviación.

Usos de otros reactivos con Jinchan. - El uso de agua de amoníaco, sulfuro de sodio, ferricianuro de potasio, nitrato de plomo e hipoclorito de sodio, así como otros compuestos subsidiarios en el pretratamiento de minerales complejos, no rechaza la lixiviación de oro de Jinchan.

Recuperación. – El fabricante recomienda utilizar carbón de absorción de cáscara de coco dorado especial o polvo de zinc como agente de absorción auxiliar, en el proceso CIP se utiliza carbón activado especial para la extracción de oro de pulpa de carbón.

Composición. - La empresa Senhe High Technology, presenta la siguiente tabla.

Tabla 2. Composición/Información (Jinchan)

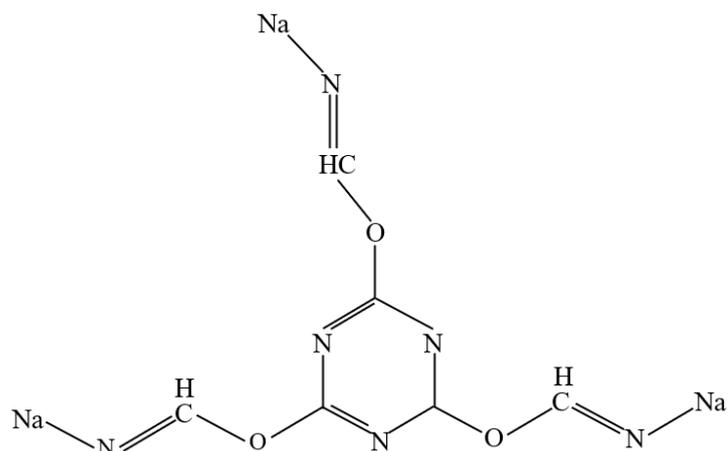
Component/Substance	Percentage by weight %	CAS No.
Carbón (C)	22.04%	7440-44-0
Sodium (Na)	38.3%	7440-23-5
Nitrogen (N)	15.42%	7727-37-9
Oxygen (O)	22.92%	7782-44-7
Ferrum (Fe)	0.96%	7439-89-6
Chlorine (Cl)	0.36%	7782-50-5

Fuente: Fabricate Jinchan; Senhe High Technology

Es una mezcla sintetizada químicamente, de varias sustancias. Debido a la protección de la patente, la composición química específica de Jinchan no es disponible, pero entre sus componentes principales incluyen cianurato de sodio carbonizado, tiourea básica, hierro polimérico básico, sal de ácido carbónico y alcalino, etc. Entre ellos, cianurato de sodio carbonizado (Na (3CN) 3C3H3N6O3) es el componente central, que tiene las funciones de acomplejante, disolviendo el oro y estabilizando la estructura de la sustancia central.

La química de la estructura se muestra en la Figura 6; Los componentes auxiliares están compuestos por una pequeña cantidad de agente complejante y agente protector, la función principal es ayudar a la lixiviación, ayudar a la complejación de sustancias centrales, para que disuelva el oro y mejore la estabilidad de los componentes principales.

Figura 6. Estructura química del cianurato de sodio carbonizado.



Nota: El gráfico representa la estructura química del cianurato de sodio carbonizado presente en el agente lixivante Jinchan. Tomado de (Senhe High Technology, journal Gold Science and Technology, Research on environmental protection agent "Jinchan" instead of sodium cyanide to treat Xiajiadian Gold Mine, 2018).

Como puede verse en la figura 6, el grupo ciano en el cianurato de sodio carbonizado (CN) está conectado entre sí en forma de valencia de co-enlace. Por razones estructurales y estéricas obstáculo, este tipo de grupo ciano (CN) por lo general no se disocia en iones de cianuro libres bajo condiciones alcalinas (CN⁻), y por lo tanto tienen una toxicidad extremadamente baja en comparación con el Cianuro de Sodio convencional. Al mismo tiempo, durante el proceso de inmersión en oro, los componentes auxiliares de "Jin Chan" tendrán un efecto sinérgico, por lo que el grupo ciano tiene el mismo desempeño de complejación similar del cianuro libre puede complejar y disolver el oro, y luego lograr el propósito de la extracción de oro.

Por lo tanto, el componente central de "Jin Chan" determina el principio de que no solo tiene el efecto del cianuro en la lixiviación que disuelva el oro en el mineral y lo transfiere a la fase líquida para lograr el propósito de la lixiviación, sino que además muestra una baja toxicidad.

El principio de lixiviación de oro con cianurato de sodio carbonizado es básicamente el mismo de cianuro lixiviando oro, pero el efecto sinérgico de otros componentes aún no está claro. La principal reacción química son las siguientes:



La utilización del cianato carbonizado o Jinchan en este caso se ha podido evidenciar en dos investigaciones hechas la primera en Ghana denominado “Estudio Comparativo de Cianuro de Sodio y Reactivo de lixiviación de oro Jinchan TM: “Estudio de Caso en Goldfields Ghana Limited”, y la segunda en China se ha realizado el estudio denominado “Tratamiento del oro de la Mina de Xiajiadian con el Reactivo Respetuoso con el Medio Ambiente Jinchan como sustituto del Cianuro de Sodio” en el condado de Shanyang, ciudad de Shangluo, Provincia de Shaanxi.

Estos estudios demuestran los porcentajes de disolución para cada una de sus menas realizando una comparativa entre NaCN y Jinchan.

5. Metodología

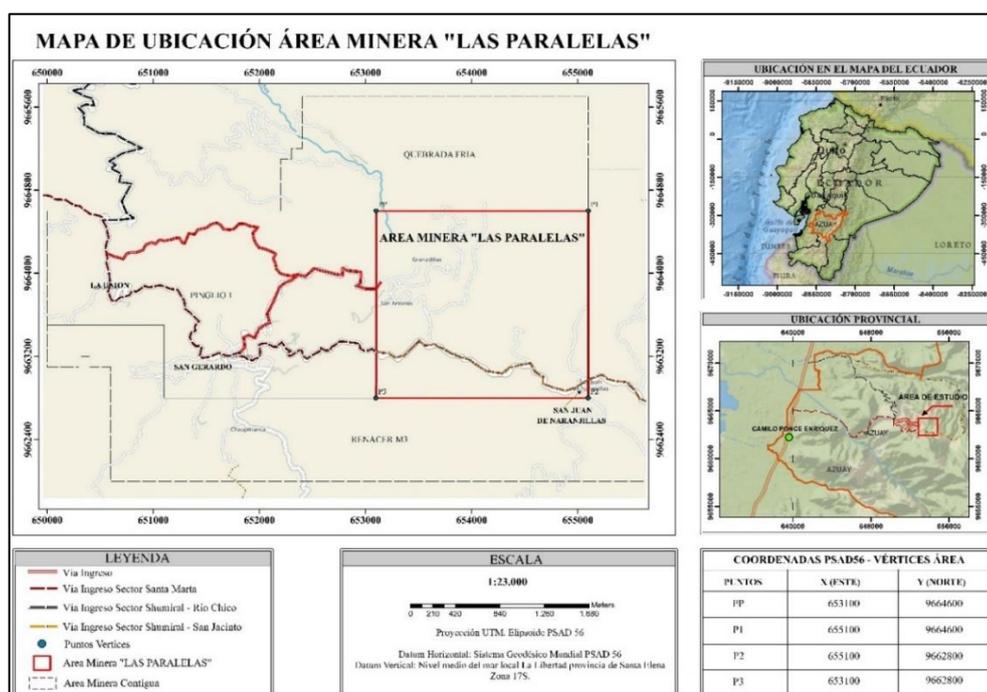
5.1. Métodos.

Para el desarrollo del presente trabajo aplicó el método cuantitativo que permitirá la aplicación de herramientas tales como el análisis comparativo de variables obtenidas de la parte experimental del objeto de estudio.

5.1.1. Área de estudio.

La concesión minera Las Paralelas Código: 462 se ubica al oriente de la Cordillera Occidental, en la parte Suroccidental de la Provincia del Azuay, en el cantón Camilo Ponce Enríquez vía a San Gerardo sector San Antonio, colinda al norte con las concesiones Quebrada Fría, al sur y al este con la concesión Renacer M3, y al Oeste con la concesión Pinglio 1, como se observa en la Figura 7, a continuación:

Figura 7. Mapa de Ubicación Área Minera “Las Paralelas”



Nota: El grafico representa la ubicación del área minera Las Paralelas con su polígono, y vías de acceso; así como pueblos cercanos al área de estudio.

Para poder acceder al área minera “LAS PARAELAS”, se lo puede realizar desde el aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo (Guayaquil), en dirección sur a 139.3 km por Troncal de la Costa/E25, hasta llegar cantón Camilo Ponce Enríquez siendo este el punto de referencia más cercano.

Primera vía de acceso; se lo puede encontrar saliendo de la ciudad de Camilo Ponce Enríquez, siguiendo la vía a Guayaquil (troncal de la costa) en sentido norte a 10 minutos se encuentra el sector de la Patricia, que es la entrada por vía de primer orden al sector de Santa Martha, una vez estando allí se sube por carretero de tercer orden desde vía Santa Martha – La Unión y la Unión-San Antonio donde se encuentra las instalaciones de la empresa.

Segunda vía de acceso; se lo puede realizar saliendo de la ciudad de Camilo Ponce Enríquez, siguiendo la vía a Guayaquil (troncal de la costa) en sentido norte a 20 minutos se encuentra la entrada a la comunidad de Shumiral, vía de primer orden hasta esta comunidad, una vez estando allí se sube por carretero de tercer orden desde vía Shumiral – Río Chico, se atraviesa la entrada a la comunidad de la Fortuna llegando a las Comunidad de la Unión, para luego dirigirse hasta la comunidad de San Antonio llegando a las instalaciones de la empresa.

Tercera vía de acceso; se lo puede realizar saliendo de la ciudad de Camilo Ponce Enríquez, siguiendo la vía a Guayaquil (troncal de la costa) en sentido norte a 20 minutos se encuentra la entrada a la comunidad de Shumiral, vía de primer orden hasta esta comunidad, una vez en este sector se debe tomar la vía de tercer orden que atraviesa las comunidades de Mirador, Guadalupe, San Jacinto, de Iñan, Progreso, San Juan de Naranjillas, hasta llegar a San Antonio, en donde se encuentra las instalaciones de la empresa.

5.2. Datos generales.

5.2.1. Hidrografía.

El cantón Camilo Ponce Enríquez hidrográficamente se encontraría según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI en su anuario año 2015, dentro del sistema hídrico denominado cuenca Hidrográfica del río Balao código (170) y considerada por SENAGUA en la clasificación de unidades hidrográficas como Nivel 5, con una superficie total de 2872 km² ver Anexo 1, el mismo se encuentra constituido por subcuencas hidrográficas entre las que tenemos los ríos Jagua, Gala y Tenguel, estos atraviesan el Cantón Camilo Ponce Enríquez para desembocar en el pacífico.

El área de estudio se encuentra dentro de la sub-cuenca hidrográfica del Río Gala que ha decir de MAGAP 2014 abarca una superficie de 21794,45 HA del área del cantón esto representa un 34,09 % y la escorrentía media anual del estuario es de 284 hm³ esta subcuenca consta con una extensión aproximada de 533 km², y dentro de esta cuenca se encuentra el Río Pinglio que atraviesa al Área de estudio este río contribuye aguas abajo para formar el Río Chico.

5.2.2. Clima.

Según el análisis de precipitaciones realizado con la información base del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) de los anuarios meteorológicos correspondiente al periodo 1981-2010, se ha considerado las precipitaciones y temperatura para el cantón Camilo Ponce Enríquez y el área de estudio con las siguientes estaciones meteorológicas las que se observan en la tabla 3 a continuación.

Tabla 3. Estaciones meteorológicas.

Estación	Código	Coordenada Este (X)	Coordenada Norte(Y)	Altitud m.s.n.m	Provincia
NARANJAL	M176	653682	9705724	50	Guayas
PUCARA-COLEGIO TEC.AGRO	M1212	670443	9645129	3113	Azuay
PAGUA	M0184	638121	9659542	8	El Oro

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) del Anuarios meteorológicos correspondiente al periodo 1981-2010.

Los datos meteorológicos en cuanto a precipitaciones muestran rangos para el cantón camilo Ponce Enríquez que van desde 650 mm a 1220 mm, estos datos se pueden observar en Anexo 2 correspondiente al Mapa de Precipitaciones del cantón Camilo Ponce Enríquez, dentro de este aspecto en cuanto a precipitaciones el área de estudio se encontraría dentro de los 765mm a 878mm anuales.

Mientras que los datos meteorológicos del INAMHI para la temperatura de cantón Camilo Ponce Enríquez en el mismo periodo muestran un clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo, con temperaturas que van desde 16,5⁰C hasta a 25,2⁰ C, esto se lo puede visualizar en el mapa de temperatura Anexo 3; en este apartado dentro del mapa de temperatura el área de estudio se encuentra entre los 20⁰ C y 23,4⁰ C.

5.2.3. Sísmica.

La Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (RENSIG) durante el año 2021, localizó 4553 eventos de origen tectónico en el Ecuador (Figura 1) de los cuales 62 tuvieron una magnitud igual o superior a 4 MLv (magnitud local) esto se puede observar en el informe del año 2021 se puede observar en el Anexo 4.

Según Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional 2021, dentro del monitores realizados se detectó con fecha 28 de noviembre, un sismo en el nor-orientado peruano a una profundidad de 126 km y que alcanzó una magnitud de 7.5.

Por su magnitud y profundidad, fue ampliamente sentido por toda la población en el sur y centro del país e incluso, en el norte, aunque en menor proporción, es el caso de la provincia del Azuay en el que se registró una intensidad de (5-6 EMS), este mismo registro se reportó en las provincias de Zamora Chinchipe y Loja.

Ante lo señalado de acuerdo al nuevo código ecuatoriano de la construcción NEC-15, el factor Z está en función del mapa de zonas sísmicas del Ecuador, en donde la determinación del factor Z para la zona de estudio se ha seleccionado de la tabla 1, NEC-15 – NEC-SE-DS Parte 1, que refiere al valor del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Tabla 4. Valor del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

ZONA SISMICA	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: NEC 2015, Norma Ecuatoriana de la Construcción peligro sísmico.

A continuación, los datos del valor de Z de la población más cercana al área de estudio en este caso es el cantón El Guabo, estos valores se encuentran representados por zonas, el valor de Z y la caracterización de amenaza sísmica para el área de estudio, obsérvese la tabla 4.

Tabla 5. Poblaciones Ecuatorianas y valor del factor Z.

Población	Parroquia	Cantón	Provincia	Zona sísmica	Factor Z
El Guabo	El Guabo	El Guabo	El Oro	V	0.40
Balao	Balao	Balao	Guayas	V	0.40

Fuente: NEC 2015, Norma Ecuatoriana de la Construcción peligro sísmico.

De lo señalado se puede determinar qué; de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción, el sector de estudio puede ubicarse en la Zona Sísmica V, pudiendo adoptarse un valor de Z entre 0,40.

5.2.4. Geomorfología.

La información disponible que reposa en la plataforma (SIGTIERRAS 2015), en su memoria técnica en la zona de estudio se encuentran las siguientes geoformas.

El cantón camilo Ponce Enríquez se han identificado dentro del contexto geomorfológico se pueden diferenciar cinco dominios principales fisiográficos, tres enmarcados en la región Sierra y dos en la región Costa y que dentro de cada uno consta cada geoforma identificada en el mapa geomorfológico Camilo Ponce Enríquez que consta en el Anexo 5; entre ello se señalan a continuación:

Figura 8. Cimas frías de las Cordilleras Occidental y Real.



Nota: Tomado de Memoria Técnica SIGTIERRAS, Cantón Camilo Ponce Enríquez; geomorfología; Año 2015, pag.46.

Figura 9. Vertientes Externas de la Cordillera Occidental.



Nota: Tomado de Memoria Técnica SIGTIERRAS, Cantón Camilo Ponce Enríquez; geomorfología; Año 2015, pag.38.

Figura 10. Medio aluvial de Sierra.



Nota: Tomado de Memoria Técnica SIGTIERRAS, Cantón Camilo Ponce Enríquez; geomorfología; Año 2015, pag.49.

Figura 11. Piedemonte andino occidental, conos de esparcimiento y formas de piedemonte proximales.



Nota: Tomado de Memoria Técnica SIGTIERRAS, Cantón Camilo Ponce Enríquez; geomorfología; Año 2015, pag.34.

Figura 12. Medio aluvial costero, terraza baja.



Nota: Tomado de Memoria Técnica SIGTIERRAS, Cantón Camilo Ponce Enríquez; geomorfología; Año 2015, pag.31.

Las geoformas de laderas presentes en el sector de estudio corresponden con superficies inclinadas disectadas, superficies disectadas de mesa, con pendientes medias (de 10% a 25%), por lo general estas vertientes son moderadamente cortas

(> 15 a 50 m), con desniveles relativos en > 25 – 50 metros, así mismo se encuentran relieves montañosos que pueden ir desde los 35 a 70 %.

Figura 13. Terraza media.



Nota: La imagen representa la geoforma de terraza media con pendientes muy suaves a suaves colinado con pendientes de 2 a 12 % dentro del área de estudio.

Figura 14. Relieve volcánico colinado muy alto.



Nota: La imagen representa la geoforma de relieve volcánico colinado con pendientes de 25 a 70 % dentro del área de estudio.

Recolección y análisis de información preliminar.

Se realizó la recolección de información preliminar bibliográfica de estudios, trabajos, conceptos, datos de la concesión minera, límites y áreas colindantes verificados en el catastro minero ARCERNNR año 2023.

El trabajo en este apartado contó de dos fases; la primera es la fase de campo y la segunda es la fase de laboratorio, la primera fase permitió el desarrollo de los objetivos propuestos.

Materiales equipos e insumos

Para la ejecución del proyecto de investigación se utilizó los siguientes materiales, equipos insumos e instalaciones: Laboratorio metalúrgico Agrimroc S.A, procedimientos, muestras de mina, planos topográficos, pica, combo, cincel, martillo geológico, balanza de precisión de 5 dígitos, mettler, espectrofotómetro de absorción atómica, marca para muestras perkin, tamices, reactivos químicos, peachímetro, bureta de 50 m, pipeta de 500 ml, vasos de precipitación de 250-300 ml, papel filtro, ácidos, agentes lixiviantes Jinchan y Cianuro de Sodio, materiales de oficina cámara fotográfica digital, computadora, impresora, calculadora, y otros materiales que se detallaran más adelante:

5.3. Metodología para el primer objetivo.

Fase de Campo. – En esta fase se procedió al muestreo en interior de la mina Las Paralelas de la Empresa AGRIMROC S.A en donde se recolectó 4 muestras representativas de bloques en preparación de 4 vetas distintas de donde se pretende explotar más adelante. Para la obtención de muestras se implementó la metodología y protocolo de muestreo siguiente:

Metodología de Muestreo.

La metodología que se empleó está en función de las características geológicas del depósito mineral por el cual aplicó el método de (chips sampling), en este caso el depósito mineral en el área minera Las Paralelas se categoriza como vetiforme de características pos-magmáticas de origen hidrotermal.

La simetría tabular tipo rosario de las estructuras mineralizadas pertenece a un yacimiento meso-epitermal, y su alteración hidrotermal propilítica, con presencia de epidota y/o clorita y comúnmente se presentan también albita, calcita, pirita, calcopirita, arsenopirita,

esfalerita, estos cuerpos vetiformes los podemos observar a continuación en las figuras del 15 al 18, de donde se obtuvo las muestras para los análisis más adelante.

Figura 15. Veta 1.



Nota: La imagen representa la veta 1 que se muestreo dentro de la mina Las Paralelas.

Figura 16. Veta 2.



Nota: La imagen representa la veta 2 que se muestreo dentro de la mina Las Paralelas.

Figura 17. Veta 3.



Nota: La imagen representa la veta 3 que se muestreo en la mina Las Paralelas.

Figura 18. Veta 4.



Nota: La imagen representa la veta 4 que se muestreo en la mina Las Paralelas.

El método permitió obtener muestras en forma de astillas o fragmentos de veta o mineral a lo largo de la potencia de la estructura mineralizada, estas muestras se tomaron en forma regular en el espacio de forma sistemática, siguiendo una línea imaginaria continua correspondiente al eje longitudinal orientada en forma perpendicular. (Greys Liliana Valenzuela Tello, 2020)”.

Protocolo de Muestreo.

- En primera instancia se verificó que en el sector las operaciones de perforación y voladura hayan cesado, luego procedió al desquinche, esto con la finalidad de asegurar el sector por posibles caídas de rocas, así mismo se debe verificar que se encuentre ventilado.

Luego de esto se lavó la labor donde se realizó el muestreo tal como se observa en la figura 19, esto permite obtener en lo posible una muestra sin posibles contaminantes.

Figura 19. Lavado labor minera.



Nota: El grafico representa el lavado de la veta previo al inicio de muestreo; el sector se encuentra en preparación de bloque para la explotación a futuro.

- La extracción o arranque se lo hizo manualmente con la ayuda de una punta, combo y martillo geológico, para poder desprender del macizo rocoso como se puede observar en la figura 21, el proceso de arranque de la muestra.
- Los datos como potencia de veta se la obtienen midiendo en forma perpendicular a la veta con el flexómetro tal como se puede visualizar en la figura 20, así mismos datos como el ancho de labor, ubicación (sector) fueron tomados en una libreta.

Figura 20. Medición espesor veta.



Nota: La imagen representa, el registro y medición del espesor de la veta en el sector de muestreo.

- La extracción o arranque de cada muestra se fue por separado y secuencialmente se picó en forma uniforme para conseguir extraer de manera homogénea una igual cantidad de mineral a lo largo de toda la longitud de la muestra cómo se observa en la figura 21.

Figura 21. Extracción mineral.



Nota: La imagen representa el arranque de mineral y la recolección secuencial de muestra por la veta.

- Al caer un pedazo grande se debe cuartear y agregar a la muestra solo la fracción apropiada, si se desprenden fragmentos de fuera de los límites de la muestra se los eliminara, los fragmentos de mineral o esquirlas se colocó sobre o dentro fundas plásticas o sacos plásticos extendidos al pie del lugar de la toma, tal como se visualiza en la figura 22, en donde el mineral se encuentra sobre sacos plásticos.
- La muestra obtenida del sector de interés y que se encuentra sobre le saco de plástico como muestra la figura 22, se procedió a homogenizar para proceder al cuarteo del mineral, el cuarteo se lo puede observar en la figura 23.

Figura 22. Mineral homogenizado.



Nota: La imagen representa la ubicación de la muestra recolectada sobre el saco de plástico próxima al cuarteo.

Figura 23. Cuarteo mineral.



Nota: La imagen representa el cuarteo de la muestra tipo como en cuatro partes.

- La distancia entre puntos o estaciones de muestreo no superaron los 5 metros.
- Después de recoger las cuatro muestras se marcó con pintura el punto (sector) o estación de muestreo como se observa en la figura 24 y para realizar la ubicación se referenció a puntos topográficos cercanos con esto se registró los sectores de muestreo en el mapa de muestreo y ubicación interior mina; el mismo que se observa en el Anexo 7, allí se visualiza la topografía interior

mina de cada sector de muestreo, en donde se señala la codificación de la muestra obtenida.

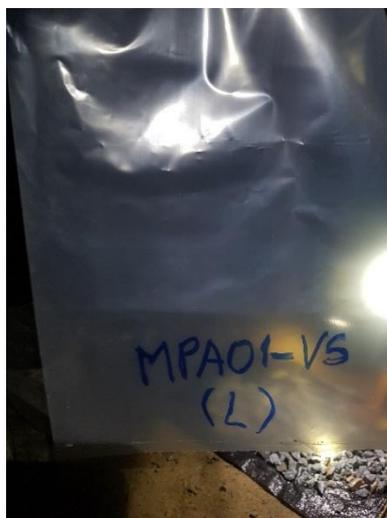
Figura 24. Marcado de código de muestra en sector de muestreo.



Nota: La imagen representa, el marcaje del código de la muestra obtenida de la veta, en el sector de muestreo.

- Por último, se marcó la funda como se puede observar la figura 25.; esta debe estar sin roturas lo que evitara su posible deterioro o derrame durante el transporte.

Figura 25. Marcado de funda para transporte de muestra.



Nota: La imagen representa la codificación de las fundas plásticas para el transporte de la muestra mineral obtenida.

- El total de la muestra se la colocó dentro de una bolsa plástica con su respectiva codificación, el peso de cada una de las muestras fue de entre 4 a 6 kg, como se puede observar el pesaje del mineral obtenido en la figura 26, a continuación.

Figura 26. Pesaje mineral muestreado de mina.



Nota: La imagen representa el pesaje con la balanza romana de aproximadamente 6kg de muestra mineral para ser transportada al laboratorio metalúrgico.

De esta forma se obtuvieron 4 muestras representativas de distintas vetas de la mina Las Paralelas, en la tabla 3 se muestra los códigos utilizados la potencia de la veta y sus datos estructurales.

Tabla 6. Muestras codificadas mina Las Paralelas

Nº	Código.	Potencia (cm).	Datos estructurales.
1	MPA01-VS	40	N58E/22SE
2	MPA02-X2 AT	25	N10W/18E
3	MPA03-X7P	19	N08E/44W
4	MPA04-X7(2)	16	N30E/31E

Fuente: Autor

Materiales.

Equipos de protección personal (EPP); punta o cuña; martillo geológico, combo de 4 lb, fundas plásticas, marcadores, libreta y esferos de campo, plásticos o sacos de plástico, cámara fotográfica, flexómetro de 5m, balanza romana, planos de labores con puntos topográficos de referencia.

Procedimiento.

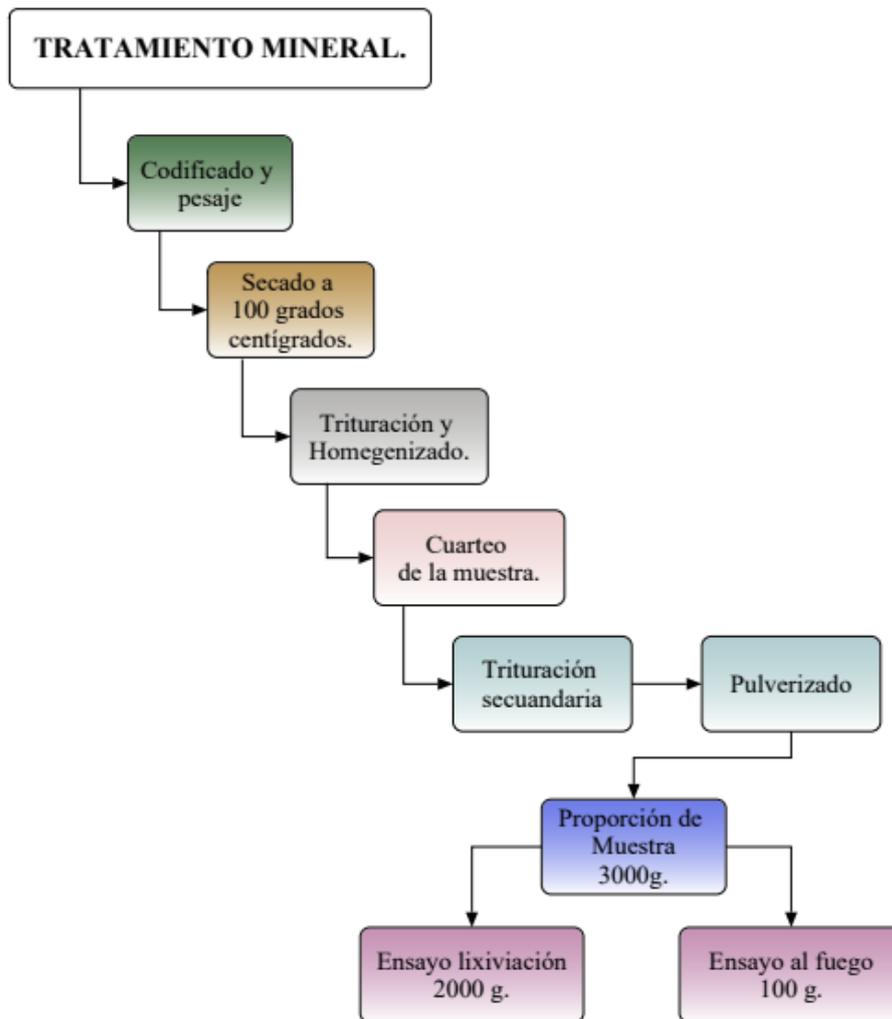
Después del muestreo interior de mina, se pasó a la preparación mecánica del mineral en laboratorio previo al proceso metalúrgico para la obtención de la ley de cabeza óptima dentro de este punto se consideró el método de Newmont para muestras con oro visible, y consiste en separar dos porciones una gruesa y otra fina ambas partes se analizan por separado para disminuir el sesgo todo esto por el proceso de ensayo al fuego; para en lo posterior realizar los ensayos de lixiviación.

Para el material de mena que se señala en la tabla 6, se determinó algunos parámetros físicos los cuales se pueden observar en el Anexo 6. Así mismo se realizó la caracterización macroscópica de las muestras esto se puede evidenciar en el Anexo 7, y el análisis químico de fluorescencia de rayos X y mineralógico por difracción de rayos X solicitado por el Ing. Alex Cevallos, laboratorio BIZALAB S.A.C. (31/03/2023) y los análisis ICP multielementos efectuados por el laboratorio PLENGUE; (27/03/2023); códigos CHP (1253366,125367,125368,125369) solicitado por el Ing. Alex Cevallos esto se lo puede observar en el Anexo 8.

Tratamiento primario.

Para el análisis por el método de ensayo al fuego se siguió los siguientes pasos los que se muestra en la figura 27.

Figura 27. Esquema tratamiento primario mineral.



Nota: El grafico representa los pasos en el proceso de ensayo al fuego para cada muestra recolectada de la mina Las Paralelas.

Codificación de muestras.

Las muestras que llegaron de mina se las ingresaron a laboratorio con sus codificaciones originales, ubicando estas codificaciones en la bandeja para el pesaje, los códigos que provienen de mina se los puede observar en la tabla 7.

Tabla 7. Codificación muestras de mina en laboratorio

Nº	Código.
1	MPA01-VS
2	MPA02-X2 AT
3	MPA03-X7P
4	MPA04-X7(2)

Fuente: Autor.

Pesaje del mineral proveniente de mina.

Para el pesaje de las muestras provenientes de mina en la etapa inicial de preparación mecánica en laboratorio se utilizó la balanza marca CAS modelo X2SS, de acero inoxidable, de 6 dígitos, previamente para su utilización se debe encerrar la balanza con la bandeja y luego se procede a l pesaje, en la figura 28 podemos observar el pesaje de 6.02 kg de la muestra MPA01-VS.

Figura 28. Pesaje y codificación muestra.



Nota: La imagen representa el pesado de muestra ya codificada en el laboratorio.

Secado de la muestra.

En este proceso se colocan las muestras ya pesadas dentro del horno de secado que tiene una temperatura máxima de 200 °C de acero inoxidable con una capacidad de 304L aproximadamente con una potencia aproximada de 9kw como se evidencia en la figura 21, para esto el horno debe estar a una temperatura de 100°C que es la temperatura óptima de secado y las muestras permanecerán durante 24 horas, con el objetivo de eliminar la humedad de cada muestra esto se puede observar en la figura 29, de esta forma no se ve afectado su conminución facilitando la reducción de tamaño en las etapas de trituración y pulverización.

Figura 29. Secado muestra mineral mina.



Nota: La imagen representa el ingreso de las muestras en las bandejas para el secado en el horno a una temperatura de 100°C.

Trituración y homogenización de la muestra mineral mina.

Una vez secadas las muestras de mina se procedió a la reducción en su tamaño a una malla mesh 10 o el pasante (1.65 mm) esto con ayuda de la trituradora de mandíbulas o quijada que se muestra en la figura 30, a esta malla es la óptima para que pueda ser pulverizada.

Figura 30. Trituración primaria muestra mineral mina.



Nota: La imagen representa la trituradora primaria de mandíbulas en donde se procedió hacer la reducción de las muestras provenientes de mina a una malla 10.

Cuarteo muestra mineral.

El material reducido en la etapa anterior pasó al cuarteador Jones de canales que se muestra en la figura 31, donde se obtuvo 3 kg de cada muestra de mina, el cuarteador realiza a través de los canales de $\frac{1}{4}$ o 6.3mm la división y una separación final del material; cada muestra pasó individualmente a la siguiente etapa de pulverización.

Figura 31. Cuarteador mineral Jones.



Nota: La imagen representa al cuarteador Jones de canales, en el mismo se procede al cuarteo de cada muestra de mina.

Trituración secundaria.

Las muestras de mina cuarteadas pasaron a la pulverizadora que de discos la misma que se puede observar en la figura 32, en donde se disminuyó su granulometría que sirvió más adelante poder obtener el porcentaje de malla adecuado para ejecutar los análisis tanto de ensayo al fuego como de lixiviación.

Se obtiene una cantidad de muestra representativa de 3kg dejando aproximadamente 2 kg para realizar el ensayo de lixiviación con NaCN (cianuro de sodio) y Jinchuan y 1 kg para realizar el ensayo al fuego.

Figura 32. Pulverizadora mineral.



Nota: La imagen representa la pulverizadora en donde se redujo el tamaño de partícula para los procesos metalúrgicos de cada muestra de mina.

La preparación de muestras se llevó a cabo mediante el método clásico de cono y cuarteo para obtener muestras representativas las que pasaron a las pruebas metalúrgicas, según los procedimientos del laboratorio metalúrgico Agrimroc S.A, el mineral pulverizado finalmente fue reducido a mallas – 200 mesh, obsérvese la figura 33 a continuación:

Figura 33. Mineral reducido a malla -200.



Nota: La imagen representa la preparación del material por la malla -200, para los ensayos metalúrgicos.

En esta etapa consiste en fundir la muestra con la mezcla fundente para concentrar el oro en un botón de plomo o régulo de plomo, luego es copelado, eliminando así el plomo por oxidación y volatilizar, quedando solo el material noble sobre la superficie de la copela llamado dore oro.

Ensayo al fuego etapas.

Una vez hecho el tratamiento del mineral se continua con la siguiente etapa:

a. Preparación de la carga (muestra mineral).

Para preparar la carga, el tipo de mineral que tratamos es de la mina Las Paralelas (fresco) con contenido de sulfuros por lo que para este tipo de material se utilizará un agente oxidante (KNO_3) el cual nos ayudará a obtener una buena carga de fusión por el grado de sulfuración de la muestra, en este caso se pesó 30g de mineral pulverizado de cada una de las muestras que se obtuvo de mina.

Se procederá a encerar la balanza con las bolsas plásticas para realizar el pesaje de los 30 g de mineral pulverizado de cada muestra como se lo observa en la figura 34, esto permitirá disminuir el error en el proceso.

Figura 34. Encerado de balanza.



Nota: La imagen representa el encerado de la balanza y la funda donde se almaceno mineral pulverizado, para el ensayo al fuego

Se pesó la muestra mineral en una bolsa plástica como se puede apreciar en la figura 35 y luego colocados en crisoles de arcilla el peso de cada muestra.

Figura 35. Pesaje para ensayo al fuego.



Nota: La imagen representa el pesaje de los 30 gr. De mineral pulverizado malla -200 que pasara al proceso de ensayo al fuego.

Pesamos y agregamos el agente reductor (harina) y oxidante (KNO_3) para cada muestra cómo se observa en la figura 36, luego en cada crisol se agregó la muestra mineral los agentes reductores y el fundente respectivo, así mismo se agregó el flux-fundente (litargirio PbO , carbonato de sodio NaCO_3 , bórax $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, Sílice SiO_2), cómo se puede observar en la figura 37 para homogenizar la carga, para finalmente ingresar los crisoles al horno de fundición.

Figura 36. Agregado a la muestra agente reductor.



Nota: La imagen representa la aplicación de agente reductor pesado a la muestra mineral.

Figura 37. Agregado de muestra mineral y fundentes.



Nota: La imagen representa el agregado de: muestra mineral, agentes oxidantes como (KNO_3), y fundentes el cual nos ayudó a obtener una buena carga de fusión por las muestras con presencia de sulfuros.

b. Fundición.

Antes de comenzar la etapa de fundición se hizo la verificación de temperatura del horno o mufla eléctrica hasta que sus resistencias lleguen al registro de temperatura de 1050 °C, como se evidencia en la figura 38.

Figura 38. Verificación horno 1050 °C.



Nota: La imagen representa el control y verificación de la temperatura del horno.

Se trasladó los crisoles al horno con ayuda de las pinzas porta copelas y utilizando el respectivo EPP, como se muestra en la figura 39, esto se realizó para cada una de las muestras.

Figura 39. Ingreso crisoles al horno.



Nota: La imagen representa la ubicación de los crisoles en el horno para la fundición.

Luego coloca el contenido del crisol en la lingotera previamente limpia y completamente seca obsérvese la figura 40; dejándolo enfriar unos 15 minutos, para luego retirar la masa de la lingotera golpeándolo con un martillo y liberar de esta forma el botón de plomo o (régulo).

Figura 40. Vertido crisol en lingotera.



Nota: La imagen representa la colocación del contenido fundido del crisol, en la lingotera.

Se liberó el régulo de plomo de las escorias de fundición con un martillo como se observa en la figura 41, dándole la forma de un cubo este paso se puede observar en la figura 42 y numerando a cada uno de ellos de acuerdo con la codificación de la muestra.

Figura 41. Liberación del regulo de plomo de las escorias.



Figura 42. Regulo de plomo en forma de cubo para copelación.



c. Copelación.

En esta etapa de copelación tiene por objeto la oxidación del régulo (aleación de plomo y metales preciosos) en un horno de copelación a una temperatura elevada; obteniéndose un botón que es una aleación llamada doré (metales preciosos).

Para comenzar la etapa se calentó las copelas limpias y enumeradas a temperatura de 950°C por 20 minutos, luego se colocó los régulos en las copelas calientes cerrando la puerta del horno; una vez que el régulo se fundió se abre la puerta para dar ingreso al oxígeno como se muestra en la figura 43 a continuación.

Figura 43. Ingreso de oxígeno al horno enfriamiento proceso copelación.



Nota: La imagen representa el proceso de copelación en donde se abre la puerta del horno para el ingreso de oxígeno que servirá para el enfriamiento.

En esta etapa el litargirio obtenido es adsorbido por la copela por atracción capilar, y los otros metales bases son infusibles a esta temperatura y no adsorbidas por la copela, para finalizar retiramos y dejamos enfriar como se observa en la figura 44; posteriormente se procede a pesar.

Figura 44. Enfriamiento copelas.



Nota: La imagen representa el enfriamiento de los botones (doré) salidos del proceso de copelación.

d. Separación o partición.

En esta etapa comprende en separar la plata del oro para ello se aplicó el siguiente método a continuación:

d.1. Separación de la plata con ácido nítrico y medición del oro por gravimetría.

Una vez que se colocó el botón de doré (oro + plata) laminado en un crisol de porcelana, se debe agregar un volumen adecuado de ácido nítrico diluido, calentamos a baja temperatura durante un tiempo, a esto se lo denomina ataque químico obsérvese la figura 45.

El trabajo continúa con la decantación del oro con ayuda de una bagueta inclinamos el crisol y retiramos la solución de nitrato de plata. Se debe agregar luego una solución de

ácido nítrico concentrado calentamos a una mayor temperatura, terminado un tiempo procedemos a eliminar la solución de plata, al botón de oro lavamos con agua y con hidróxido de amonio, el crisol con el botón de oro se seca y calcina para dejar enfriar y finalmente pasaríamos a pesarlo y elaborar el reporte de ley.

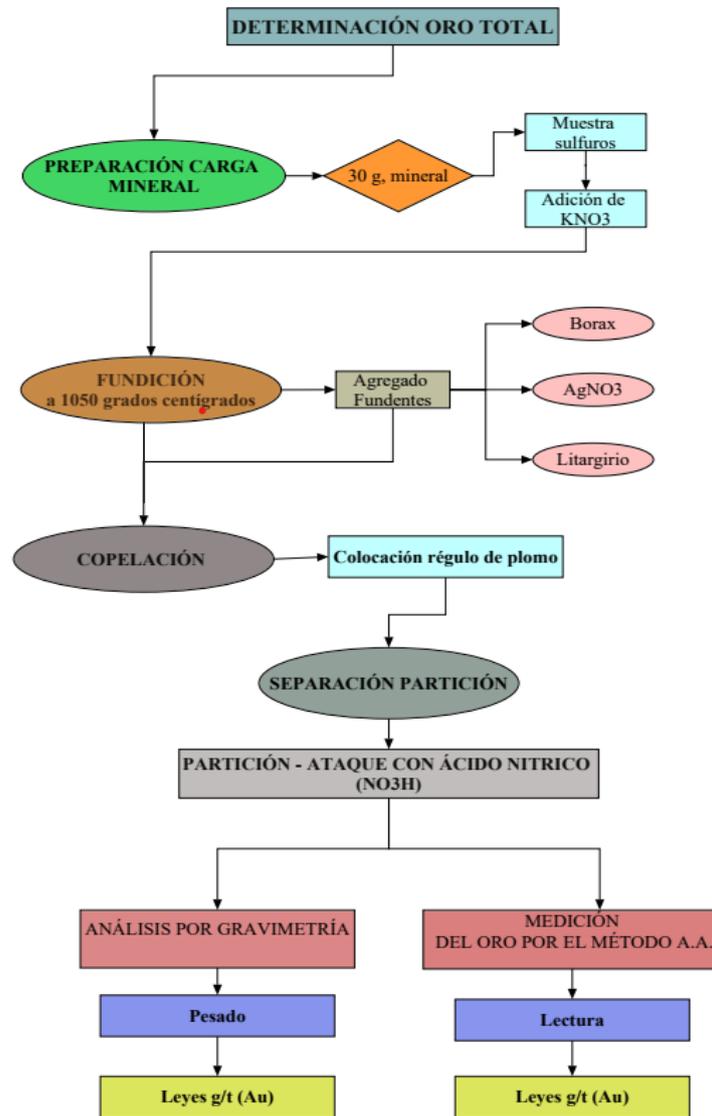
Figura 45. Ataque químico, botones dore.



Nota: La imagen representa el ataque químico con ácido nítrico al botón doré para la separación del oro.

Con este ensayo se obtendrá la ley de oro total en cada una de las muestras, a lo que se deberá comparar con el valor de la ley de oro cianurable obtenido más adelante en el proceso de lixiviación; para la determinación de oro total se lo puede observar en resumen en la figura 46 que se muestra a continuación.

Figura 46. Esquema de determinación oro total ensayo al fuego.



Nota: El gráfico representa la determinación del oro por proceso de ensayo al fuego.

Materiales.

Horno eléctrico con control automático de temperatura, control interno de ventilación, plancha eléctrica con control automático de temperatura, micro balanza de 5 dígitos, lingoteras, porta dores, porta régulos, yunque, alicate punta de loro, pinzas quirúrgicas, guantes aluminizados, guantes de cuero, máscaras de protección facial, máscara antigases, crisoles refractarios de 30 gr, tenazas especiales de fierro, para crisoles, copelas,

martillo de 0.296 kg. (2 lb), dispensadores, fioles de 25 ml, fioles de 10 ml, papel filtro, pipeta 10ml, bureta 50ml.

Reactivos químicos.

Litargirio (PbO), carbonato de sodio (Na₂CO₃), bórax (Na₂B₄O₇), sílice (Si), nitrato de potasio (KNO₃), ácido nítrico concentrado (HNO₃), ácido clorhídrico (HCL), nitrato de plata (AgNO₃), ácido nítrico diluido (HNO₃ 15% - 20%).

5.4. Metodología para el segundo objetivo.

Para el proceso de lixiviación en general se empleó las siguientes variables operacionales por muestra los mismos que se pueden observar desde la tabla 8 a la 11, los procesos en este apartado permiten obtener los datos para el cumplimiento del último objetivo dentro del proceso.

Tabla 8. *Parámetros prueba de lixiviación muestra MPA01 -VS*

Parámetros operacionales de prueba.	Muestra Código	
	MPA01 -VS (NaCN)	MPA01 -VS (Jinchan)
Fuerza lixivante NaCN ppm.	3000	-
Fuerza lixivante Jinchan ppm.	-	3000
Granulometría (%) malla -200.	89	89
pH de operación.	11	11
Peso de muestra mineral (kg).	1	1
Volumen de agua (L).	2	2
% de Solidos.	33.33	33.33
Agitación mecánica (RPM).	760	760
Dilución (L/S).	2	2
Tiempo de lixiviación (horas).	30	30

Fuente: Autor

Tabla 9. *Parámetros prueba de lixiviación muestra MPA02 -X2AT*

Parámetros operacionales de prueba.	Muestra Código	
	MPA02 -X2AT (NaCN)	MPA02 -X2AT (Jinchan)
Fuerza lixivante NaCN ppm.	3000	-
Fuerza lixivante Jinchan ppm.	-	3000
Granulometría (%) malla -200.	91	91
pH de operación.	11	11
Peso de muestra mineral (kg).	1	1
Volumen de agua (L).	2	2
% de Sólidos.	33.33	33.33
Agitación mecánica (RPM).	760	760
Dilución (L/S).	2	2
Tiempo de lixiviación (horas).	28	28

Fuente: Autor

Tabla 10. *Parámetros prueba de lixiviación muestra MPA03-X7P*

Parámetros operacionales de prueba.	Muestra Código	
	MPA03-X7P (NaCN)	MPA03-X7P (Jinchan)
Fuerza lixivante NaCN ppm.	3000	-
Fuerza lixivante Jinchan ppm.	-	3000
Granulometría (%) malla -200.	98	98
pH de operación.	11	11
Peso de muestra mineral (kg).	1	1
Volumen de agua (L).	2	2
% de Sólidos.	33.33	33.33
Agitación mecánica (RPM).	760	760
Dilución (L/S).	2	2
Tiempo de lixiviación (horas).	30	30

Fuente: Autor.

Tabla 11. Parámetros prueba de lixiviación muestra MPA02 -X2AT

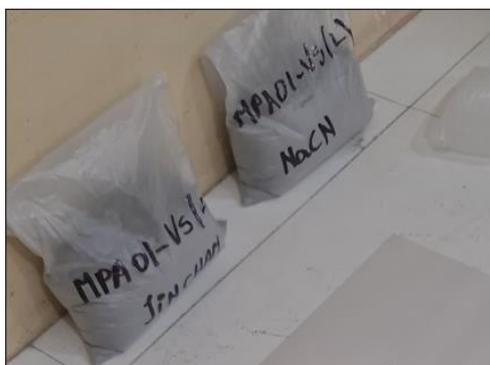
Parámetros operacionales de prueba.	Muestra Código	
	MPA04-X7(2) (NaCN)	MPA04-X7(2) (Jinchan)
Fuerza lixivante NaCN ppm.	3000	-
Fuerza lixivante Jinchan ppm.	-	3000
Granulometría (%) malla -200.	86	86
pH de operación.	11	11
Peso de muestra mineral (kg).	1	1
Volumen de agua (L).	2	2
% de Solidos.	33.33	33.33
Agitación mecánica (RPM).	760	760
Dilución (L/S).	2	2
Tiempo de lixiviación (horas).	30	30

Fuente: Autor

Procedimiento.

Con la conminución del mineral que se realizó para el cumplimiento del primer objetivo se procedió a la preparación de pulpas, las mismas que se las utilizó dentro de las pruebas de lixiviación por agitación mecánica, las pulpas fueron preparadas con porciones de mineral de 1 Kg malla -200 para las pruebas con los agentes lixiviantes NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchan como se observa en la figura 47.

Figura 47. Mineral reducido a malla -200 por agente lixivante.



Nota: La imagen representa el mineral pasante por la malla -200, se preparó un peso de 1kg por agente lixivante (NaCN y Jinchan) para el proceso de lixiviación.

Las pruebas de lixiviación para determinar consumos de Cianuro de Sodio y el agente lixivante Jinchan se realizaron en un reactor de 3000 ml de capacidad, la prueba será por agitación mecánica a una revolución de 720 rpm, como se puede observar en la figura 48 se encuentran los reactores listos para la agitación.

El ensayo de lixiviación con NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchan se lo realizó mediante un proceso discontinuo a una concentración excesiva de agentes lixiviantes para los ensayos experimentales, esto debido a que no se conoce el comportamiento puntual del mineral de investigación proveniente de mina con los agentes lixiviantes, esto además permitió que en el proceso se quede sin agente lixivante y de esa forma se evitar se pierda la cinética.

Figura 48. Agitación mecánica, reactores.



Nota: La imagen representa a los agitadores mecánicos y los reactores cargados con la solución lixivante para el proceso de agitación.

Las pruebas realizadas con NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchan en las concentraciones y disoluciones fueron determinadas bajo el diseño experimental y condiciones operacionales que mantiene la empresa Agrimroc en su laboratorio.

Para el inicio de la prueba se cargó el reactor con 2000 ml de agua destilada esta cantidad está considerada al porcentaje de solidos de 33,33% que se señala en los parámetros

operacionales, tanto para las pruebas con NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchuan. Después se colocó un peso calculado de cada una de las muestras minerales a un nivel de 33,33% de sólidos de la muestra de 1000g de mineral como se muestra en la figura 49; además se añadió cal para el cianuro de sodio y Jinchuan empezando la agitación.

Figura 49. Muestra mineral 1000 g en reactor.



Nota: La imagen representa a los reactores cargados con el mineral pulverizado y cal para una concentración de sólidos del 33.33%.

Se peso una cantidad de NaCN (Cianuro de Sodio) de 3000 ppm y se las agrego dentro del reactor para el proceso de lixiviación como se observa en la figura 50.

Figura 50. Pesaje de NaCN.



Nota: la imagen representa el pesaje y adición de agente lixivante NaCN, al reactor para la agitación.

Para el pesaje del Jinchan previamente se necesita retirar la muestra del agente químico del empaque original en el que llega como se muestra en la figura 51, para luego ubicarlo en un recipiente con tapa, esto permitió su manipulación con mayor facilidad. De igual forma se obtuvo una muestra de 3000ppm de Jinchan que fue pesado y agregado en el reactor como se observa la figura 52.

Figura 51. Agente lixivante Jinchan.



Figura 52. Pesaje agente lixivante Jinchan.



Para el manejo de los agentes lixiviantes como el NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchan es necesario mantener los EPP, para evitar algún riesgo para la salud.

Se ubico y acondiciono los reactores en los agitadores como se observa en la figura 53, en este caso al tener la solución de 2000ml dentro de los reactores. La agitación empezó después de que se añadieron NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchan, así como cal y el agua.

Figura 53. Acondicionamiento para agitación mecánica.



Los parámetros que se consideraron en el proceso de lixiviación son los siguientes: porcentaje de sólidos; granulometría; concentración de cianuro de sodio y Jinchan mg/l; tiempos de reacción; la temperatura fue controlada con un dispositivo multiparámetros a una temperatura entre los 21 y 23 °C o temperatura ambiente; pH; velocidad de agitación mecánica.

Después de 30 minutos a 1 hora de agitación se verificó el pH, y se extrajo muestras a intervalos determinados cada 2 horas de la pulpa de lixiviación para el consumo de CN^- (cianuro libre) y Jinchan esto por un periodo máximo de entre 6 a 8 horas.

Se filtro la muestra cómo se observa en la figura 54 y los filtrados resultantes se analizó cianuro, para esto se tituló la muestra con nitrato de plata (AgNO_3), y yoduro de

potasio como indicador. La concentración en ppm de oro se obtuvo por el método AAS, las muestras tomadas para el análisis de oro se hicieron a intervalos de dos a cuatro horas.

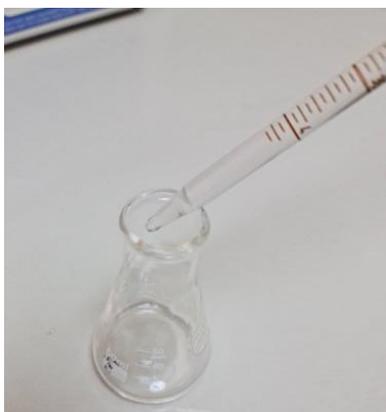
Figura 54. Filtrado de muestra para análisis.



Nota: La imagen representa la solución lixivante extraída y filtrada del reactor, de 20ml, que pasará una parte de 10 ml para el análisis de consumo de CN^- (cianuro libre) y Jinchuan la otra parte de 10ml servirá para la cinética de lixiviación.

Para el análisis de consumo de agentes lixiviantes se tomó 10 ml de muestra filtrada y separada de los sólidos que se muestra en la figura 55.

Figura 55. Muestras para titulación.



Nota: La imagen representa la colocación de solución cianurada para la titulación con AgNO_3 , la cantidad es de 10 cm^3 .

Las cantidades para la titulación es de 4,33g/l de AgNO₃ que se colocó en un frasco volumétrico de un litro y se le agregó agua destilada hasta el aforo de un litro, a esto se le agregó 4 gotas de yoduro de potasio, para determinar el gasto.

Para el cálculo:

$$CN^- \text{ Libre} = \frac{\text{gasto del AgNO}_3 \times \text{Titulo} \times 1000}{\text{Volumen Muestra}}$$

El gasto de AgNO₃ se lo analizó en la titulación de CN⁻, la solución a analizar de CN⁻ se colocó en un matraz Erlenmeyer, y se aumentó lentamente el nitrato de plata de la bureta y se agitó el matraz hasta que apareció coloración amarilla bajo, como se observa en la figura 56 y 57, luego se mide los ml de nitrato de plata utilizado de la bureta, obteniendo el gasto de AgNO₃, esto permitió saber el consumo de CN⁻.

Figura 56. Titulación NaCN y Jinchan.



Nota: La imagen representa el proceso de titulación del para el NaCN y Jinchan, con nitrato de plata y yoduro de potasio como indicador, al momento del viraje.

Figura 57. Punto de viraje titulación NaCN y Jinchán.

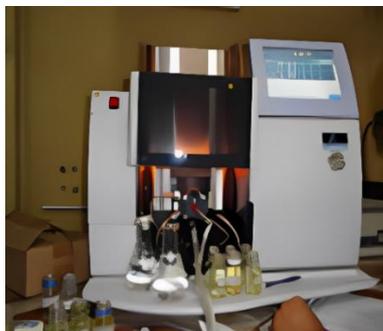


Nota: La imagen representa el punto de viraje al momento de la titulación con NaCN y Jinchán, que es el punto de cambio o variación de color como indicador y término de la titulación.

Materiales.

Equipo de absorción atómica. (AAS-200) se muestra en la figura 58, fioles, H₂O destilada, blanco ácido (HCl al 10%), estándares de 2 ppm, lámpara de Oro, bureta, matraz, agitador, filtros, baso de precipitación, embudo.

Figura 58. Equipo de AAS-200.



Reactivos químicos.

Nitrato de plata (AgNO₃), ácido nítrico diluido (HNO₃ 15% - 20%), Yoduro de potasio, blanco ácido (HCl al 10%), H₂O destilada.

5.5. Metodología para el tercer objetivo.

Se utilizó 1 Kg de muestra previamente preparada en el proceso de conminución señalado en el desarrollo del primer objetivo, para el tratamiento del mineral se lo realizó con cianuración convencional y el uso de Jinchan.

En este paso el tiempo de residencia fue de 28 a 30 horas esto debido a que son los tiempos de trabajo en el proceso de lixiviación dentro de planta, y cada dos horas se obtuvo muestras de 20 ml como se muestra en la figura 54, esto se debe a que los primeros 10 ml sirven para la titulación con nitrato de plata y los otros 10 ml pasa al análisis por AAs como se muestra en la figura 59.

Con estos datos se obtuvo el porcentaje de disolución de oro hecho por el NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchan. En este punto, se obtuvo la cinética de lixiviación entre el porcentaje en ppm de oro disuelto en función del tiempo para determinar de esta forma la efectividad de los agentes lixiviantes, en este paso se tomó en cuenta lo siguiente:

La disolución se consideró el 0.15% de NaCN (Cianuro de Sodio), y para la velocidad de disolución se tomó alícuotas de dos a cuatro horas para esta valoración, esto permitió determinar en qué tiempo se realiza la disolución máxima de oro.

Figura 59. Muestras lixiviantes a intervalos.



Nota: La imagen representa las alícuotas tomadas a intervalos de 2 horas de la agitación mecánica en el proceso de lixiviación con los agentes lixiviantes NaCN y Jinchan.

El tamizado o porcentaje de malla también fue considerado para el proceso de lixiviación en este caso la malla valorada es (-200), esto contribuyó a que exista una mayor liberación de oro para su recuperación ver en el Anexo 8.

Materiales y equipos utilizados para objetivos 2 y 3.

Reactores 3000 ml, balanza, espátula, mascarilla, guantes, vaso de precipitación, pipeta, bureta, embudo, matraz, peachímetro, papel indicador pH, compresor GAST, agitador de pruebas con motor de 0,5 Hp.

Reactivos utilizados y soluciones para los objetivos 2 y 3.

Cianuro de sodio, agente lixiviante Jinchuan, cal, agua destilada, nitrato de plata, nitrato de potasio, yoduro de potasio.

6. Resultados

6.1. Resultados ensayo al fuego.

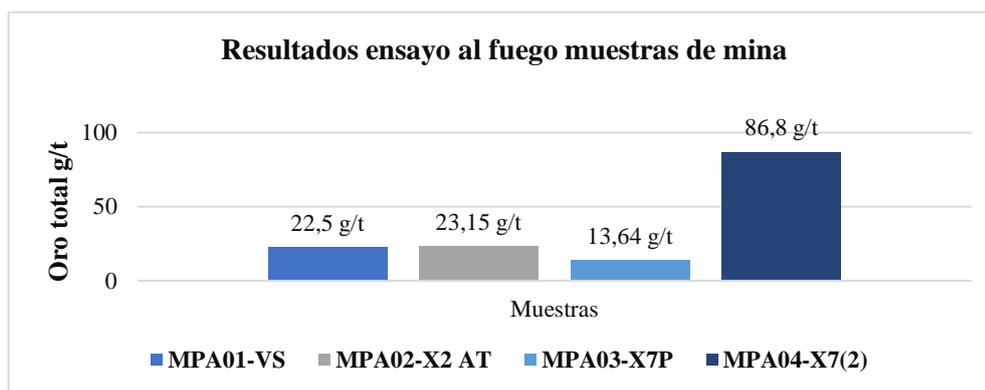
Los resultados obtenidos del mineral estudiado de cada muestra de mina mediante el protocolo de muestreo y el ensayo al fuego descrito en el literal 5.2.2; nos permiten obtener un balance de la cantidad de oro presente en gramos por tonelada, el cual se observa en la tabla 12 y en su representación gráfica en la figura 60.

Tabla 12. Resultados muestras, ensayo al fuego

Nº	Código.	Peso botón(g)	Oro total (g/t)	Oro total ppm.
1	MPA01-VS	0.00039	22.50	22500
2	MPA02-X2 AT	0.00041	23.15	23150
3	MPA03-X7P	0.00021	13.64	13640
4	MPA04-X7(2)	0.0016	86.80	86800

Fuente: Autor.

Figura 60. Representación gráfica de resultados; ensayo al fuego.



Nota: La figura representa los contenidos en gramos por tonelada de oro en cada muestra procesada de mina y que fue sometida a ensayo al fuego.

Los resultados obtenidos en las pruebas de ensayo al fuego realizadas a las 4 muestras provenientes de la mina “Las Paralelas” revelan un contenido de oro mayoritario para la muestra MPA04-X7(2) (veta4) esta muestra corresponde a la veta X7(2), su potencia es de 16cm, sus datos estructurales N30E/31E, tiene asociaciones de cuarzo, pirita, carbonatos,

clorita, y se observa oro nativo laminado menor <1mm (la caracterización macroscópica de todas las muestras se puede observar el Anexo. 7 con más detalle).

La muestra MPA03-X7P (veta 3) obtiene el menor contenido de oro total, esta y se tomó de la veta X7 prolongación, está ubicada a unos 1270 metros aproximadamente de la bocamina de acarreo principal, tiene una potencia de 19cm y sus datos estructurales N08E/44W; en esta muestra se observa una asociación mineralógica de cuarzo, carbonatos, clorita, pirita y arsenopirita está en mayor presencia.

En el ensayo de la muestra MPA02-X2 AT (veta 2) se obtiene una ley de oro total de 23,15 g/t, esta muestra corresponde a la veta denominada Veta alta X-2, con una potencia de 25cm, se encuentran cercanas relativamente a superficie y sus datos estructurales N10W/18E, la observación de su asociación mineralógica destaca pirita, cuarzo, carbonatos calcita, moscovita, no se observa a simple vista arsenopirita.

La ley obtenida en oro total de la muestra MPA01 -VS (veta1), es de 22,5 g/t, esta muestra es tomada de la veta denominada Veta San Antonio esta veta se encuentra al igual que la Veta alta del X-2 en la misma cota, tiene una potencia aproximada de 40cm sus datos estructurales N58E/22SE; dentro de sus asociaciones se observa minerales de pirita, arsenopirita, cuarzo, carbonatos.

Las muestras MPA01 -VS (veta 1) y MPA02-X2 AT (veta 2) muestran una similitud en su contenido de oro, cabe señalar que estas vetas se encuentran relativamente a la misma profundidad y están cercanas a la superficie siendo más antiguas, estas pertenecen a un primer evento de mineralización en el distrito, se ha observado en otros sectores de explotación contenidos de oro similares al de la muestra MPA04-X7(2) (veta4); cabe señalar en este punto que la muestra MPA04-X7(2) (veta4) pertenece a este primer evento pero su contenido de oro es mayor a las vetas anteriores señaladas y su ubicación esta más profunda ya que esta veta no pudo llegar aflorar en superficie; así mismo tienen su similitud en sus características mineralógicas, y en sus datos estructurales.

La muestra MPA03-X7P (veta 3), pertenece a un segundo evento de mineralización en el área minera, intruyendo a las vetas más antiguas que se señaló en párrafo anterior, estas traen consigo una mayor cantidad de minerales de sulfuros y un menor contenido de oro.

Cabe señalar que en la mina los contenidos de oro en cada veta no son constantes, siendo de carácter variable esto también influye en la diferenciación de en los contenidos de oro de las muestras analizadas.

6.2. Resultados del consumo de Cianuro de Sodio y Jinchán.

Una vez que se ha obtenido los resultados de los contenidos en oro total de las muestras por ensayo al fuego, se procede a las pruebas de lixiviación mediante agitación mecánica con NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchán, en donde se ha obtenido los consumos de agentes lixiviantes utilizados en el proceso y el porcentaje de disolución para determinar su eficiencia.

6.2.1. Consumos de Cianuro de Sodio y Jinchán muestra MPA01-VS.

Los consumos de agentes lixiviantes tanto para el NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchán se puede observar en las tablas 13 y 14, en donde se señalan sus variables cuantitativas como: el total de adición en función al tiempo, además del total en kilogramos por tonelada que se necesitaría en el proceso en planta, estos representados en la figura 61 donde muestran de forma rápida los cambios de tendencia de los datos.

Tabla 13. Consumo NaCN por tonelada mineral muestra MPA01-VS

Total, adición NaCN (g).	3,20
Tiempo (h).	8
Peso muestra Mineral (g).	1000
Total, Kg/Tm.	3,20

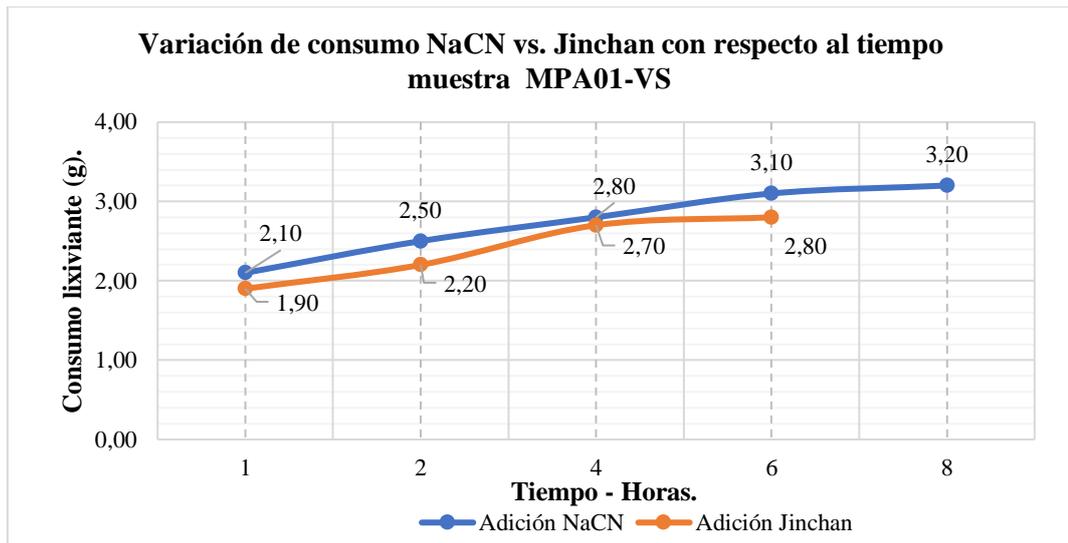
Fuente: Autor

Tabla 14. Consumo Jinchan por tonelada mineral muestra MPA01-VS

Total, adición Jinchan (g).	2,8
Tiempo (h).	6
Peso muestra Mineral (g).	1000
Total, Kg/Tm.	2,8

Fuente: Autor

Figura 61. Comparación consumo de agentes lixiviantes muestra MPA01-VS.



Nota: La imagen representa el comportamiento entre agentes lixiviantes NaCN y Jinchan con respecto al tiempo.

En los datos obtenidos de la muestra ensayada MPA01-VS con 1000 g, se observa un mayor consumo de NaCN (Cianuro de Sodio) con un total de 3,20 g en un tiempo de 8 horas, mientras que con 1000 g de muestra ensayada la cantidad de consumo de Jinchan es menor con un total de 2,80 g en un tiempo de 6 horas, es decir que la figura 61 nos muestra que el consumo de Jinchan y el tiempo de consumo es menor en comparación con el NaCN (Cianuro de sodio).

6.2.2. Consumos de Cianuro de Sodio y Jinchuan muestra MPA02-X2 AT.

Los datos obtenidos se los pueden observar en las tablas 15 y 16 respectivamente en donde se señalan sus variables cuantitativas como: el total de adición que está en función al tiempo, además del total en kilogramos por tonelada que se necesitaría en el proceso en planta, estos están representados en la figura 62, donde se muestra de forma rápida los cambios de tendencia de los datos.

Tabla 15. Consumo NaCN por tonelada mineral muestra MPA02-X2 AT

Total, adición Jinchuan (g).	3
Factor Conversión (kg/Tm).	1000
Tiempo (h).	8
Peso muestra Mineral (g).	1000
Total, Kg/Tm.	3

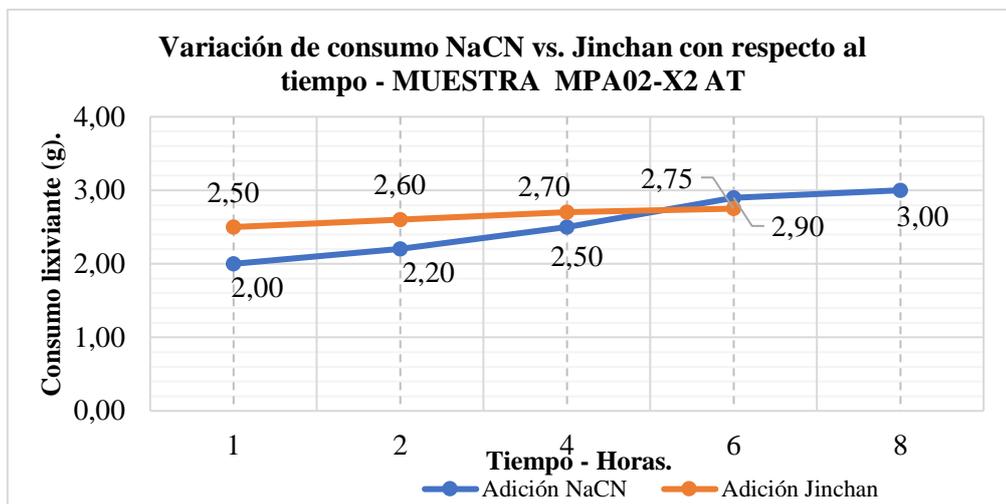
Fuente: Autor

Tabla 16. Consumo Jinchuan por tonelada mineral muestra MPA02-X2 AT

Total, adición Jinchuan (g).	2,75
Tiempo (h).	6
Peso muestra Mineral (g).	1000
Total, Kg/Tm.	2,75

Fuente: Autor

Figura 62. Comparación consumo de agentes lixiviantes muestra MPA02-X2 AT



Nota: La imagen representa el comportamiento entre agentes lixiviantes NaCN y Jinchán con respecto al tiempo.

Los consumos de NaCN (Cianuro de Sodio) de la muestra ensayada MPA02-X2 AT con 1000 g, son de 3 g en un tiempo de 8 horas, sobrepasando con 0,45 g en el consumo al agente lixiviante Jinchán con una muestra ensayada de 1000 g; registra un consumo menor de 2,75 g adicionados en un tiempo de 6 horas, de esta forma la figura 62 nos muestra un consumo mayor de NaCN (Cianuro de Sodio) en un tiempo mayor.

6.2.3. Consumos de Cianuro de Sodio y Jinchán muestra MPA03-X7P.

Como se puede observar en las tablas 17 y 18 los datos correspondientes de la muestra ensayada MPA03-X7P con 1000 g, presenta consumos de NaCN (Cianuro de Sodio) adicionados de 3,4 g en un periodo de 10 horas, mientras que con 1000 g el consumo de Jinchán es de 2,9 g en el mismo periodo, la figura 63 muestra de forma rápida los cambios de tendencia de los datos.

Tabla 17. Consumo NaCN por tonelada mineral muestra MPA03-X7P

Total, adición Jinchán (g).	3,4
Tiempo (h).	8
Peso muestra Mineral (g).	1000
Total, Kg/Tm.	3,4

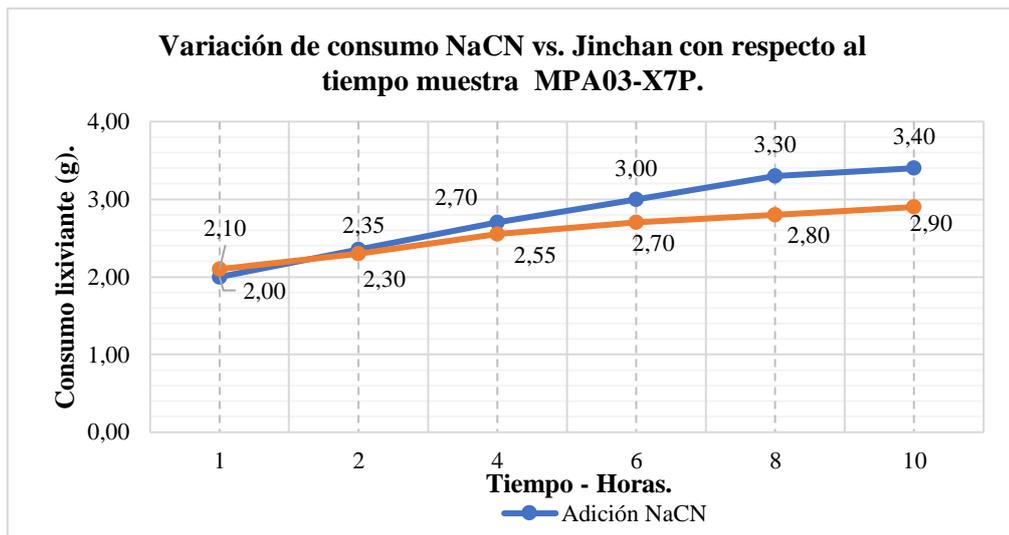
Fuente: Autor

Tabla 18. Consumo Jinchán por tonelada mineral muestra MPA03-X7P

Total, adición Jinchán (g).	2,9
Tiempo (h).	6
Peso muestra Mineral (g).	1000
Total, Kg/Tm.	2,9

Fuente: Autor.

Figura 63. Comparación consumo de agentes lixiviantes muestra MPA03-X7P



Nota: La imagen representa el comportamiento entre agentes lixiviantes NaCN y jinchán con respecto al tiempo.

La figura 63, nos muestra que en un periodo de 2 horas los agentes lixiviantes son consumidos casi por igual con una leve diferencia de 0,1g, aunque a las 10 horas se destaca un consumo mayor para NaCN (Cianuro de Sodio) dentro del proceso.

6.2.4. Consumos de Cianuro de Sodio y Jinchán muestra MPA04-X7(2).

En el ensayo de lixiviación de la muestra MPA04-X7(2), para el consumo de agentes lixiviantes los resultados se los pueden observar en las tablas 19 y 20 respectivamente aquí se señala sus variables cuantitativas como: el total de adición que están en función al tiempo, además del total en kilogramos por tonelada que se necesitaría en el proceso en planta, estos

representados en la figura 64 donde muestran de forma rápida los cambios de tendencia de los datos.

Tabla 19. Consumo NaCN por tonelada mineral muestra MPA04-X7(2)

Total, adición Jinchan (g).	2,85
Tiempo (h).	8
Peso muestra Mineral (g).	1000
Total, Kg/Tm.	2,85

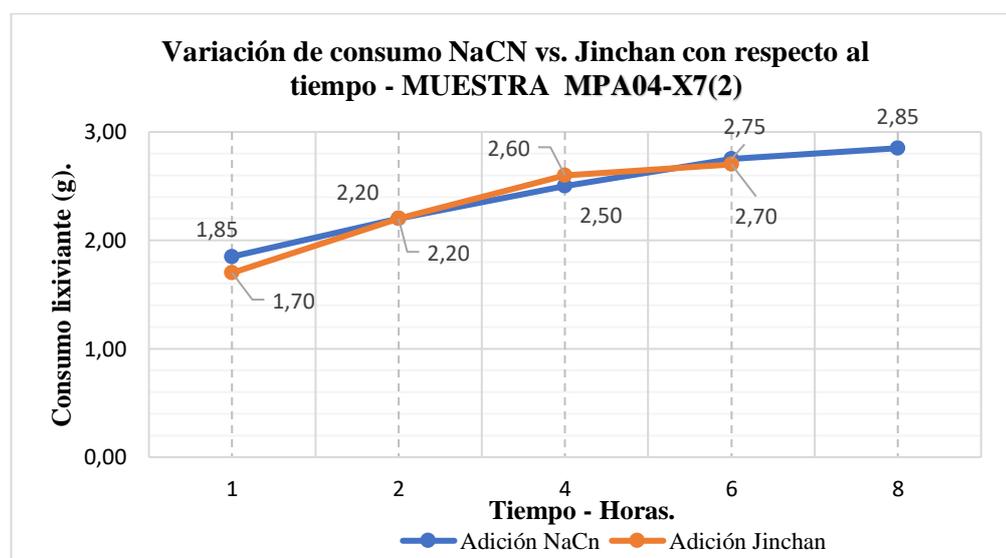
Fuente: Autor

Tabla 20. Consumo Jinchan por tonelada mineral muestra MPA04-X7(2)

Total, adición Jinchan (g).	2,7
Tiempo (h).	6
Peso muestra Mineral (g).	1000
Total, Kg/Tm.	2,7

Fuente: Autor

Figura 64. Comparación consumo de agentes lixiviantes muestra MPA04-X7(2)

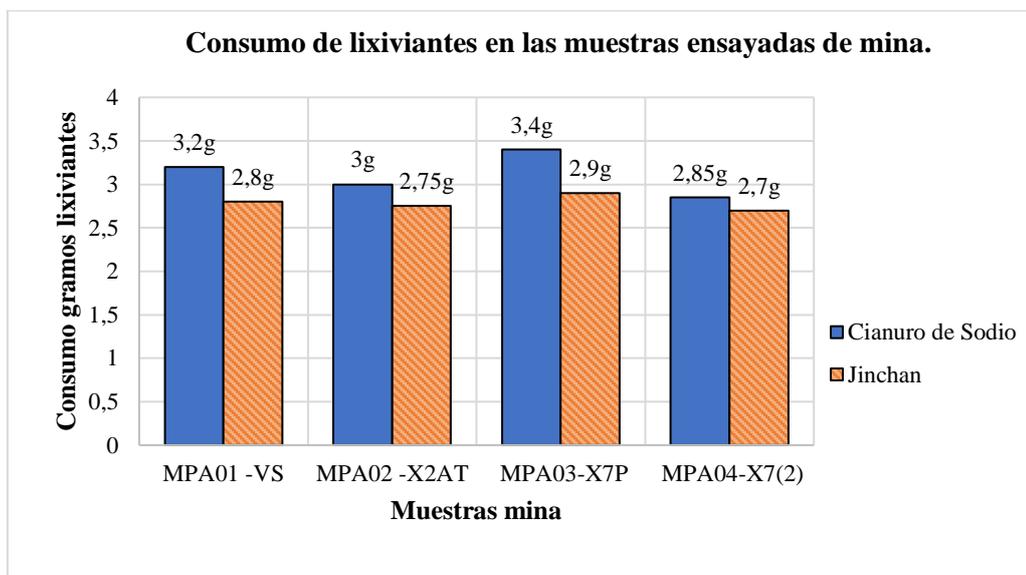


Nota: La imagen representa el comportamiento entre agentes lixiviantes NaCN y Jinchan con respecto al tiempo.

Los consumos registrados por la muestra ensayada MPA04-X7(2) con 1000 g, se puede observar en la figura 64 señalando que el consumo de NaCN (Cianuro de Sodio) es de 2.85 g teniendo un aumento de 0,29 g con respecto al Jinchan en y en un tiempo de 8 horas, mientras que el consumo de Jinchan con 1000 g de muestra mineral se registró un consumo de 2.7 g en un tiempo de 6 horas, estos datos muestran un mayor rendimiento.

A continuación, se puede observar en la figura 65 el resumen del consumo de agentes lixiviantes.

Figura 65. Resumen, comparación consumo de NaCN y Jinchan.



Como observamos en la figura 65 la muestra MPA01-VS y la muestra MPA03-X7P tiene los mayores consumos de lixiviantes, esto debido a que tienen mayor presencia de minerales cianicidas y otros elementos como antimonio; pero a pesar de esto Jinchan tienen un mejor rendimiento.

En tanto que la muestra MPA02-X2AT presenta un consumo menor ya que la muestra presenta contenidos bajos de minerales cianicidas al igual que la muestra MPA04-X7(2); esto disminuye el consumo de lixivianante, en este caso Jinchan tiene un mejor rendimiento dentro del ensayo.

6.3. Resultados comparación de la lixiviación entre Cianuro de Sodio vs. Jinchuan.

Los resultados del estudio de lixiviación por agitación mecánica para la determinación de la eficiencia de los agentes lixiviantes aplicada a las cuatro muestras de mina se presentan a continuación:

6.3.1. Cinética de lixiviación con NaCN y Jinchuan muestra MPA01-VS.

El ensayo de lixiviación realizado a la muestra MPA01-VS se ha obtenido los siguientes datos mostrados en la tabla 21, aquí se señala las variables cuantitativas obtenidas para la determinación de su efectividad, así mismo se consideró una malla -200 con un pasante de 89% a una concentración de NaCN (Cianuro de Sodio) de 1,5 g/l.

La tabla 21 nos muestra que aumenta la disolución de oro (ppm) a medida que aumenta el tiempo de lixiviación, obteniendo su mayor tasa de disolución porcentual a las 30 horas.

Tabla 21. Control de disolución con NaCN muestra MPA01-VS

Horas	Ley Au (ppm)	Ley Au (g/t)	% Disolución
0	0,00	0,00	0,00
1	2,10	4,20	18,67
2	2,70	5,40	24,00
4	2,78	5,56	24,71
6	3,02	6,04	26,84
10	4,29	8,58	38,13
14	5,00	10,00	44,44
18	5,85	11,70	52,00
24	6,18	12,36	54,93
30	7,29	14,58	64,80

Fuente: Autor

La tabla 22 muestra que el porcentaje total de disolución por parte de NaCN (Cianuro de Sodio) en la muestra MPA01-VS fue de un 64,8%; recuperándose de la cabeza calculada 14.58 g/t; mientras que un 35,2% de Au de la cabeza calculada irían a los relaves.

Tabla 22. Balance Metalúrgico MPA01-VS con NaCN

Descripción	Producto final	Leyes Au		% Disolución
		ppm	mg	
Solución Final (L)	2	7,29	14580	64,80
Colas o Relaves (Kg)	1	7,92	7920	35,20
Cabeza Calculada (g/t)	22,5		22500	Total=100

Fuente: Autor

A continuación, en la tabla 23 se muestra el detalle de las variables cuantitativas obtenidas en el control de disolución a la que se sometió la muestra MPA01-VS, con el agente lixivante Jinchán, se consideró una malla -200 con un pasante de 89% y una concentración de 1,5 g/l y en la tabla 24 el balance metalúrgico con el porcentaje de disolución.

En la tabla 23 evidenciamos que al utilizar el lixivante Jinchán a medida que pasa el tiempo de lixiviación aumenta la disolución de oro (ppm), obteniendo su tasa máxima de disolución porcentual a las 30 horas en el ensayo de lixiviación.

Tabla 23. Control de disolución con Jinchán muestra MPA01-VS

Horas	Ley Au (ppm)	Ley Au (g/t)	% Disolución
0	0,00	0,00	0,00
1	2,70	5,40	24,00
2	3,67	7,34	32,62
4	4,56	9,12	40,53
6	5,71	11,42	50,76
10	7,21	14,42	64,09
14	7,50	15,00	66,67
18	7,80	15,60	69,33
24	7,82	15,64	69,51
30	7,85	15,70	69,78

Fuente: Autor

La tabla 24 muestra el balance metalúrgico en donde consta el porcentaje total de disolución por parte de agente lixiviante Jinchan en la muestra MPA01-VS fue de 69,78%; recuperándose del total de la cabeza calculada 15,70 g/t; quedando un 30,22% de la cabeza calculada que irían a los relaves.

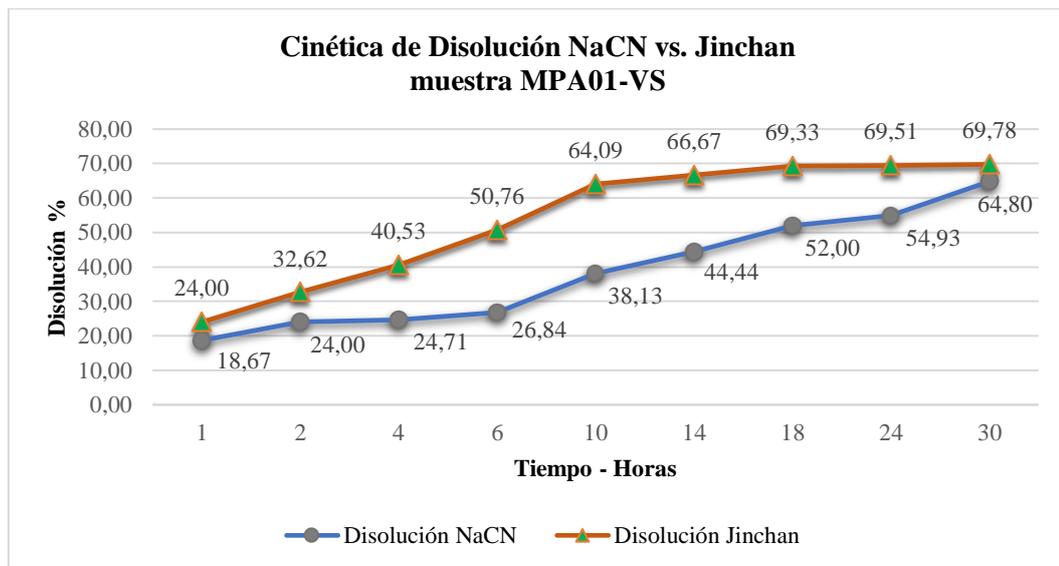
Tabla 24. Balance Metalúrgico MPA01-VS con Jinchan

Descripción	Producto final	Leyes Au		% Disolución
		ppm	mg	
Solución Final (L)	2	7,85	15700	69,78
Colas o Relaves (Kg)	1	6,80	6800	30,22
Cabeza Calculada (g/t)	22,5		22500	Total=100

Fuente: Autor

La comparación en el porcentaje de disolución total entre los agentes lixiviantes NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchan de la muestra ensayada MPA01-VS se la puede observar a continuación en la figura 65.

Figura 66. Comparativa de disolución entre NaCN vs. Jinchan en la muestra MPA01-VS, y el tiempo.



Como se puede observar en la figura 65 el agente lixiviante Jinchan desde el inicio del proceso tiene un porcentaje mayor de disolución y una mayor recuperación en el tiempo;

además tiene un comportamiento asintótico a estabilizarse entre las 10 y 14 horas manteniendo una tendencia hasta el final del proceso; a diferencia del NaCN (Cianuro de Sodio) que a partir del inicio del proceso tiene una menor recuperación y según su curva no tiene una tendencia a estabilizarse; por lo que al parecer necesitaría un poco más de tiempo para seguir aumentando la disolución de Au en la muestra.

6.3.2. Cinética de lixiviación con NaCN y Jinchan muestra MPA02-X2.

El ensayo de lixiviación aplicado a la muestra MPA02-X2 se ha obtenido los siguientes que se muestran en la tabla 25, aquí se señala las variables cuantitativas obtenidas en función al tiempo; así mismo se consideró una malla -200 con un pasante de 91% y una concentración de NaCN (Cianuro de Sodio) de 1,5 g/l a un pH de 11.

La tabla 25 nos muestra que a medida que pasa el tiempo de lixiviación aumenta la disolución de oro (ppm), obteniendo su tasa máxima de disolución porcentual a las 28 horas en el ensayo de lixiviación.

Tabla 25. Control de disolución con NaCN muestra MPA02-X2

Horas	Ley Au (ppm)	Ley Au (g/t)	Disolución %
0	0,00	0,00	0,00
2	7,10	13,26	57,28
4	8,13	14,20	61,34
6	8,45	16,26	70,24
8	8,81	16,90	73,00
10	9,10	17,62	76,11
14	9,80	18,20	78,62
18	10,00	19,60	84,67
20	10,30	20,00	86,39
24	10,30	20,60	88,98
26	10,30	20,60	88,98
28	10,30	20,60	88,98

Fuente: Autor

En la tabla 26 se observa las variables para el balance metalúrgico y el resultado total del porcentaje de disolución para el NaCN (Cianuro de Sodio) en función a su ley de cabeza calculada, la cual nos indica que el porcentaje de disolución en la muestra MPA02-X2 es de

88,98% recuperándose 20,60 g/t de mineral, mientras que el 11,02% de Au de la cabeza calculada irían a los relaves.

Tabla 26. Balance Metalúrgico MPA02-X2 con NaCN

Descripción	Producto final	Leyes Au		% Disolución
		ppm	mg	
Solución Final (L)	2	10,30	20598	88,98
Colas o Relaves (Kg)	1	2,55	2552	11,02
Cabeza Calculada (g/t)	23,15		23150	Total=100

Fuente: Autor

A continuación, en la tabla 27 se muestra el detalle de las variables cuantitativas obtenidas en el control de disolución, a la fue sometida la muestra MPA02-X con el agente lixivante Jinchuan, se consideró una malla -200 con un pasante de 91% y una concentración de 1,5 g/l a un pH de 11.

La tabla 27 nos muestra la disolución de oro (ppm), obteniendo su tasa máxima de disolución porcentual a las 28 horas en el ensayo de lixiviación.

Tabla 27. Control de disolución con Jinchuan muestra MPA02-X2

Horas	Ley Au (ppm)	Ley Au (g/t)	Disolución %
0	0,00	0,00	0,00
2	6,81	13,62	58,83
4	7,77	15,54	67,13
6	8,34	16,68	72,05
8	9,60	19,20	82,94
10	9,95	19,90	85,96
14	10,08	20,16	87,08
18	10,15	20,30	87,69
20	10,30	20,60	88,98
24	10,40	21,00	89,85
26	10,45	20,90	90,28
28	10,45	20,90	90,28

Fuente: Autor

En la tabla 28 se observa las variables para el balance metalúrgico y el resultado del porcentaje total de disolución para el Jinchuan, en función a su ley de cabeza calculada la cual nos indica que el porcentaje de disolución en la muestra MPA02-X2 es de 90,28%

recuperándose 20,90 g/t de mineral, mientras que el 09,72% de Au de la cabeza calculada irían a los relaves.

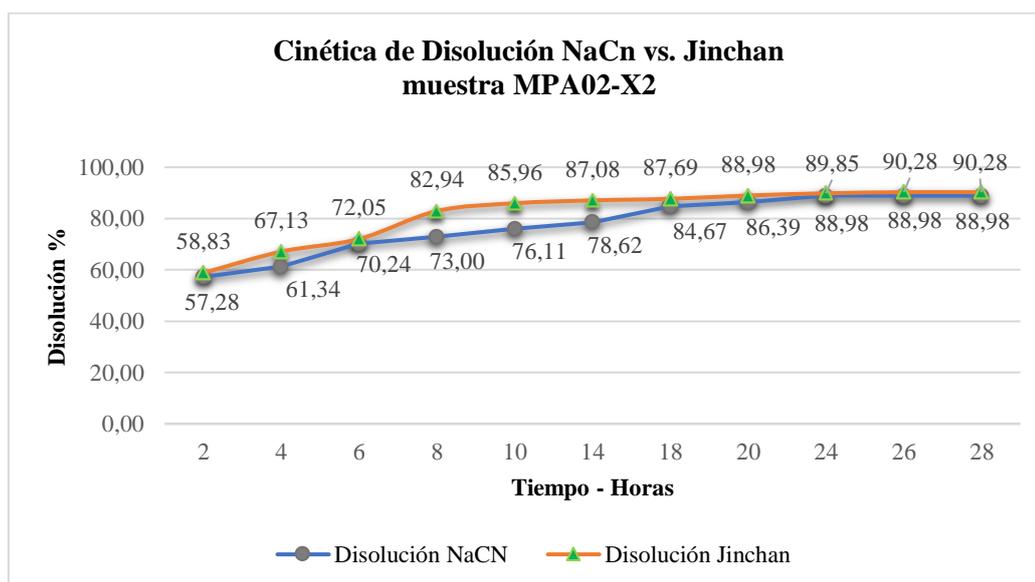
Tabla 28. Balance Metalúrgico MPA02-X2AT con Jinchan

Descripción	Producto final	Leyes Au		% Disolución
		ppm	mg	
Solución Final (L)	2	10,45	20900	90,28
Colas o Relaves (Kg)	1	2,25	2250	9,72
Cabeza Calculada (g/t)	23,15		23150	Total=100

Fuente: Autor

La comparación en el porcentaje de disolución total entre los agentes lixiviantes NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchan de la muestra ensayada MPA02-X2AT se la puede observar a continuación en la figura 66.

Figura 67. Comparativa de disolución entre NaCN vs. jinchan en la muestra MPA02-X2AT, y el tiempo.



Como se puede observar en la figura 66, el agente lixivante Jinchan en el inicio del proceso parte con un porcentaje mayor de disolución y mayor recuperación en el tiempo, además tiene un comportamiento asintótico entre las 8 y 10 horas manteniendo esta tendencia hasta el final del proceso, a diferencia del NaCN (Cianuro de Sodio) que desde el

inicio del proceso tiene una menor recuperación, su comportamiento asintótico es más tardío entre las 18 y 20 horas aproximadamente.

6.3.3. Cinética de lixiviación con NaCN y Jinchuan muestra MPA03-X7P.

En el ensayo de lixiviación aplicado a la muestra MPA03-X2 con NaCN (Cianuro de Sodio) los datos obtenidos se observan en la tabla 29; aquí se señalan las variables cuantitativas obtenidas, así mismo dentro de los datos operacionales se utilizó una malla - 200 con un pasante de 98% y una concentración de 1,5 g/l a un pH de 11.

La tabla 29 nos muestra la disolución de oro (ppm), obteniendo su tasa máxima de disolución porcentual a las 28 horas en el ensayo de lixiviación.

Tabla 29. Control de disolución con NaCN muestra MPA03-X7P

Horas	Ley Au (ppm)	Ley Au (g/t)	Disolución %
0	0,00	0,00	0,00
2	2,10	4,20	30,79
4	2,19	4,38	32,11
6	2,26	4,52	33,14
8	2,27	4,54	33,28
10	2,29	4,58	33,58
14	2,32	4,64	34,02
16	2,32	4,65	34,06
20	2,33	4,66	34,16
24	2,33	4,66	34,16
26	2,33	4,66	34,16
30	2,33	4,66	34,16

Fuente: Autor

En la tabla 30 se observa las variables para el balance metalúrgico y el resultado del porcentaje de disolución total para el NaCN (Cianuro de Sodio) en función a su ley de cabeza calculada, la cual nos indica que el porcentaje de disolución en la muestra MPA03-X7P es de 34,16% recuperándose 4,65g/t de mineral, mientras que el 65,84% de Au de la cabeza calculada irían a los relaves.

Tabla 30. Balance Metalúrgico MPA03-X7P con NaCN

Descripción	Producto final	Leyes Au		%
		ppm	mg	Disolución
Solución Final (L)	2	2,33	4660	34,16
Colas o Relaves (Kg)	1	8,98	8980	65,84
Cabeza Calculada (g/t)	13,64		13640	Total=100

Fuente: Autor

A continuación, en la tabla 31 se muestra el detalle de las variables cuantitativas obtenidas en el control de disolución a la que se sometió la muestra MPA03-X7P con el agente lixivante Jinchuan, se consideró una malla -200 con un pasante de 98% y una concentración de 1,5 g/l y en la tabla 32 se muestra el balance metalúrgico con el porcentaje de disolución total.

La tabla 31 nos muestra que entre mayor sea el tiempo de lixiviación aumenta la disolución de oro (ppm), obteniendo su tasa máxima de disolución porcentual a las 30 horas.

Tabla 31. Control de disolución con Jinchuan muestra MPA03-X7P

Horas	Ley Au (ppm)	Ley Au (g/t)	Disolución %
0	0,00	0,00	0,00
2	2,23	4,46	32,70
4	2,25	4,50	32,99
6	2,27	4,54	33,28
8	2,30	4,60	33,72
10	2,32	4,64	34,02
14	2,33	4,66	34,16
16	2,35	4,70	34,46
20	2,34	4,68	34,31
24	2,35	4,70	34,46
26	2,35	4,70	34,46
30	2,36	4,72	34,60

Fuente: Autor

En la tabla 32 se aprecia las variables del balance metalúrgico y el resultado del porcentaje de disolución total para el Jinchuan en función a su ley de cabeza calculada; la cual

nos indica que el porcentaje de disolución en la muestra MPA03-X7P es de 34.60% recuperándose 4,71 g/t de mineral; mientras que el 65,4% de Au de la cabeza calculada irían a los relaves.

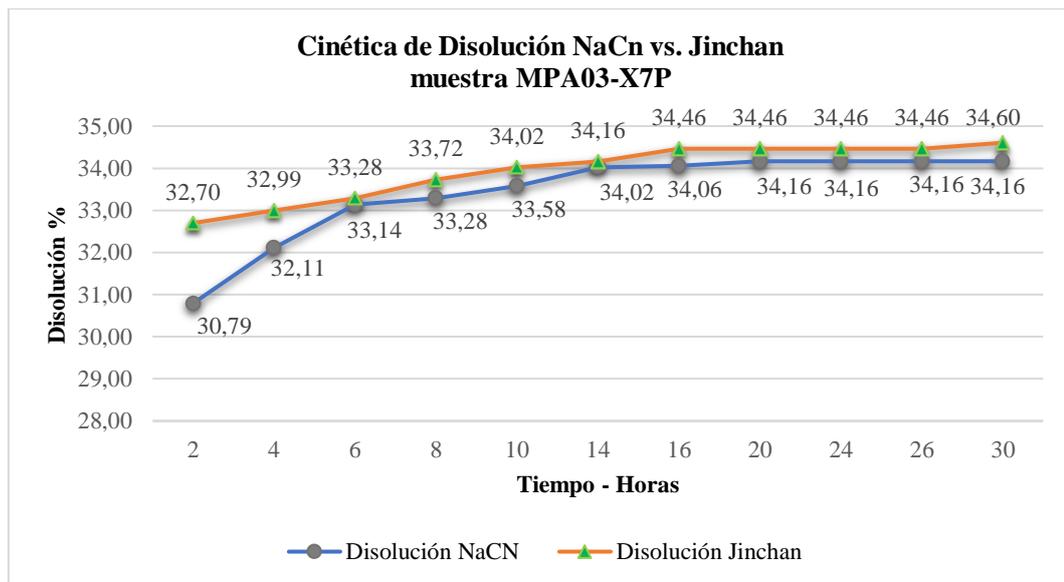
Tabla 32. Balance Metalúrgico MPA03-X7P con Jinchan

Descripción	Producto final	Leyes Au		%
		ppm	mg	Disolución
Solución Final (L)	2	2,36	4720	34,60
Colas o Relaves (Kg)	1	8,92	8920	65,40
Cabeza Calculada (g/t)	13,64		13640	Total=100

Fuente: Autor

La comparación en el porcentaje de disolución total entre los agentes lixiviantes NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchan para la muestra ensayada MPA03-X7P, se la puede observar a continuación en la figura 67.

Figura 68. Comparativa de disolución entre NaCN vs. Jinchan en la muestra MPA03-X7P, y el tiempo.



Como se puede observar en la figura 67, el agente lixiviante Jinchan en el inicio del proceso parte con porcentaje mayor de disolución y una mayor recuperación en el tiempo, además tiene un comportamiento asintótico entre las 14 y 16 horas y mantiene esta tendencia

hasta el final de la proceso, en cambio el NaCN (Cianuro de Sodio) en el inicio del proceso tiene una menor recuperación, y su comportamiento asintótico esta de igual forma entre las 14 y 16 horas muy similar al Jinchuan que además tiene una mejor disolución al final del proceso.

6.3.4. Cinética de lixiviación con NaCN y Jinchuan muestra MPA04-X7(2)

En el ensayo de lixiviación aplicado a la muestra MPA04-X7(2) con NaCN (Cianuro de Sodio), se ha obtenido los siguientes datos que podemos observar en la tabla 33; aquí se señala las variables cuantitativas que se obtuvo, y dentro de los datos operacionales que se utilizó fueron: malla -200 el pasante de 86%, a una concentración de 1,5 g/l a un pH de 11.

En la tabla 33 podemos observar el aumento disolución de oro (ppm) mientras se incrementa el tiempo, obteniendo su tasa máxima de disolución porcentual a las 30 horas en el ensayo de lixiviación.

Tabla 33. Control de disolución con NaCN muestra MPA04-X7(2)

Horas	Ley Au (ppm)	Ley Au (g/t)	Disolución %
0	0,00	0,00	0,00
2	17,88	35,76	41,20
4	21,00	42,00	48,39
6	24,45	48,90	56,34
8	27,89	55,78	64,26
10	33,00	66,00	76,04
14	36,60	73,20	84,33
18	36,90	73,80	85,02
24	37,00	74,00	85,25
26	38,00	76,00	87,55
30	40,00	80,00	92,17

Fuente: Autor

En la tabla 34 se observa las variables en el balance metalúrgico y el resultado del porcentaje total de disolución para el NaCN (Cianuro de Sodio) en función a su ley de cabeza calculada la cual nos indica que el porcentaje de disolución en la muestra MPA04-X7(2) es

del 92.17% recuperándose 80 g/t de mineral, mientras que el 7.83% de Au de la cabeza calculada irían a los relaves.

Tabla 34. Balance Metalúrgico MPA04-X7(2) con NaCN

Descripción	Producto final	Leyes Au		% Disolución
		ppm	mg	
Solución Final (L)	2	40,00	80000	92,17
Colas o Relaves (Kg)	1	6,80	6800	7,83
Cabeza Calculada (g/t)	86,80		86800	Total=100

Fuente: Autor

A continuación, en la tabla 35 se muestra el detalle de las variables cuantitativas obtenidas en el control de disolución a la que fue sometida la muestra MPA04-X7(2) con el agente lixivante Jinchuan, se consideró una malla -200 con un pasante de 86% y una concentración de 1,5 g/l a un pH de 11.

En la tabla 35 se visualiza el aumento disolución de oro (ppm) mientras va aumentando el tiempo, obteniendo su tasa máxima de disolución porcentual a las 30 horas en el ensayo de lixiviación.

Tabla 35. Control de disolución con Jinchuan muestra MPA04-X7(2)

Horas	Ley Au (ppm)	Ley Au (g/t)	Disolución %
0	0,00	0,00	0,00
2	18,00	36,00	41,47
4	21,04	42,08	48,48
6	24,10	48,20	55,53
8	26,01	52,02	59,93
10	26,25	52,50	60,48
14	27,80	55,60	64,06
18	33,60	67,20	77,42
24	37,60	75,20	86,64
26	38,90	77,80	89,63
30	41,00	82,00	94,47

Fuente: Autor

En la tabla 36 se aprecia las variables obtenidas para el balance metalúrgico de la muestra MPA04-X7(2) y el resultado del porcentaje total de disolución para el Jinchan, esto en función a su ley de cabeza calculada la cual nos indica que el porcentaje de disolución en la muestra es de 94.47% recuperándose 86.80 g/t de mineral, mientras que el 5.53 % de Au de la cabeza calculada irían a los relaves.

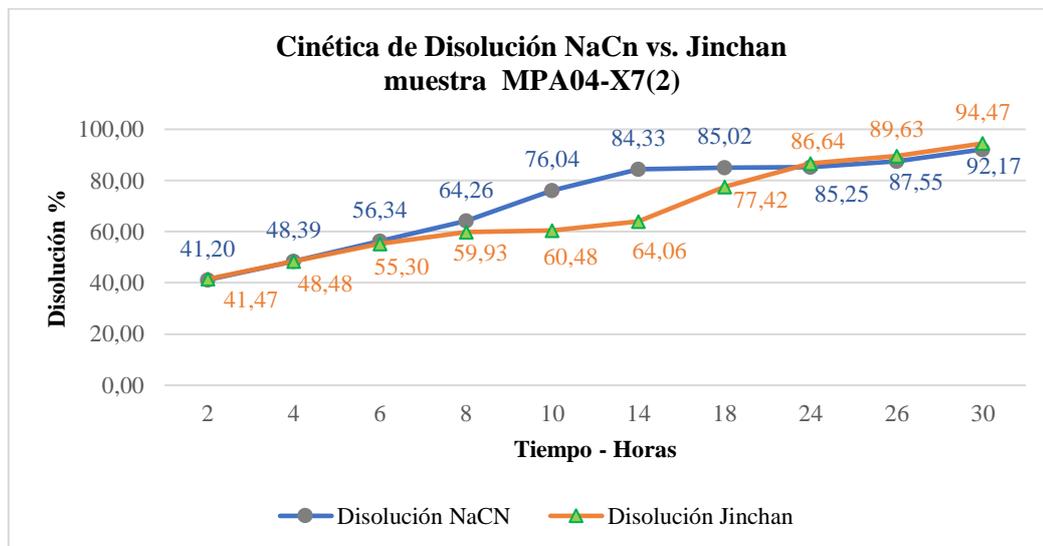
Tabla 36. Balance Metalúrgico MPA04-X7(2) con Jinchan

Descripción	Producto final	Leyes Au		% Disolución
		ppm	mg	
Solución Final (L)	2	41,00	82000	94,47
Colas o Relaves (Kg)	1	4,80	4800	5,53
Cabeza Calculada (g/t)	86,80		86800	Total=100

Fuente: Autor

La comparación en el porcentaje de disolución total entre los agentes lixiviantes NaCN (Cianuro de Sodio) y Jinchan para la muestra ensayada MPA04-X7(2), se la puede observar a continuación en la figura 67.

Figura 69. Comparativa de disolución entre NaCN vs. Jinchan en la muestra MPA04-X7(2), y el tiempo.



Como se puede observar en la figura 68, el agente lixiviante Jinchan en el inicio del proceso parte con un porcentaje levemente mayor de disolución, además su curva en la

cinética no tiene la tendencia en estabilizarse, por lo que parecería que necesitaría mayor tiempo de disolución, aunque su recuperación es mayor al final del proceso; en cambio el NaCN (Cianuro de Sodio) en el inicio del proceso tiene una menor recuperación, pero su comportamiento asintótico es más estable y notable observándose a partir de las 18 horas pero teniendo un menor porcentaje de disolución a partir de las 24 horas hasta el final del proceso.

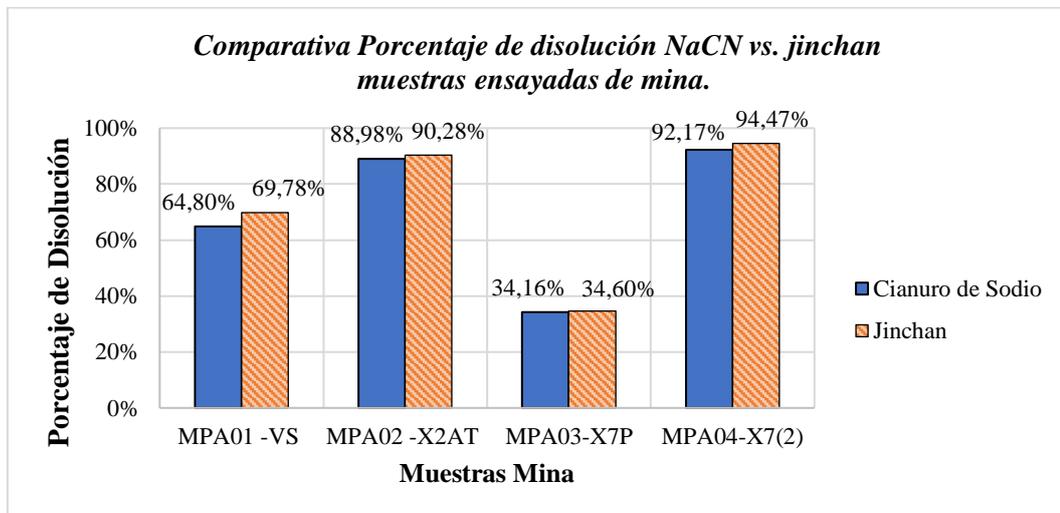
A continuación, se puede observar en la tabla 37, el resumen del porcentaje de disolución y en la figura 69 una comparativa en cada una de las muestras ensayada.

Tabla 37. Disolución NaCN vs. Jinchan en cada una de las muestras de mina

Código de la muestra	Disolución NaCN (%)	Disolución Jinchan (%)
MPA01 -VS	64,80%	69,78%
MPA02 -X2AT	88,98%	90,28%
MPA03-X7P	34,16%	34,60%
MPA04-X7(2)	92,17%	94,47%

Fuente: Autor

Figura 70. Resumen porcentaje de disolución NaCN vs. Jinchan muestras ensayadas de mina.



En la tabla 38 a continuación se puede observar el contenido de oro total de las muestras y la cantidad disuelta por cada uno de los agentes lixiviantes y la cantidad de Au que iría a las colas o relaves.

Tabla 38. Resumen, Oro total y disolución de las muestras ensayadas

Código de la muestra	Oro total (g/t)	Lixiviación Cianuro	Lixiviación Jinchan	Colas NaCN (g/t)	Colas Jinchan (g/t)
MPA01 -VS	22,5	14,58	15,7	7,92	6,8
MPA02 -X2AT	23,15	20,6	20,9	2,55	2,25
MPA03-X7P	13,64	4,66	4,72	8,98	8,92
MPA04-X7(2)	86,8	80	82	6,8	4,8

Fuente: Autor

7. Discusión

El uso de los agentes lixiviantes dentro de procesos metalúrgicos en planta como ensayos experimentales están sujetos a distintas condicionantes que parten desde el tipo de yacimiento hasta las condiciones operacionales. Por tal razón es imperativo la observación de estudios que permitan incrementar el criterio técnico en este tema y que comparen la efectividad de agentes lixiviantes.

En Ghana en el artículo investigativo denominado “Estudio Comparativo de Cianuro de Sodio y Reactivo de lixiviación de oro Jinchan TM: Estudio de Caso en Goldfields Ghana Limited” (Martín Beyuo, 2016), en el proceso de lixiviación lo realizaron con Cianuro de Sodio y Jinchan para la determinación de la eficacia del agente lixiviante Jinchan considerando la tasa de recuperación en función al tiempo, el tamaño de la partícula y concentración.

Los datos obteniendo en este estudio muestran una recuperación de oro para Jinchan (JGD) con el 60,09 % con un pasante del 50 % malla 106 μm , mientras que para el cianuro de sodio una recuperación del 76,79%. Se considero la recuperación en porcentaje de malla con un pasante del 80 % a 150 μm obteniéndose una recuperación para Cianuro de Sodio del 97,31 %, mientras que la de Jinchan (JGD) fue del 90,30 %, teniendo esta tasa de recuperación deseada por Jinchan a las 48 h, y para el Cianuro de Sodio a las 24 horas, los datos del estudio mencionan un pH en la pulpa natural 8,70 y el pH operacional de 10,5 a 11 además se requirió un total de cal de 1.27 kg/t para Jinchan y 1,99 Kg para el Cianuro de Sodio, las características del mineral no se menciona, tipo de agitación rodillo en botella.

En cuanto al fenómeno de análisis del presente estudio los datos operacionales constan pasantes por la malla -200 entre el 86%, 89%, 91% y 98%, las concentraciones fueron de 1,5 g/l, con un pH de 11 en la operación y un porcentaje de solidos en pulpa de 33,33%, la agitación mecánica de 760rpm, en un tiempo de lixiviación de 30 horas a temperatura ambiente, estas condiciones aplicadas a las muestras de distintas vetas determinando qué:

La tasa de disolución con Jinchan para la muestra MPA01-VS (malla -200 pasante 89%) es de 69,78% y 64,80% con Cianuro de Sodio; en tanto para la muestra para la muestra MPA02-X2AT(malla -200 pasante 91%), la tasa de disolución con Jinchan fue de 90,28% y con Cianuro de Sodio de 88,98%; para la muestra MPA03-X7P(malla -200 pasante 98%) la tasa de disolución con Jinchan fue del 34,60% y con Cianuro de Sodio fue del 34,16%; y para la muestra MPA04-X7(2) (malla -200 pasante 86%), la tasa de disolución con Jinchan fue de 94,47% y con Cianuro de Sodio de 92,17%, observándose mayor disolución por parte de Jinchan en cada muestra analizada en un tiempo de 28 a 30 horas.

En comparación con el “Estudio de Caso en Goldfields Ghana Limited”, se obtiene que: La tasa de disolución es menor a la obtenida en el presente estudio, debido a que las pruebas se realizaron mediante la agitación en botella consideran mallas 106 μm y 150 μm ; mientras que para la agitación mecánica de este estudio la granulometría fue -200 74 μm tal como se manifiesta en el apartado 4.8.1; esto es un factor que influiría en el porcentaje de disolución; se debe señalar que la agitación y el tamaño de la partícula está en función a las condiciones de operación que en planta se permita.

En cambio, el pH de operación está dentro de los parámetros operacionales con soluciones cianuradas o similares y estos coinciden con los utilizados en este estudio, como los tiempos mínimos de disolución que están entre 24 y 30 horas. En cuanto a las cantidades de cal señaladas en el estudio Goldfields Ghana es menor para Jinchan y en el presente estudio muestra de igual forma que el consumo de cal es menor con el lixivante Jinchan, esto se lo evidencia en el Anexo 10.

Otro de los factores a considerarse en el Estudio de Caso en Goldfields Ghana es el tipo de mena que utilizó para sus ensayos el cual no se menciona, ni las cantidades de agentes lixiviantes consumidos en el proceso; Las características mineralógicas del tipo de mena provocaría una disminución en la tasa de disolución, como el aumento en el consumo de lixivante y cal.

Las características de la mena ensayada en el presente estudio se observan minerales de sulfuro como piritita, arsenopiritita, minerales de Qz, clorita, carbonatos entre los

mayoritarios esto ha originado la disminución en la tasa de disolución sobre todo de las muestras MPA01-VS y MPA03-X7P, que tienen mayor presencia de estos minerales.

Otro estudio realizado en China denominado “Tratamiento del oro de la Mina de Xiajiadian con el Reactivo Respetuoso con el Medio Ambiente Jinchuan como Sustituto del Cianuro de Sodio” (Li Hefu, 2018); establece una tasa de recuperación a escala de laboratorio e industrial de en donde los datos operacionales señalan 500 g de mineral en bruto malla -200 con un pasante de 65%, pH=11, temperatura ambiente, agitación de 400 r/min en un tiempo de 24 horas a una concentración de 200g/t la tasa de disolución fue del 88,55% solo 0,18% más baja que el Cianuro de Sodio con un 88,73%, y en una segunda prueba a una concentración de 300g/t, el efecto de NaCN Cianuro de Sodio no mejoro significativamente.

El aumento de la dosis del agente lixivante Jinchuan en 300 g/t, su lixiviación es mejor que la del Cianuro de Sodio, y su aumento es en un punto porcentual; Pero la dosis con Jinchuan en 400 g/t el efecto de lixiviación no cambio significativamente de la concentración de 300g/t con una recuperación igual de 89,84%. Mientras que a una escala industrial las tasas de recuperación de Jinchuan con una concentración de 300g/t es de 89,87% mayor que la del Cianuro de Sodio a la misma concentración este obtuvo una tasa de recuperación del 88.80%.

Los parámetros óptimos en laboratorio consideraron una malla -200 con el 65% del pasante, la pulpa con un porcentaje de sólidos del 40%, con un pH de 11 y una concentración de Jinchuan de 300g/t, el tipo de mineral en bruto natural utilizado en los ensayos es: mineral de óxido en brecha en que los minerales metálicos están escasamente diseminados, contienen pirita y calcopirita, minerales no metálicos incluyen Qz, calcedonia, sericita, pequeñas cantidades de dolomita férrica y calcita, así mismo contiene V₂O₅ 0,58%, Al₂O₃ 2,06%, TC0,18%, MgO 1,34% entre otros, el oro se encuentra semi visible y visible, oro encapsulado en sulfuros, oro en carbonatos, encapsulado en sílice, oro encapsulado en óxidos de hierro con un tamaño de partícula extremadamente fino.

A comparación con el estudio en China la utilización de malla -200, un pH de 11, agitación mecánica y un tiempo de 24 horas, coincidirían con el presente estudio realizado,

aunque difieren en las concentraciones o fuerza de los agentes lixiviantes empleados este porque las concentraciones pueden ir desde los 300 a 1000 mg/l.

La mineralogía de las menas tratadas en el estudio en China es diferente para citar por ejemplo estas contienen el oro encapsulado en sulfuros, oro encapsulado en menas oxidadas, mientras que en el presente estudio existe contenidos de arsenopirita, o minerales cianicidas corroborados e en el apartado 4.6 y 4.10.1, y en los Anexos 7 y 8; en ambos casos el tipo de mena influiría en la disminución de la efectividad lo que impide tener tasas porcentuales sobre el 97% de disolución como se observa en los ensayos de las muestras MPA01-VS y MPA03-X7P, provocando un consumo adicional de los lixiviantes utilizados en ambos casos.

La muestra MPA02-X2AT (malla -200 pasante 91%), con una tasa de disolución de 90,28% con Jinchan y con Cianuro de Sodio de 88,98%, tiene similitud con la tasa de disolución señalado en el estudio en China a nivel de laboratorio como a nivel industrial, en tanto la muestra MPA04-X7(2) su tasa de disolución es mayor a la señalada en China.

En el presente estudio los consumos de cal son bajos cuando se utiliza el agente lixiviante Jinchan (obsérvese el Anexo 10), mientras que en el estudio realizado en China no muestra consumos de cal.

Los estudios denominados “Estudio Comparativo de Cianuro de Sodio y Reactivo de lixiviación de oro Jinchan TM: Estudio de Caso en Goldfields Ghana Limited” y el estudio en China “Tratamiento del oro de la Mina de Xiajiadian con el Reactivo Respetuoso con el Medio Ambiente Jinchan como Sustituto del Cianuro de Sodio”, señalan que el agente lixiviante Jinchan es más respetuoso y amigable con el medio ambiente, estos informes muestran la determinación de la concentración marginal de cianuro libre producido en la solución de residuos después de la lixiviación.

8. Conclusiones

El método de ensayo al fuego es el paso primario y fundamental que permite obtener la ley de cabeza para en lo posterior determinar el porcentaje de disolución de oro en la lixiviación por agitación mecánica de cada una de las muestras ensayadas.

La ley de cabeza reportadas por el método de en el ensayo al fuego contienen una variabilidad en su contenido de oro, debido a factores tales como: la diferencia en proporción de sus asociaciones mineralógicas, la génesis de las vetas de donde se extrajo las muestras y el contenido de oro en cada veta que no es constante.

Todas las muestras ensayadas tuvieron consumo de Cianuro de Sodio, Jinchuan y cal, demostrando la presencia de minerales cianicidas o refractarios y elementos de antimonio; los cuales disminuyeron la eficiencia de los lixiviantes. A pesar de lo señalado el lixivante Jinchuan dentro de los ensayos mostró un mejor rendimiento ya que se adicionó una menor cantidad.

Se comprobó que el agente lixivante Jinchuan fue más eficiente obteniendo mejores tasas de disolución ubicándose por encima del Cianuro de Sodio en un 4.98% en la muestra MPA01-VS; para muestra MPA02-X2AT se ubica con un 1.3%; mientras que para la muestra MPA03-X7P con el 0.44%; y de igual forma para la muestra MPA04-X7(2) se ubica con el 2.27% sobre Cianuro de Sodio; cabe señalar que si el proceso terminara a las 24 horas las tasas de recuperación serían mayores para Jinchuan.

La disminución en el porcentaje de disolución en la muestra MPA03-X7P, con los dos agentes lixiviantes se debe a que tiene una mayor concentración de sulfuros y minerales cianicidas o refractarios el cual retardan la disolución en el proceso y aumenta el consumo de lixivante en el proceso.

Mediante la gráfica porcentual de disolución de oro de cada muestra se pudo observar que su máxima recuperación se presenta en las 20 a 30 horas de agitación utilizando las mismas condiciones operacionales para los dos agentes lixiviantes, pero siendo más efectivo Jinchuan desde el inicio del ensayo.

9. Recomendaciones

Dentro del proceso de ensayo al fuego como paso primario, si se observa muestras que contengan oro visible deben someterse al método de Newmont, ya que el oro grueso podría distorsionar los resultados causando sesgo o un efecto pepita.

En el caso de presentarse oro grueso libre en la mena, se recomienda recuperarlo por medio de trampas, mesas de concentración o hidrociclones antes del proceso hidrometalúrgico de lixiviación con Cianuro de Sodio o Jinchan; ya que las partículas gruesas podrían no disolverse en el tiempo que dura la lixiviación.

Dentro de la determinación de consumos de agentes lixiviantes se debe tener control de la alcalinidad protectora manteniendo el pH entre 10,5 a 11 para evitar pérdidas o consumo de lixivante, de esta forma se asegura la efectividad dentro del proceso de lixiviación.

Se recomienda la utilización del lixivante Jinchan para la disolución de las menas estudiadas ya que este obtiene una mejor efectividad en la tasa porcentual de disolución con respecto al Cianuro de Sodio, con un menor consumo de lixivante y de cal, esto se traduce en un beneficio dentro del proceso de recuperación para la empresa.

Se debe implementar un laboratorio de investigación metalúrgico y mineralógico que permita el análisis continuo de las menas, esto permitirá identificar porcentualmente minerales cianicidas o refractarios los cuales afectarían en el proceso hidrometalúrgico de lixiviación; con el fin de mejorar, modificar e incrementar la eficiencia de las soluciones en la recuperación de oro o implementar tratamientos previos a la lixiviación.

10. Bibliografía

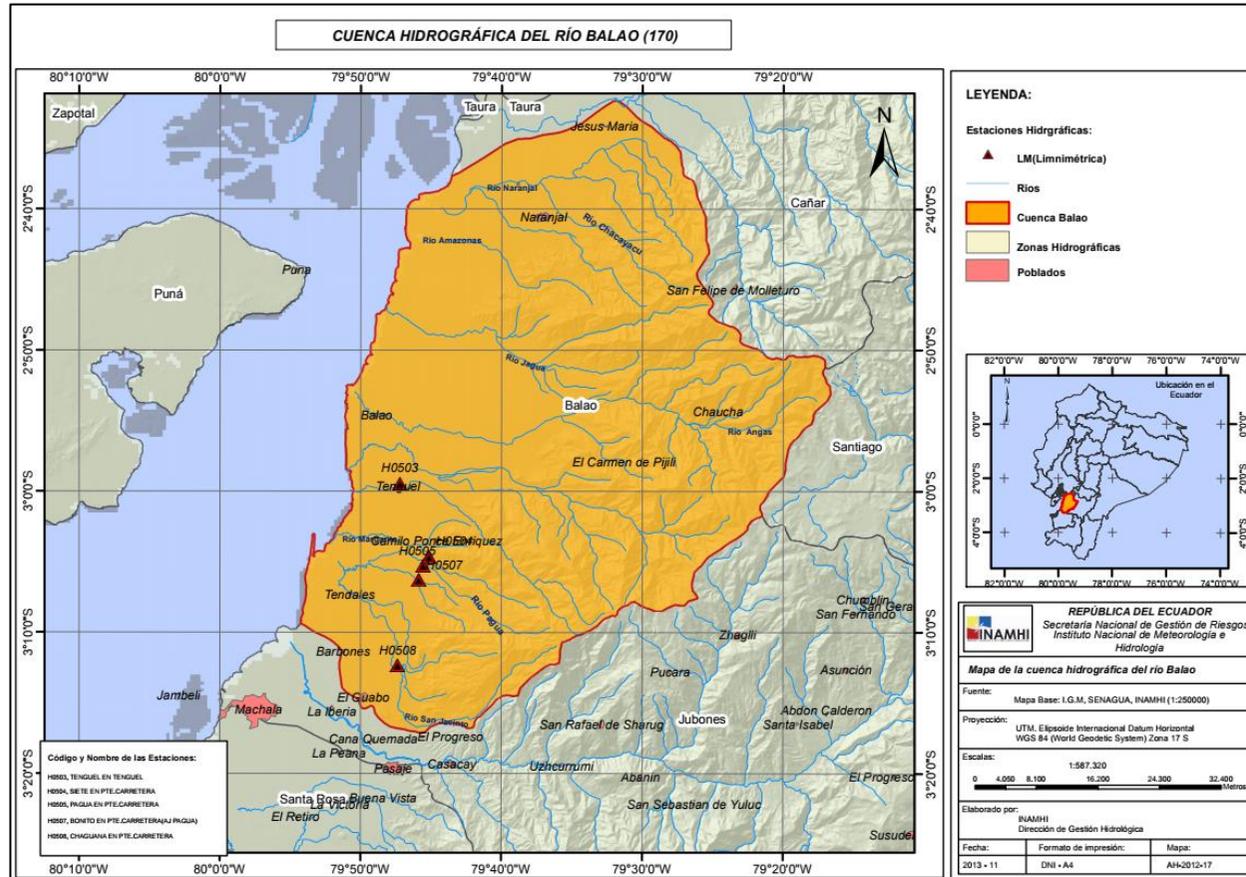
- Alberto, B. N. (2013). *Evaluación de la Viabilidad del Uso de la Tiourea utilizando SO₂ y Agentes Oxidantes para disminuir el consumo de Tiourea y Aumentar el Porcentaje de Recuperación de Oro*. Perú.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNIT_0c6b3a0071d1d2f13d770a47a2c4d7b2/Details
- Camila Becerra Soto, J. P. (2015). *Lixiviación Agitada*. Informe 2, Universidad Arturo Prat, Chile. https://www.academia.edu/30777204/Lixiviaci%C3%B3n_Agitada
- Danny, A. A. (2021). *Aplicación de Pre-Aireación en Lixiviación con Cianuro de Sodio en el Mineral de Interés de la Mina Cristhian David, Pasaje-El Oro*. Universidad del Azuay, Azuay, Ecuador.
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10715/1/16262.pdf>
- Echeverría, L. A. (2015). *Evaluación Ambiental de la Cuenca del Río Gala del Cantón Camilo Ponce Enríquez*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Gaviria Ana Cecilia, B. O. (2007). *Hidrometalurgia Aplicada Línea de Metales Preciosos*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/cuadernos/download/27_82bc2012fb3e615cb4b891041e29315e
- Gómez, C. L. (2010). *Aplicación del carbón activado en el proceso de extracción de oro y plata de la Empresa Minera "La Baja" en el Municipio de California-Santander*. Universidad Industrial de Santander, California-Santander.
- Greys Liliana Valenzuela Tello, C. A. (2020). *Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Chaupiloma 2007*. Universidad Continental, Huancayo 2020, Perú.
- Habashi, F. (1993). *A Text Book of Hydrometallurgy*. Sainte-Foy-Quebec.
http://tgc.ac.in/pdf/study-material/chemistry/Chemistry___Hons._SemIV_Hydrometallurgy.pdf
- J. F. Richardson, J. H. (2002). *Ingeniería Química* (Vol. II). ScienceDirect.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2009-0-25733-3>

- Jaime, O., & Restrepo Baena. (2019). *Notas Clase Metalurgia Extractiva*. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Minerales CIMEX, Medellín.
<https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/cuadernos/notas-de-clase-metalurgia-extractiva>
- Jiménez, M. F. (2011). *Estudios para el Mejoramiento de la Fusión de Calcinas Auríferas con el uso de Carbonato de Calcio en la Carga Fundente*. Escuela Politécnica Nacional; Facultad de Energía Química y Agroindustria, Quito.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4279>
- Li Hefu, S. H. (5 de Octubre de 2018). Investigación sobre el Agente de Protección Ambiental "Jinchan" en lugar de Cianuro de Sodio para tratar la Mina de Oro Xiajiadian. *Gold Science and Technology*, XXVI(5), 682-688.
<http://www.goldsci.ac.cn/article/2018/1005-2518/2018113.shtml>
- M.Sc, L. C. (2009). *Pirometalurgia General*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
<https://es.scribd.com/document/408591533/LIBRO-DE-PIROMETALURGIA-PDF>
- Mark J. Logsdon, M., Karen Hagelstein, P. C., & Terry I. Mudder, P. (2001). *El Manejo del Cianuro en la Extracción de Oro*. Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente, Ontario.
[http://www.ingenieroambiental.com/200/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/200/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20(ICMM).pdf)
- Martín Beyuo, R. A.-W. (Agosto de 2016). Estudio Comparativo con Cianuro de Sodio y Reactivos de Lixiviación de Oro Jinchan TM. *IV Conferencia Bienal Internacional de Minería y Minerales de la* (págs. 195-199). Tarkwa: UMaT.
<https://doi.org/https://hdl.handle.net/11541.2/135290>
- Mejía, M. R. (2010). *Determinación Experimental de los Parámetros Óptimos de Operación en el Proceso de Electro-Lixiviación y Electro-Deposición Secuencial de Oro en Soluciones Ácidas de Tiourea a partir de Sulfuros Concentrados*. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química y Textil, Lima - Perú, Lima. <http://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/90>
- Mihovilovic, E. M. (2001). *Hidrometalurgia Fundamentos, Procesos y Aplicaciones*. Chile.

- Oscar Jaime Restrepo Baena I.M.M. MSc., P., M. Oswaldo Bustamante Rúa I.M.M., M. P., & Ana Cecilia Gaviria Cartagena I.Q., M. (2008). *Pirometalurgia*. Universidad Nacional de Colombia; Ingeniería de Minas Y Metalurgia, Medellín.
https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/cuadernos/download/22_2e2c8bb83ea91368382213bb4b049411
- Romero Bonilla Hugo, G. R. (2020). Efecto de la velocidad de agitación en la cinética de lixiviación con tiourea de minerales flotados de oro. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 245. <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v38n1/2145-9371-inde-38-01-243.pdf>
- Ruiz, J. M. (2017). *Ensayo al Fuego*. Universidad Nacional de Santander, Bucaramanga.
<https://zdocs.pub/doc/ensayo-al-fuego-y-tostacion-m6yqxqw7lr6v>
- Sandoval, M. I. (2013). *Estudio comparativo de la Lixiviación de dos Minerales Auroargentíferos (oxidado y sulfurado) con Cianuro y Tiourea*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2013/148325.pdf>
- Vesga, D. (2010). *Evaluación de la Disolución de Oro del Mineral de la Mina San Pablo ubicada en el Municipio de Remedios Antioquia, mediante Cianuración*. Antioquia.
<https://core.ac.uk/download/pdf/323346086.pdf>
- Vilca, L. H. (2006). *Conceptos Fundamentales de Lixiviación*. Antofagasta: Instituto Carcop.
- Yannopoulos, J. C. (1991). *The Extractive Metallurgy of Gold* (Primera ed.). New York, EEUU: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
<https://docplayer.net/102305836-Extractive-metallurgy.html>
- Zanabria Quispe, K. E. (2021). *Evaluación de Variables en el Proceso de Lixiviación de Cobre en Pilas para Mejorar su Extracción - Cuajone*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.

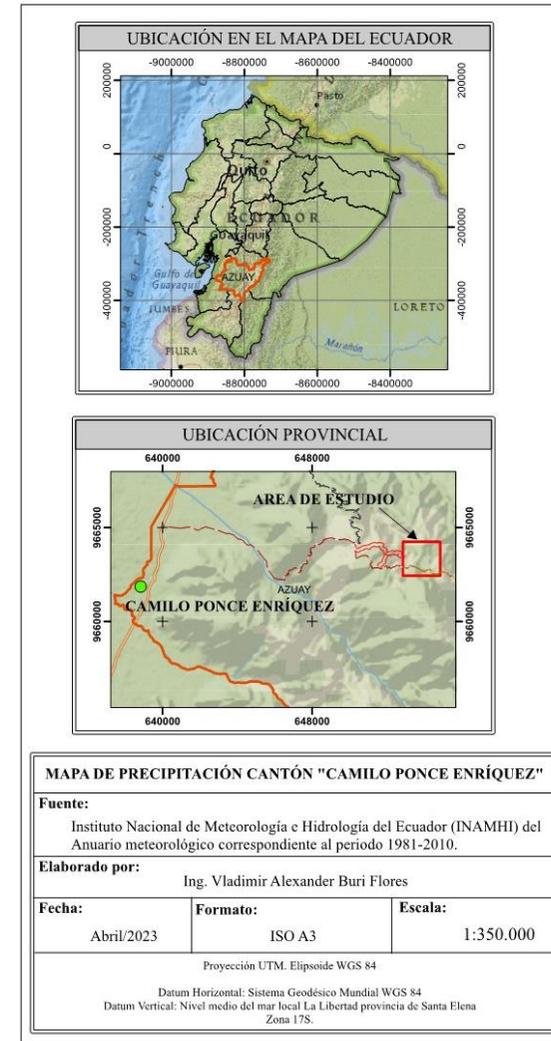
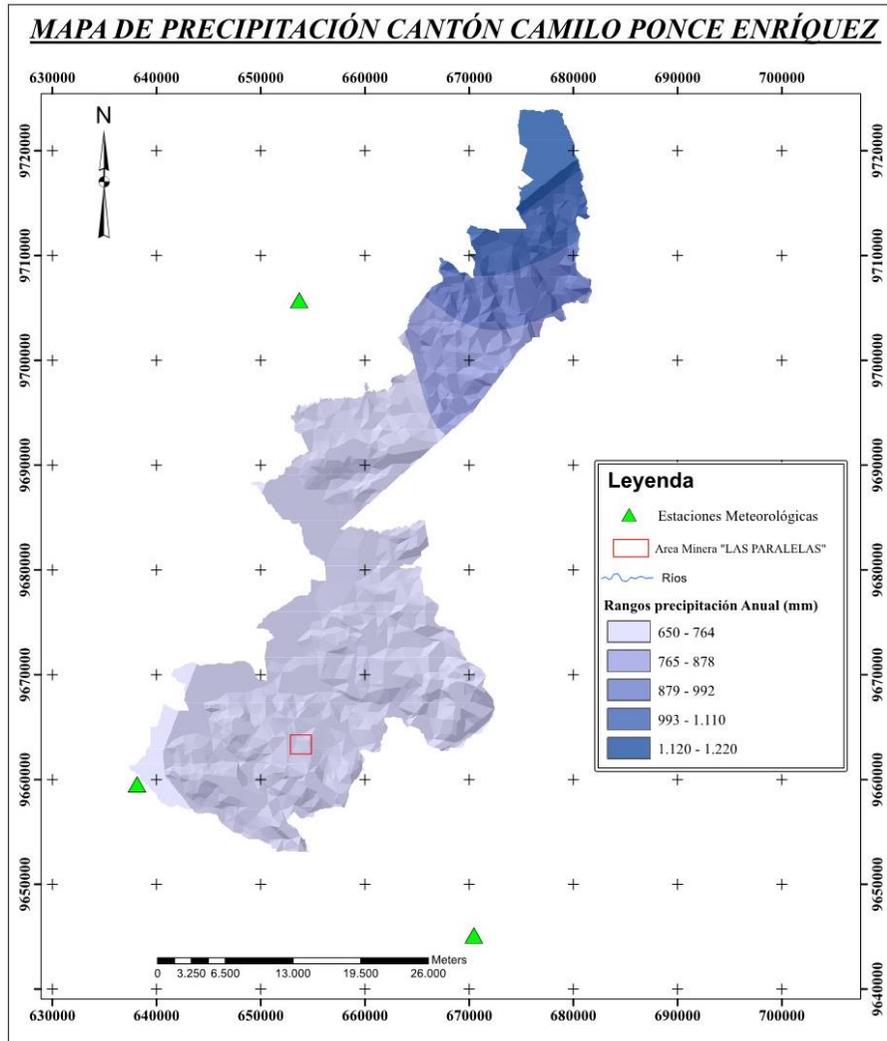
11. Anexos.

Anexo 1. Mapa de la cuenca hidrográfica Río Balao.

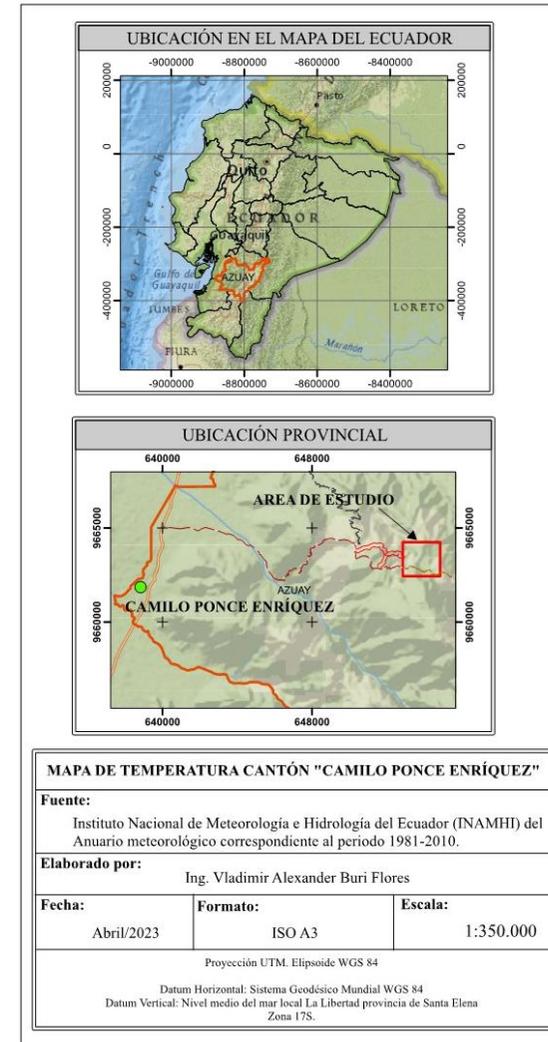
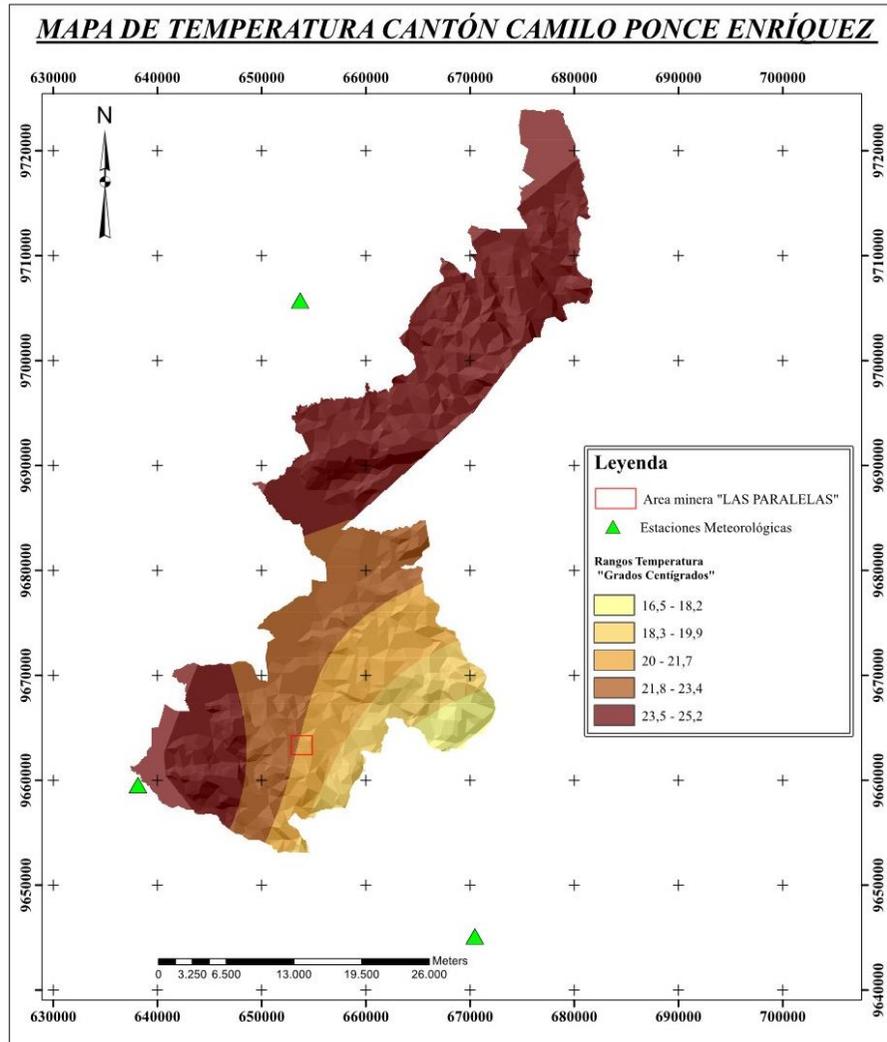


Recuperado de: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA; ANUARIO HIDROLÓGICO 2015

Anexo 2. Mapa de precipitaciones del Cantón Camilo Ponce Enríquez.



Anexo 3. Mapa de temperatura del Cantón Camilo Ponce Enríquez.



Informe sísmico para el año 2021

GENERALIDADES

Durante el año 2021, la Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (RENSIG), localizó 4553 eventos de origen tectónico en el Ecuador (Figura 1) de los cuales 62 tuvieron una magnitud igual o superior a 4 MLv (magnitud local).

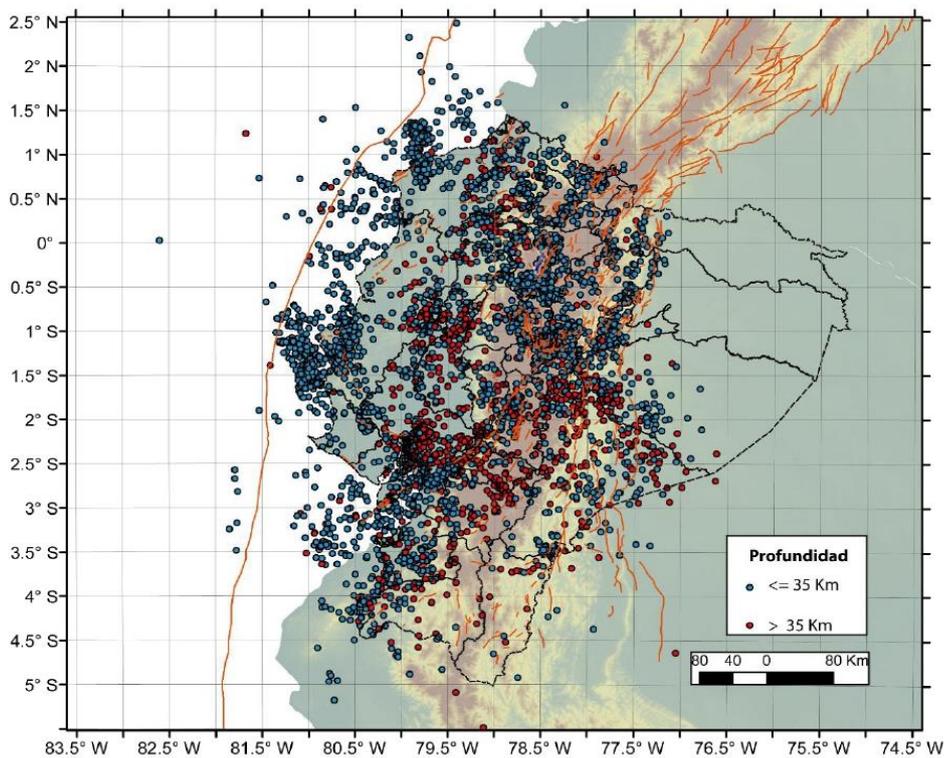


Figura 1. Eventos sísmicos localizados por la RENSIG durante el año 2021. Los sismos superficiales relacionados con las fuentes de la interfaz o con las fuentes corticales se muestran en color azul y los sismos relacionados con las fuentes profundas se muestran en color rojo; las fallas activas y la zona de subducción según Alvarado (2012) se indican con líneas de color naranja.

La figura 2 presenta una comparación del número de eventos registrados y localizados desde el año 2000, observándose un incremento paulatino del número a partir del año 2014. Este incremento responde a una mejor cobertura y, por lo tanto,

a una mayor sensibilidad de la red de monitoreo, alcanzada luego de la culminación de la instalación de las nuevas estaciones dentro de los proyectos Senascyt y Senplades. Una mayor densidad de estaciones, ha permitido registrar sismos de menor magnitud en todo el territorio nacional y sobre todo en la zona sur donde previo al 2012, el número de estaciones de la RENSIG fue bajo.

En el caso de los años 2016 y 2017, el número alto de sismos corresponde a la actividad desencadenada por el Terremoto de Pedernales (abril – 2016) cuyas réplicas se registraron hasta un año y medio después (y esporádicamente, continúan registrándose algunos eventos, que se consideran réplicas). En el año 2018, el alto número de sismos está relacionado con la actividad registrada en la zona fronteriza con Colombia, en las cercanías del Complejo Volcánico Chiles –Cerro Negro (eventos de tipo volcano-tectónico distales y que se incluyen en la base de sismos tectónicos, objeto del presente informe). Durante los últimos 3 años, el número de eventos registrados y localizados se ha mantenido entre 4500 y 5000, rango habitual para el nivel de detección de la red sísmica, sin embargo, aún se mantienen valores mayores a los observados antes del Terremoto de Pedernales.

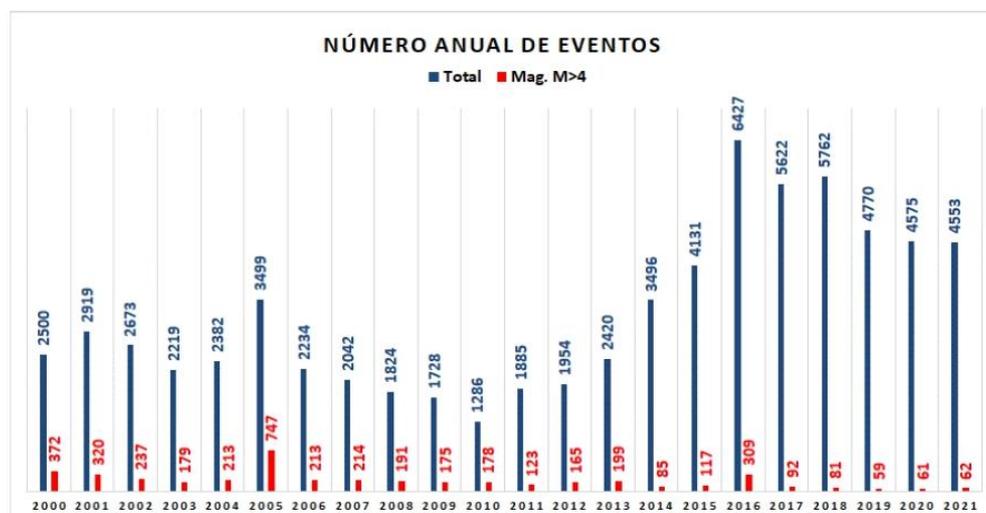


Figura 2. Número de eventos registrados y localizados por la RENSIG: total (barras azules) y eventos con magnitud igual o superior a 4 MLv (barras rojas).

La mayoría de sismos durante el año 2021 (~67%), tienen magnitudes inferiores a 2.5 grados (Figura 3 izq. superior).

En la figura 3 der. superior se presenta el momento sísmico (o energía sísmica liberada). Los saltos más grandes en la curva, corresponden a sismos de magnitud MLv superior a 5 (ver Tabla 1).

El promedio mensual del número de sismos durante el año 2021 es 379.91 +/- 100.31 (Figura 3 izq. inferior) con una tasa de ocurrencia casi constante (Figura 3 der. inferior) donde se observan dos pequeñas variaciones en enero y en junio

relacionadas con enjambres sísmicos en la costa (ver descripción en la sección de SISMOS O CRISIS SÍSMICAS IMPORTANTES).

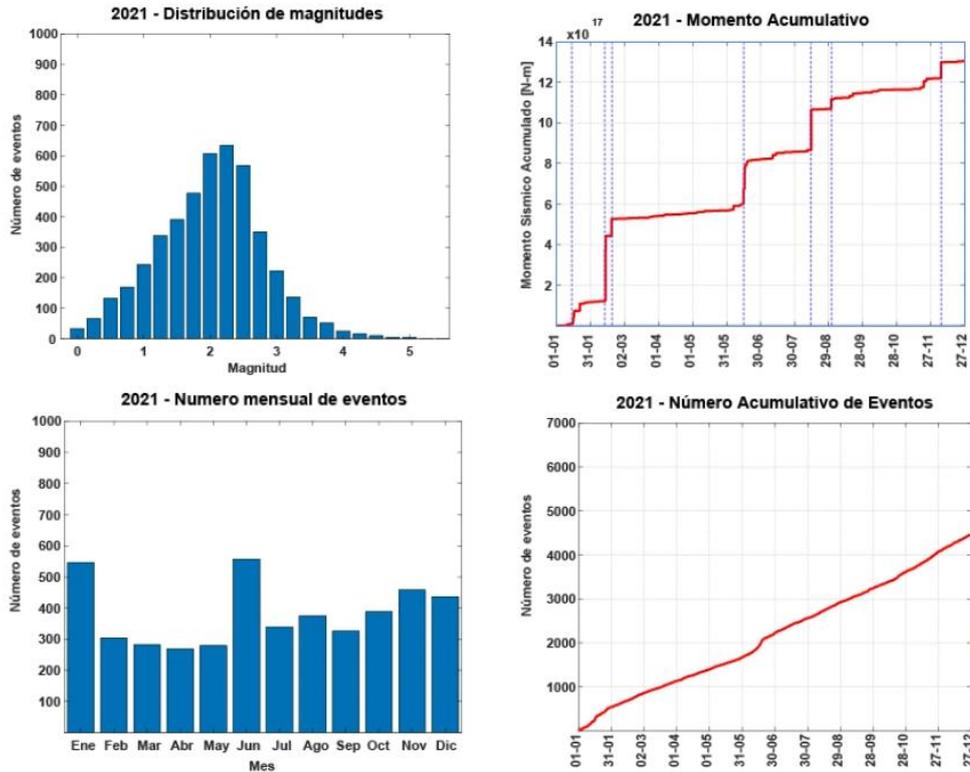


Figura 3. Izq. superior: Distribución de las magnitudes de los sismos. Der. superior: Momento sísmico liberado acumulado (las líneas azules indican los saltos que corresponden a los sismos con magnitud M_Lv superior a 5). Izq. inferior: Número de eventos por mes. Der. inferior: Número acumulativo de eventos.

Tabla 1. Parámetros de los sismos con magnitud $M_Lv \geq 5.0$ durante el año 2021. La magnitud preferida es la magnitud momento o M_w determinada con inversión de formas de onda (Método MECAVEL). Cada uno de estos sismos representa un salto en la curva de la figura 3 der. superior.

Fecha (TL)	Magnitud M_Lv	Magnitud Preferida M_w	Zona - Región
21/01/2021 05:15	5.0	4.58	Oeste de Guayaquil, prof. Intermedia. Varias réplicas
13/02/2021 00:18	5.6	-	Provincia Loja, zona frontera EC-PE; superficial

18/02/2021 05:51	5.2	4.69	Provincia Zamora Chinchipe; prof. Intermedia
14/06/2021 16:05	5.1	4.72	Enjambre Manta-Puerto López; superficial
15/06/2021 15:30	5.2	4.94	Enjambre Manta-Puerto López; superficial
13/08/2021 14:03	5.4	4.78	Enjambre Manta-Puerto López; superficial
31/08/2021 04:11	5.0	4.37	Provincia Morona Santiago; superficial
06/12/2021 01:30	5.2	4.80	Provincia Morona Santiago, zona frontera EC-PE; superficial

ACTIVIDAD POR FUENTE SÍSMICA

En el presente informe, el término fuente sísmica se refiere a las zonas que pueden generar sismos (ondas sísmicas) debido a un desplazamiento en una discontinuidad o falla que existe en el medio, ya sea en la corteza continental o en la corteza oceánica o en el contacto entre la corteza continental y oceánica.

Para el Ecuador, las fuentes sísmicas se han clasificado como: fuentes de la interfaz, fuentes corticales y fuentes profundas (Yepes et al., 2016; Beauval et al., 2018).

Sismicidad en las fuentes de la interfaz

La interfaz corresponde a la zona de contacto entre la placa oceánica de Nazca que choca y se introduce (o se subduce) por debajo del continente y de manera particular en el Ecuador, por debajo de los bloques Andino e Inca (Nocquet et al., 2014) (Figura 4).

De acuerdo al trabajo de Beauval et al. (2018), existe una redefinición del límite sur de la fuente Esmeraldas que limita con una nueva fuente denominada Isla de Plata, y la antigua fuente Talara (Yepes et al., 2016), se ha dividido en dos: Golfo de Guayaquil y Talara propiamente dicha. Las fuentes Talara, Golfo de Guayaquil y de La Plata se extienden desde la fosa hasta una profundidad de 40 km, y la fuente Esmeraldas se extiende desde la fosa hasta una profundidad de 50 km (Figura 5).

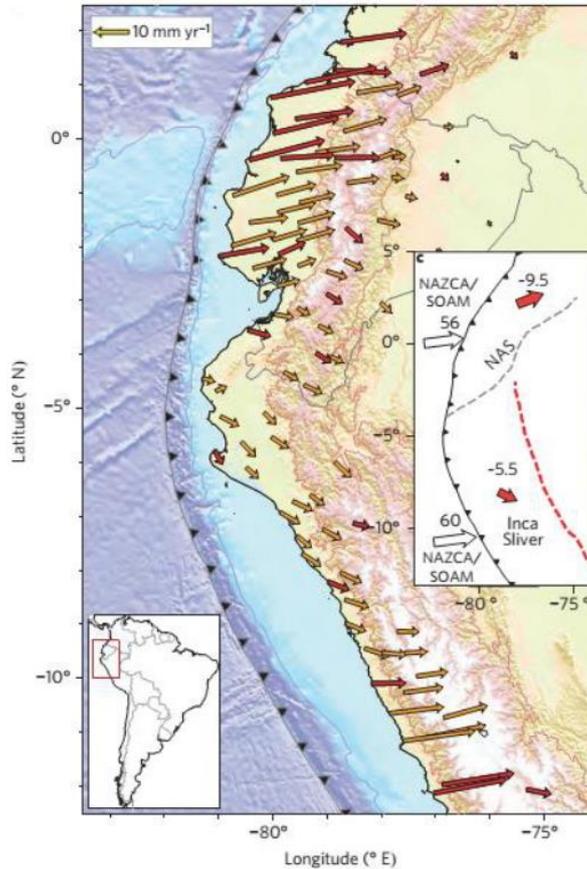


Figura 4. Modelo de dos bloques a lo largo de la costa noroccidental de Sudamérica que explica las observaciones del campo de velocidad medidos en superficie en mm/año (estaciones GPS: permanentes en rojo y campañas en naranja) con respecto a Sudamérica estable (Nocquet et al., 2014).

Durante el 2021, se registraron 2 enjambres sísmicos, el primero en la fuente Esmeraldas y el segundo en la fuente La Plata, superando los 200 eventos por mes en cada una de estas fuentes. En las fuentes Golfo de Guayaquil y Talara, la sismicidad fue muy baja, ver figuras 5, 8a y Tabla 3.

Del grupo de sismos ocurridos en la interfaz, en la fuente La Plata se registró el evento más grande: 5.43 MLv.

Sismicidad en las fuentes corticales

Las fuentes corticales según Yepes et al. (2016) y Beauval et al. (2018) comprenden:

- el sistema principal de fallas que delimitan el Sliver Norandino (NAS) de la zona estable de Sudamérica con los segmentos de Puná, Pallatanga, Cosanga y Chingual (Alvarado, 2012; Alvarado et al., 2016),
- los sistemas de fallas inversas Quito-Latacunga (UIO-Lat),
- el sistema de fallas de rumbo de El Ángel,
- las fallas que definen el levantamiento y los pliegues en la zona subandina: Napo y Cutucú,
- dos fuentes adicionales que engloban la sismicidad dispersa o *de background* fuera de las fallas principales: BGN que comprende la zona de las cuencas de la costa al norte de límite NAS-Sudamérica y BGS, al sur de este límite.

En el 2021, el número mensual de eventos en las fuentes corticales fue menor a 50 excepto en la fuente BGN y en la fuente UIO-Lat, respondiendo esto a diferentes razones:

- en la fuente BGN debido a una tasa alta y constante de sismos,
- en la fuente UIO-Lat por el incremento de microsismicidad al norte del V. Cotopaxi y al sur de los volcanes Illinizas.

En cuanto a las magnitudes, solo las fuentes BGS y Cutucú presentaron sismos con magnitud mayor a 5.

Para mayor detalle, referirse a las figuras 6, 8b, Tabla 3 y a la sección SISMOS O CRISIS IMPORTANTES.

Sismicidad en las fuentes profundas o del slab

Las fuentes del slab se definen como volúmenes a diferentes profundidades con el fin de englobar el slab o placa oceánica en subducción bajo el continente (tabla 2). La fractura de Grijalva es un rasgo morfológico importante en el fondo marino que separa dos cortezas oceánicas de diferente origen y edad: al norte una placa Nazca joven y al sur una placa vieja denominada Farallón (Yepes et al., 2016, Beauval et al., 2018). La ocurrencia de sismos en el slab parece estar delimitada por esta fractura en la placa que se subduce. Al norte de la fractura se observan sismos con magnitudes relativamente pequeñas, mientras que, al sur, los sismos tienen magnitudes más altas.

Tabla 2. Rangos de profundidad de las fuentes del slab (Yepes et al., 2016, Beauval et al., 2018).

Nombre de la fuente	Rango de profundidad	Placa
Subvolcanic arc	35-180 km	Nazca
Loja	35-100 km	Farallón*
Morona	100-130 km	Farallón*
Puyo	130-300 km	Farallón*

*En la práctica no se hace distinción entre la placa Nazca joven y vieja.

El número mensual de eventos en las fuentes profundas no fue mayor a 50. Las fuentes Subvolcanic Arc y Loja son las que presentaron una actividad más alta y constante en el tiempo. Los sismos más grandes ($ML_v > 5$) ocurrieron en la fuente Loja (Figuras 7, 8c, Tabla 3).

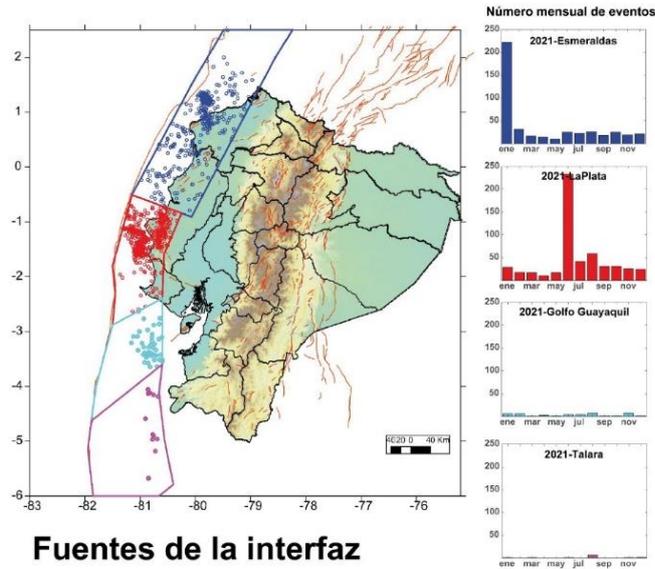


Figura 5. Número mensual de eventos en las fuentes de interfaz. La profundidad de los eventos es de hasta 40 km excepto la fuente de Esmeraldas que va hasta los 50 km.

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
 Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253 - Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
 Página Web: www.igeppn.edu.ec Email: geofisico@igeppn.edu.ec
 Apartado Postal 2759 - Quito, Ecuador

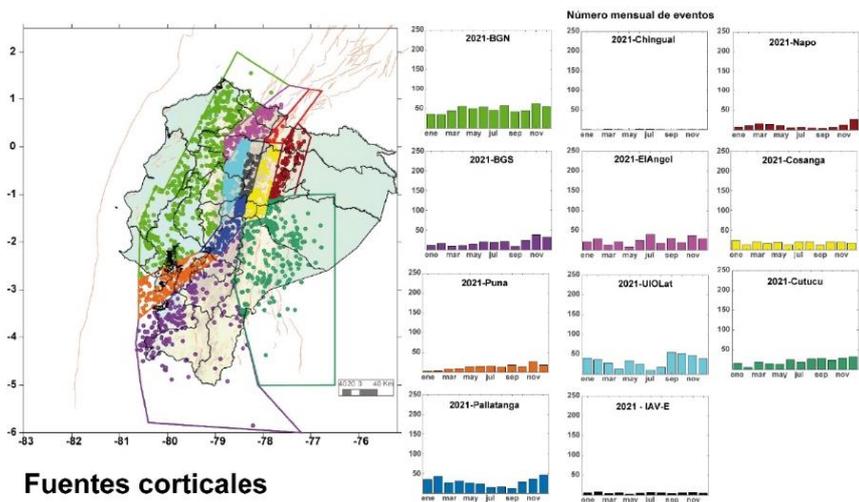


Figura 6. Número mensual de los eventos en las fuentes corticales (Beauval et al. 2018). La profundidad de los eventos es de hasta 35 km.

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
 Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253 - Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
 Página Web: www.igeppn.edu.ec Email: geofisico@igeppn.edu.ec
 Apartado Postal 2759 - Quito, Ecuador

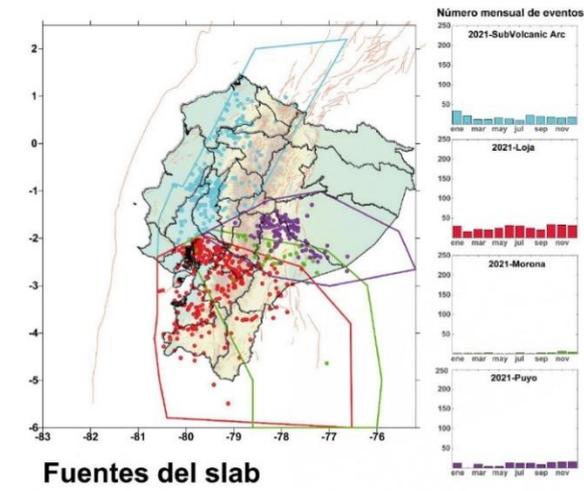


Figura 7. Número mensual de los eventos en las fuentes profundas que incluyen el slab. Para la profundidad de los eventos, remitirse a la Tabla 1. En esta figura no se considera la fuente Loreto.

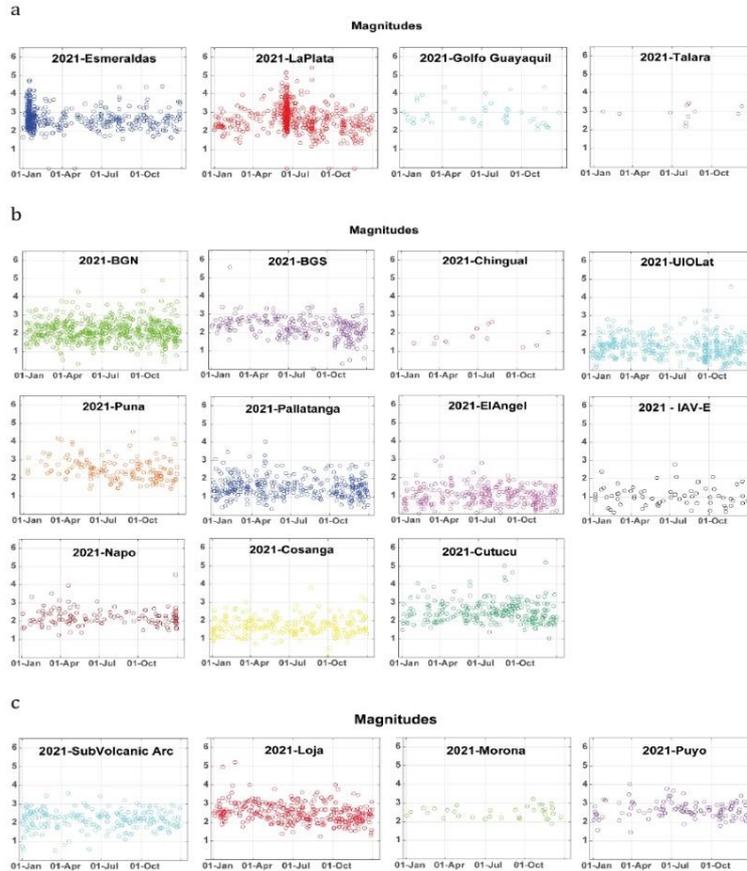


Figura 8. Magnitudes de los sismos ocurridos en cada una de las fuentes sísmicas durante el año 2021: a) Fuentes de la interfaz o subducción; b) Fuentes corticales; c) Fuentes profundas que incluyen el slab. Nótese que la escala vertical se mantiene para comparación de la actividad entre las diferentes fuentes.

Estadísticas en las fuentes sísmicas

Tabla 3. Características de la sismicidad en cada fuente sísmica: número de eventos, magnitud máxima y magnitud promedio.

Tipo de fuente	Nombre de la fuente	Magnitud Máxima	Magnitud Promedio	Número de eventos
Fuentes de la interfaz o de la subducción	Esmeraldas	4.75	2.67	450
	La Plata	5.43	2.68	539
	Golfo Guayaquil	4.36	2.91	46
	Talara	3.43	2.87	12
Fuentes corticales	BGN	4.91	2.12	585
	BGS	5.60	2.27	230
	Puná	4.53	2.47	159
	Pallatanga	4.03	1.53	342
	Cosanga	3.81	1.71	218
	Chingual	2.63	1.79	12
	El Ángel	3.12	1.00	294
	UIO-Lat	4.57	1.28	398
	Napo	4.56	2.22	130
	Cutucú	5.20	2.50	256
IAV-E	2.79	1.07	67	
Fuentes del slab	Subvolcanic Arc	3.58	2.17	215
	Loja	5.21	2.50	320
	Morona	3.21	2.49	33
	Puyo	4.03	2.64	119

SISMOS O CRISIS SÍSMICAS IMPORTANTES

1. Enjambre Esmeraldas

En enero de 2021 se observó un incremento en la tasa de sismicidad en la zona frente a las costas de Esmeraldas (Figura 9).

Figura 9. Número acumulado de eventos (localizados) frente a las costas de Esmeraldas en el 2021; obsérvese el incremento observado durante el mes de enero.



Los eventos registrados corresponden a lo que se conoce como enjambre sísmico, es decir, el incremento de la sismicidad en una región y durante un determinado tiempo, sin la ocurrencia de un sismo principal, es decir que el sismo más grande no ocurre al principio, sino en cualquier momento de la secuencia. El enjambre como tal inició el 8 de enero y los sismos más grandes se registraron el 15 y 16 de enero, con magnitudes entre 4.17 y 4.74 MLv; en estos días también se registró el mayor número de eventos: 24 y 37 respectivamente (Figura 10).

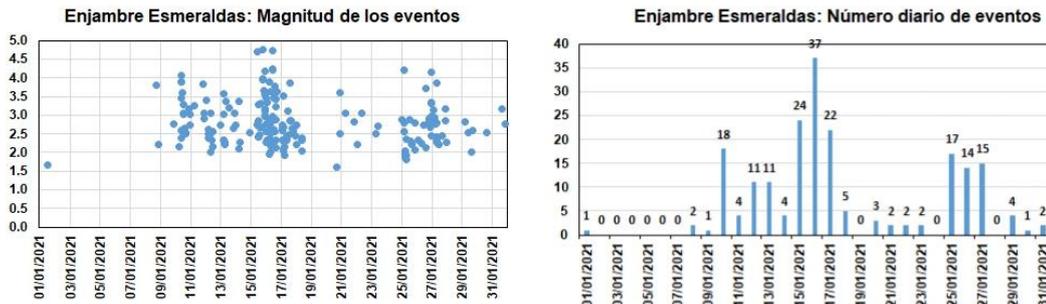


Figura 10. Magnitud y número de eventos diarios en el enjambre de Esmeraldas.

En la Figura 11 se observa la ubicación de los sismos en función del tiempo (escala de colores), observándose una disposición de los epicentros perpendicular a la línea de costa y hacia el final del enjambre, la ocurrencia de algunos sismos también costa adentro. Por la profundidad y algunos mecanismos focales con el método MECAVEL (Figura 23) estos eventos responden al movimiento relativo en la zona de contacto entre las dos placas: Nazca y Sliver Norandino (falla de subducción) y a

movimientos en fallas secundarias en la placa superior, paralelas a la falla de subducción.

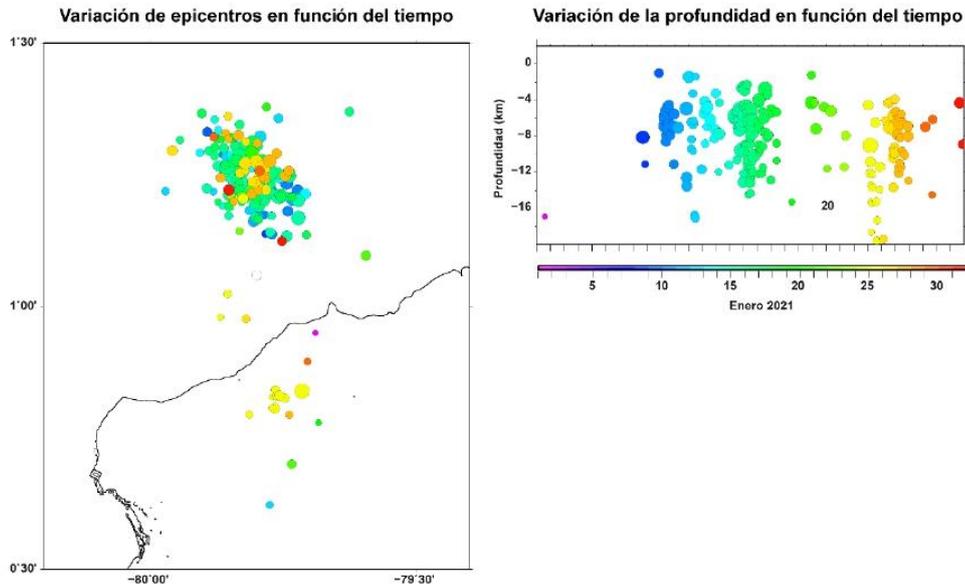


Figura 11. Ubicación epicentral y variación de la profundidad en función del tiempo (escala de colores) de los sismos del enjambre frente a las costas de Esmeraldas durante enero 2021.

En base a los reportes a través del link «¿Sintió el sismo?» los sismos más grandes de la secuencia fueron sentidos en Esmeraldas y alcanzaron una intensidad de 3-4 en la Escala Macrosísmica Europea (EMS), mientras que en las localidades más alejadas, como Tonsupa y Atacames, la intensidad de los sismos fue de 2-3 (EMS). En general no se tuvieron reportes de daños en edificaciones.

2. Enjambre en la zona de la Isla de la Plata (entre Manta y Puerto López)

En junio de 2021, se registró un incremento abrupto en el número de eventos frente a las costas de Manabí, entre Manta y Puerto López, que corresponde a un enjambre sísmico. (Figura 12).

Figura 12. Número acumulado de eventos (localizados) frente a las costas de Manabí: obsérvese el incremento observado durante el mes de junio y dos incrementos pequeños en septiembre y octubre.



Según el histograma del número de sismos por día (Figura 13) se observaron dos pulsos:

- El primero, y más importante en cuanto al número de eventos, inició el 1 de junio y se extendió hasta el 15 de julio; el mayor número de eventos se registró el 17 de junio (43 eventos localizados) y la mayor magnitud se registró (MLv 5.2) el 15 de junio.
- El segundo pulso inició el 02 de agosto y se extendió hasta el 20 de agosto; el mayor número de eventos localizados y el sismo con mayor magnitud (8 sismos y MLv 5.4 respectivamente) se registró el día 13 de agosto (Figura 14).

La tasa de sismicidad se experimentó un nuevo salto a fines de octubre de 2021.

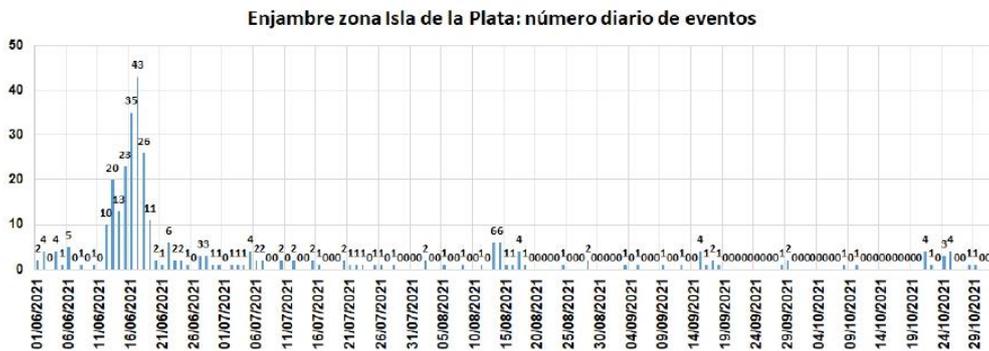


Figura 13. Número de eventos diarios en el enjambre en la zona de la Isla de La Plata.

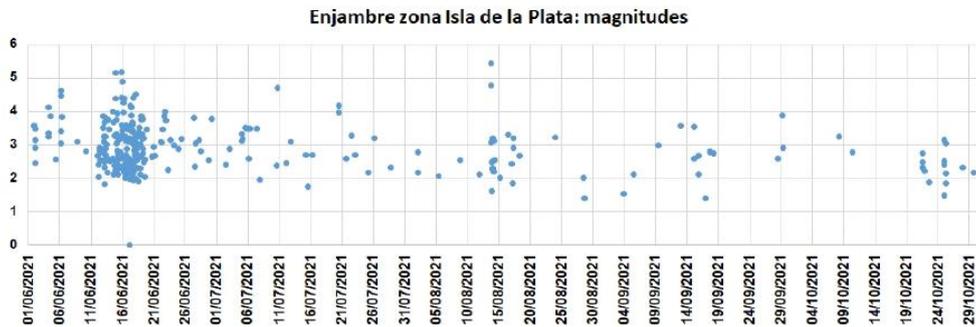


Figura 14. Magnitudes en el enjambre en la zona de la Isla de La Plata.

Durante el primer pulso, se observó una migración de los epicentros hacia el sur y hacia el final de este pulso, se registraron sismos tanto en el norte como en el sur. En el segundo pulso, los sismos ocurrieron al sur de la zona (Figura 15).

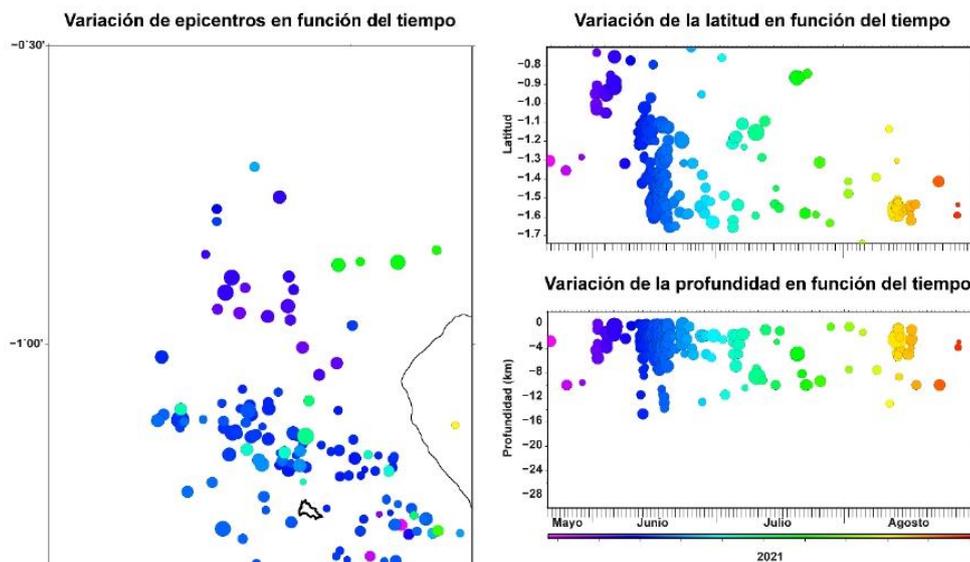


Figura 15. Ubicación epicentral y variación de la latitud y de la profundidad en función del tiempo (escala de colores) de los sismos del enjambre en la zona de la Isla de La Plata, entre junio y agosto 2021.

Las estaciones geodésicas (GPS) que forman parte de la Red Nacional de Geodesia (RENGEO) ubicadas en el margen costero, registraron un movimiento importante en dirección al oeste a inicios de junio (Figura 16). El máximo valor acumulado, hasta mediados de julio, fue de 7 cm en la estación ubicada en la Isla de la Plata. Este tipo de movimientos (conocidos como transitorios) ya se evidenciaron en crisis sísmicas previas [en 2010; Vallée et al., 2013 y en 2013; Segovia et al., 2018] y en esta ocasión, al igual que en el pasado, se identificó la ocurrencia de un sismo lento (SSE) en la zona de contacto o interfaz.

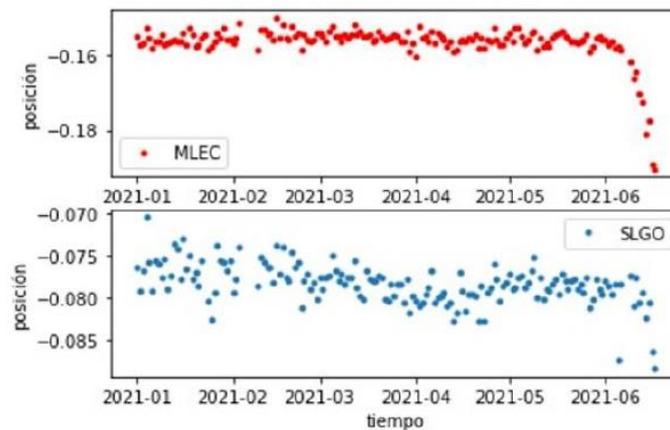


Figura 16. Series de tiempo de las componentes E-W de los GPS de las estaciones Cabo San Lorenzo (MLEC) y Salango (SLGO) de los primeros 7 meses del año 2021. Cada punto indica la posición media de un día para el respectivo sitio. La variación de la posición con valores negativos indica un movimiento hacia el oeste.

Para explicar estos movimientos en superficie (GPS) se realizó la modelación del deslizamiento en la zona de la interfaz (contacto entre la placa Nazca y el Sliver Norandino). Los resultados preliminares, utilizando 15 estaciones GPS (cortesía de J.-M. Nocquet) permitió reconstruir y cuantificar la evolución del movimiento: el movimiento empezó el 3 de junio en un área cercana a la fosa (muy superficial) al nor-oeste de Manta; en los días siguientes el deslizamiento se propagó hacia el sur-este, recorriendo una distancia de ~110 km con una velocidad de propagación estimada de ~4 km/día, la cual está dentro de los rangos observados para sismos lentos a nivel mundial. El desplazamiento acumulado en la interfaz fue de ~28 cm (Figura 17).

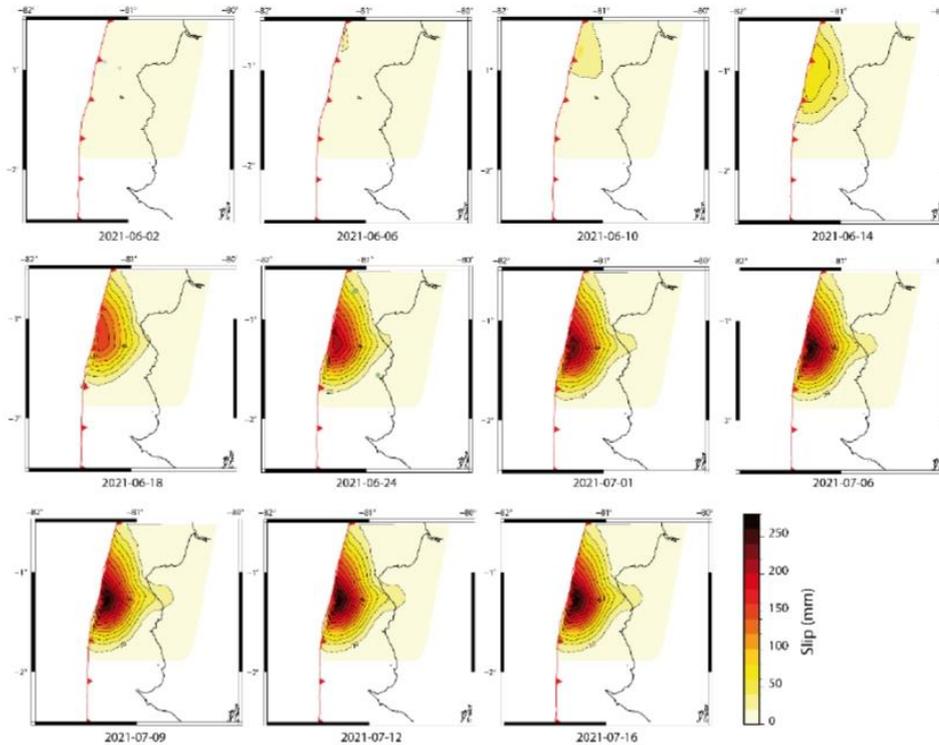


Figura 17. Evolución espacio-temporal del deslizamiento en la zona de la interfaz (sismo-lento) entre el 3 y el 16 de julio de 2021 en la zona de la Isla de La Plata: la escala de colores representa el deslizamiento acumulado a la fecha indicada. Cortesía J.-M. Nocquet.

La modelación realizada proporciona también la función temporal acumulada de la fuente, es decir una historia de cómo se fue liberando la energía acumulada en la zona de la interfaz; de esta forma, la mayor liberación de energía ocurrió entre el 10 y 20 de junio (Figura 18).

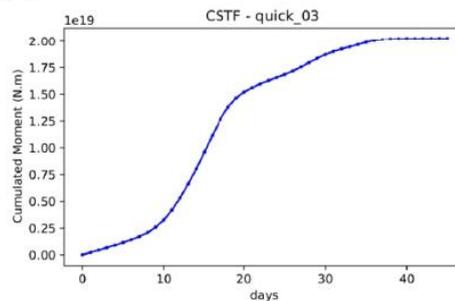


Figura 18. Función temporal de la liberación de la energía acumulada en la interfaz desde el 1 de junio: obsérvese que la mayor liberación de momento sísmico se da entre el 10 y 20 de junio (mayor pendiente de la curva), luego hay un segundo instante, entre el 20 de junio y el 14 de julio (aprox.) en que la tasa de liberación de energía tiene una menor velocidad (menor pendiente). Cortesía J.-M. Nocquet.

La energía acumulada liberada de forma sísmica (con todos los sismos del enjambre) fue equivalente a un sismo de 5.3 Mw (magnitud momento); mientras que la energía liberada de forma asísmica (con el sismo lento) fue equivalente a un sismo de 6.8 Mw; esto significa que el sismo lento liberó 186 veces más energía que los sismos tradicionales.

El análisis de los mecanismos focales con inversión de formas de onda (Figura 23, Tabla 5) corrobora la ocurrencia de los sismos del enjambre en la interfaz (mecanismos inversos), al igual que el sismo lento.

De acuerdo a la información recibida en la aplicación “Sintió el Sismo”, se estimaron las máximas intensidades reportadas para los dos sismos más grandes durante el enjambre, usando la Escala Macrosísmica Europea (EMS). Estas intensidades corresponden a los sismos del 15 de junio a las 20H30 (TU) Jipijapa, Manta, Portoviejo, Montecristi y del 13 de agosto a las 19H03 (TU) Puerto López, Ayampe, Jipijapa, Montañita, en ambos casos se determinaron valores de 3-4 en la escala EMS.

3. Sismo en Quito

El día 23 de noviembre a las 11h03 TL, se registró un sismo de magnitud 4.6 MLv, cuyo epicentro se localizó 3 km al sur-oeste de Puenbo (Figura 19). Este evento tiene su origen en la intersección del sistema de Fallas de Quito y las Fallas de Guayllabamba (Alvarado et al., 2016).

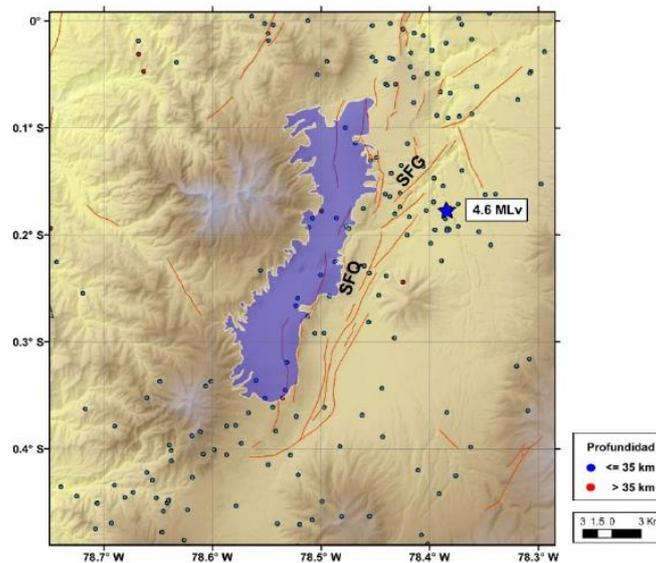


Figura 19. Ubicación del sismo en Quito, el 23 de noviembre a las 11h03 TL. Se incluye la sismicidad en la zona, durante todo el año 2021.

El mecanismo focal con inversión de formas de onda (Figura 23) indica una fuente inversa y una magnitud momento 4.5 Mw (magnitud preferida).

El evento tuvo dos réplicas, la primera a las 11h14 y la segunda a las 11h31 con magnitudes de 1.4 y 1.0 MLv respectivamente.

Por su poca profundidad, fue sentido ampliamente en Quito y con particular fuerza, ocasionando el desplazamiento y/o balanceo y en algunos casos la caída de objetos, además algunas viviendas sufrieron daños leves (no estructurales), como grietas muy delgadas y la caída de piezas de enlucido. Estas características indican que la intensidad del sismo fue de 5-6 en la Escala Macrosísmica Europea-EMS (Informe Sísmico Especial No. 2021-009: SISMO EN QUITO - 23 DE NOVIEMBRE 2021, <https://www.igepn.edu.ec/servicios/busqueda-informes>).

El sismo ocasionó deslizamientos en el sector nor-oriental de la ciudad, en taludes de Guápulo y en aquellos que miran a los valles de Cumbayá y Tumbaco y en el sector norte, entre Pomasqui y Calderón ocasionando nubes de polvo (<https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/sismo-registra-quito-fuerte-sectores.html>).

4. Sismo en el nor-oriental peruano

El 28 de noviembre, a las 05h52 TL se registró un sismo en el nor-oriental peruano a una profundidad de 126 km y que alcanzó una magnitud de 7.5 Mww (Fuente USGS). El epicentro de este evento estuvo a 270 km al ESE de la ciudad de Loja (Figura 20).

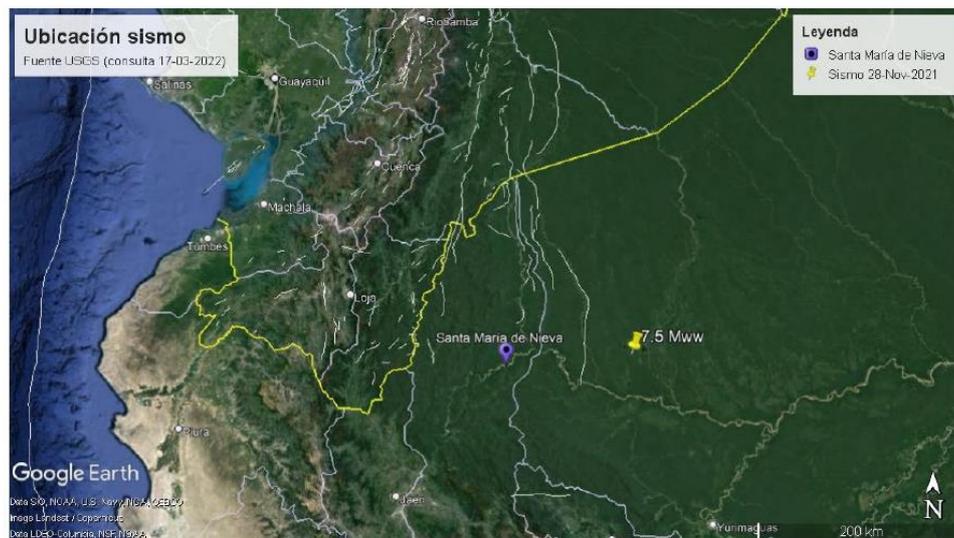


Figura 20. Ubicación del sismo en el nor-oriental peruano, el 28 de noviembre a las 05h52 TL.

Por su magnitud y profundidad, fue ampliamente sentido por toda la población en el sur y centro del país e incluso, en el norte, aunque en menor proporción. Se recibieron 807 reportes mediante la aplicación “Sintió el Sismo”, 11 de los cuales fueron fuera del territorio nacional, para la determinación de las intensidades por provincia (Figura 21).

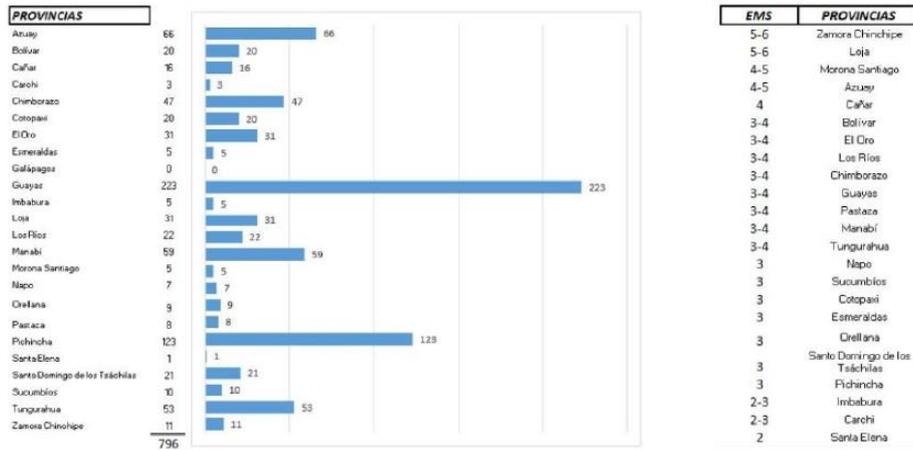


Figura 21. Reportes recibidos en la aplicación “¿Sintió el sismo?” para la determinación de las intensidades por provincia para el evento del 28 de noviembre a las 05h52 TL.

La máxima aceleración (PGA) registrada por la Red Nacional de Acelerógrafos fue de casi 40 cm/s², en la estación AMCR en Macará, en la componente horizontal Norte-Sur, es decir, aproximadamente el 4% del valor de la aceleración de la gravedad (Figura 22).

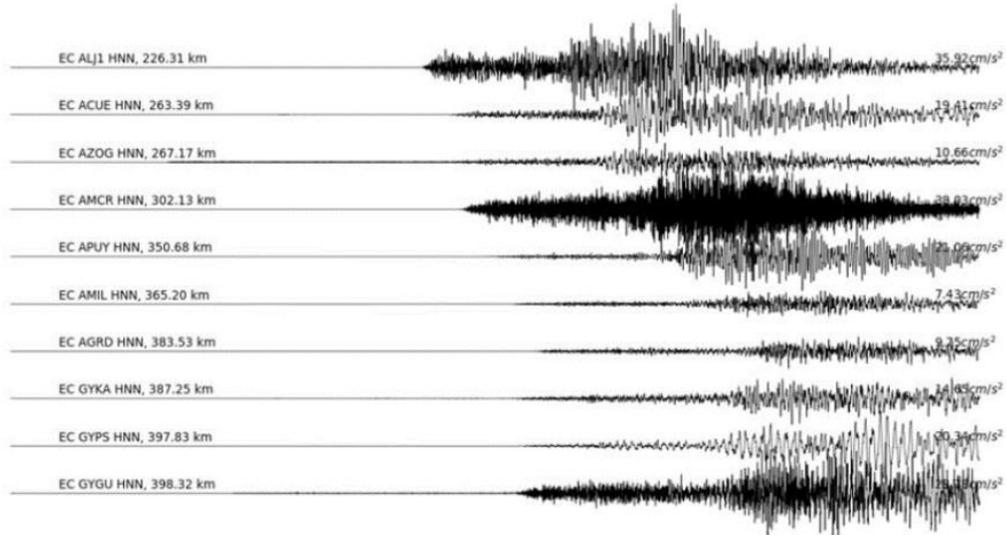


Figura 22. Acelerogramas de las estaciones más cercanas, indicando la distancia y el valor máximo de aceleración o pico de aceleración (PGA) en cm/s^2 .

La duración de la señal sísmica fue más de 100 segundos, lo que es normal para un evento de estas características (magnitud y profundidad grandes) y los valores de amplitud más altos, tuvieron una duración del orden de 30 a 50 segundos. Los daños observados y la intensidad con la que fue percibido el sismo, podrían ser explicados debido a la duración del evento más que al pico de aceleración (PGA).

MECANISMOS FOCALES CON INVERSION DE FORMAS DE ONDA (METODO MECAVEL)

En esta sección se presentan los mecanismos focales obtenidos con el método de inversión de formas de onda que permiten reconstruir el movimiento que ocurre en la fuente (falla) y también proporciona la magnitud de momento (M_w), método MECAVEL.

En la Tabla 5 se incluyen los resultados de la inversión: latitud, longitud, profundidad, magnitud momento (M_w), los parámetros del plano de falla: strike o rumbo, dip o buzamiento, rake o ángulo de deslizamiento medido sobre el plano y el parámetro de calidad de cada mecanismo obtenido: misfit o desajuste (mientras más bajo es este valor, la solución es más confiable); en la figura 23 se indica la magnitud M_w de cada sismo.

Tabla 5. Parámetros de los mecanismos focales con el método MECAVEL. (inversión de formas de onda).

Resultados de la Inversión													Datos iniciales							
Localización y magnitud				Plano 1*			Parámetros calidad						Localización y magnitud							
Lat _i	Lon _i	Prof _i	Mw	Strike 1	Dip 1	Rake 1	Estac.	NchE	NchN	NchZ	Misfit	AA	MM	DD	HH	MIN	Lat	Lon	Prof	MLv
1.180	-79.791	4.30	3.86	16	44	85	12	6	9	11	0.422	2021	1	10	8	25	1.230	-79.800	7.0	4.4
1.180	-79.762	4.20	3.66	350	49	41	12	8	8	6	0.406	2021	1	10	8	28	1.230	-79.799	10.0	4.0
1.216	-79.776	6.70	3.64	330	80	3	13	10	10	11	0.467	2021	1	10	9	30	1.260	-79.760	10.0	4.0
1.344	-79.871	6.20	4.06	255	57	103	5	1	2	3	0.593	2021	1	11	20	25	1.350	-79.840	10.0	4.0
-0.164	-80.470	24.00	3.80	42	22	144	17	10	11	16	0.457	2021	1	12	13	33	-0.190	-80.500	10.0	4.0
1.227	-79.831	9.80	4.52	34	40	91	15	7	7	15	0.311	2021	1	15	10	35	1.219	-79.802	10.0	4.7
1.185	-79.772	9.00	3.89	358	34	44	12	4	4	11	0.416	2021	1	15	18	45	1.168	-79.723	6.2	4.1
1.303	-79.832	4.60	4.51	354	34	53	14	8	8	14	0.372	2021	1	15	19	21	1.352	-79.869	10.0	4.7
1.222	-79.792	9.50	4.00	332	46	50	12	5	2	12	0.405	2021	1	15	19	36	1.214	-79.784	9.5	4.3
1.282	-79.860	8.20	4.04	357	42	47	16	7	8	16	0.426	2021	1	15	21	54	1.310	-79.819	5.0	4.3
1.124	-79.721	7.60	3.95	227	61	153	17	12	13	15	0.445	2021	1	16	10	43	1.171	-79.682	10.0	4.2
1.225	-79.818	8.40	4.10	330	55	28	12	9	9	10	0.416	2021	1	16	10	55	1.275	-79.780	5.0	4.2
-2.250	-79.805	69.00	4.58	333	56	-170	14	6	8	12	0.470	2021	1	21	10	15	-2.275	-79.757	50.0	4.8
0.807	-79.774	17.90	4.01	360	18	95	16	7	9	16	0.487	2021	1	25	4	29	0.825	-79.737	11.0	4.1
1.233	-79.830	6.80	4.16	172	46	66	15	7	6	14	0.447	2021	1	26	22	57	1.281	-79.823	7.0	4.1
1.139	-79.608	7.70	3.57	356	50	73	14	6	7	14	0.458	2021	1	27	7	30	1.155	-79.570	5.0	4.0
0.356	-78.379	4.80	3.33	242	21	70	4	3	3	4	0.516	2021	1	31	9	47	0.306	-78.390	7.0	3.0
-3.200	-77.785	9.10	4.16	327	46	-2	8	7	5	6	0.472	2021	2	3	11	41	-3.153	-77.779	10.0	4.5
-2.856	-77.866	21.80	3.66	0	31	38	10	4	3	10	0.213	2021	2	7	12	2	-2.842	-77.877	2.7	4.0
-2.583	-79.106	85.30	4.19	101	43	-137	8	1	0	7	0.330	2021	2	12	19	6	-2.555	-79.154	65.4	4.0

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253 - Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Página Web: www.igepep.edu.ec Email: geofisico@igepep.edu.ec
Apartado Postal 2759 - Quito, Ecuador

-4.071	-80.396	59.00	4.97	159	16	-94	10	7	6	10	0.480	2021	2	13	5	18	-4.065	-80.408	50.0	5.6
-3.999	-79.022	90.90	4.69	101	71	-134	12	5	3	12	0.289	2021	2	18	10	51	-4.007	-79.051	83.0	5.2
-1.471	-80.521	30.20	3.70	205	9	-33	9	2	2	8	0.411	2021	3	7	11	30	-1.521	-80.541	25.0	4.1
0.612	-80.125	17.20	3.52	214	17	-80	11	6	4	8	0.433	2021	3	12	11	51	0.612	-80.088	5.0	3.8
-2.734	-77.868	24.60	3.34	299	6	-13	9	0	0	9	0.228	2021	3	17	16	13	-2.763	-77.821	8.0	3.9
-2.303	-79.491	63.80	3.80	318	90	-138	8	2	1	7	0.421	2021	3	23	14	20	-2.351	-79.528	80.0	4.0
-2.399	-78.995	13.40	3.65	83	87	179	9	8	6	4	0.413	2021	3	24	7	8	-2.354	-79.043	5.0	4.2
-2.198	-77.630	179.30	4.20	202	27	-27	7	1	1	7	0.306	2021	3	26	20	6	-2.190	-77.587	160.0	4.1
-3.452	-80.887	29.00	4.04	57	8	129	11	1	1	11	0.460	2021	4	5	16	41	-3.490	-80.880	9.0	4.4
-1.397	-80.426	5.50	3.73	77	53	53	9	3	2	9	0.512	2021	4	8	9	8	-1.446	-80.388	2.3	4.3
-2.410	-79.542	29.00	3.50	10	35	153	15	4	2	12	0.306	2021	4	26	13	21	-2.460	-79.492	10.0	4.0
-2.459	-79.485	29.90	3.49	196	90	164	8	1	1	7	0.352	2021	4	26	16	58	-2.489	-79.487	10.0	3.9
-1.839	-78.852	20.80	3.85	305	73	-2	8	4	6	5	0.298	2021	5	2	8	26	-1.844	-78.848	4.3	4.0
-2.514	-80.478	3.20	4.03	88	14	-129	14	2	3	14	0.347	2021	5	5	7	2	-2.544	-80.429	9.0	4.3
-0.835	-80.469	16.60	3.86	307	9	68	9	2	0	9	0.327	2021	5	11	5	12	-0.885	-80.518	8.0	4.3
-1.012	-81.064	15.90	3.59	154	67	91	10	3	1	10	0.374	2021	6	4	6	48	-0.962	-81.071	9.2	4.1
-0.959	-81.159	11.10	4.15	158	67	89	12	4	4	12	0.372	2021	6	6	4	24	-0.913	-81.208	15.0	4.3
-0.950	-81.090	15.20	4.01	160	65	90	8	5	2	8	0.397	2021	6	6	4	31	-0.900	-81.140	5.0	4.5
-2.824	-77.877	8.70	3.74	92	7	-44	16	7	4	12	0.393	2021	6	11	7	46	-2.862	-77.888	2.8	4.1
-1.166	-81.078	22.80	3.60	68	38	18	3	0	1	2	0.480	2021	6	12	20	22	-1.202	-81.089	3.2	3.9
-1.374	-81.065	16.70	3.84	334	35	70	9	2	1	9	0.320	2021	6	14	9	24	-1.423	-81.096	10.0	4.0
-1.125	-81.215	10.80	4.72	335	34	75	13	8	5	13	0.299	2021	6	14	21	5	-1.149	-81.191	5.0	5.0
-1.123	-81.211	12.30	4.09	353	36	88	15	3	1	14	0.361	2021	6	14	21	49	-1.147	-81.253	5.0	4.5
-1.459	-81.137	10.80	4.94	360	29	108	12	7	3	12	0.369	2021	6	15	20	30	-1.509	-81.108	15.0	5.2
-1.491	-81.011	34.80	3.97	312	0	69	11	3	1	11	0.271	2021	6	15	21	3	-1.511	-81.061	10.0	4.3

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253 - Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
Página Web: www.igepep.edu.ec Email: geofisico@igepep.edu.ec
Apartado Postal 2759 - Quito, Ecuador

-1.513	-80.993	18.60	4.31	329	28	80	17	7	4	16	0.376	2021	6	16	0	32	-1.563	-81.039	10.0	4.8
-1.511	-81.017	18.60	4.02	103	34	135	11	4	0	11	0.261	2021	6	16	4	0	-1.521	-81.041	10.0	4.2
-1.500	-80.987	17.90	3.84	60	20	123	11	4	0	11	0.309	2021	6	16	4	51	-1.511	-81.020	10.0	4.0
-1.521	-80.997	19.10	4.25	4	27	83	12	5	3	12	0.319	2021	6	17	8	11	-1.526	-81.043	10.0	4.2
-1.520	-81.035	17.30	3.98	316	38	47	10	3	1	9	0.338	2021	6	17	11	32	-1.470	-81.009	10.0	4.1
-1.168	-81.101	13.30	4.11	171	50	82	10	2	1	10	0.338	2021	6	17	17	40	-1.118	-81.134	10.0	4.4
-1.321	-81.241	10.50	4.01	52	43	118	9	5	6	6	0.343	2021	6	18	3	17	-1.308	-81.212	10.0	4.5
-1.369	-80.929	22.00	4.01	357	30	64	12	2	2	12	0.323	2021	6	18	12	0	-1.321	-80.879	10.0	4.1
-0.823	-80.680	27.90	3.79	358	11	95	14	3	1	14	0.316	2021	7	2	9	30	-0.813	-80.652	12.4	4.0
-1.185	-81.067	12.00	4.18	333	30	78	18	1	1	18	0.342	2021	7	10	16	48	-1.145	-81.117	10.0	4.5
0.780	-80.409	10.90	4.20	168	75	49	15	6	5	14	0.317	2021	7	13	11	36	0.830	-80.437	13.0	4.6
-0.901	-80.881	21.30	3.83	205	73	49	11	1	1	11	0.340	2021	7	20	12	15	-0.862	-80.921	10.0	4.2
-0.193	-80.595	13.90	3.88	342	10	98	14	5	0	14	0.318	2021	8	10	6	54	-0.166	-80.643	4.0	4.2
-1.602	-81.083	8.60	4.65	346	24	102	16	3	2	16	0.397	2021	8	13	18	59	-1.594	-81.057	20.0	4.7
-1.504	-80.971	16.00	4.78	358	32	105	21	2	1	21	0.391	2021	8	13	19	3	-1.553	-81.018	10.0	5.4
-3.312	-78.305	11.70	4.37	63	59	-178	17	6	5	16	0.324	2021	8	31	9	11	-3.359	-78.324	10.0	5.0
-3.304	-80.297	40.70	4.13	348	84	4	9	2	1	7	0.407	2021	9	16	12	6	-3.350	-80.330	21.0	4.6
-3.060	-78.411	15.40	4.13	342	27	14	13	2	3	13	0.224	2021	9	19	12	23	-3.051	-78.413	20.0	4.6
-2.365	-80.013	40.90	3.61	329	79	100	8	2	0	8	0.371	2021	10	6	8	57	-2.415	-80.061	24.5	4.3
-2.464	-78.986	91.50	4.10	189	37	-41	8	4	4	7	0.297	2021	10	7	5	59	-2.466	-79.016	80.0	4.1
0.421	-80.552	13.10	4.38	26	42	112	14	6	7	13	0.316	2021	10	12	0	33	0.389	-80.598	7.0	4.4
-2.542	-79.583	18.80	3.82	122	22	-94	13	3	6	13	0.251	2021	11	11	9	43	-2.591	-79.564	5.0	4.2
1.264	-79.726	5.80	4.04	338	61	44	12	6	6	11	0.271	2021	11	18	4	13	1.291	-79.706	5.0	4.4
-1.912	-80.273	55.40	4.47	53	24	2	20	6	6	19	0.295	2021	11	20	22	6	-1.962	-80.258	40.0	4.9
-3.257	-80.858	32.50	3.88	306	45	-72	13	5	3	13	0.641	2021	11	22	15	13	-3.245	-80.808	12.5	4.3

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
 Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253 - Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
 Página Web: www.igepn.edu.ec Email: geofisico@igepn.edu.ec
 Apartado Postal 2759 - Quito, Ecuador

-0.169	-78.389	13.50	4.50	5	42	95	12	4	7	12	0.158	2021	11	23	16	3	-0.164	-78.402	5.0	4.5
-2.833	-77.509	4.80	4.80	342	0	-131	12	7	7	12	0.389	2021	12	6	6	30	-2.824	-77.470	-14.2	5.2
-2.729	-80.075	37.90	3.64	273	35	81	8	4	4	7	0.382	2021	12	20	7	51	-2.766	-80.125	18.0	4.2
-0.944	-77.687	15.10	4.22	202	62	105	17	2	4	16	0.428	2021	12	28	20	22	-0.929	-77.733	10.0	4.6

*Plano 2 es perpendicular al plano 1

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
 Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253 - Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
 Página Web: www.igepn.edu.ec Email: geofisico@igepn.edu.ec
 Apartado Postal 2759 - Quito, Ecuador

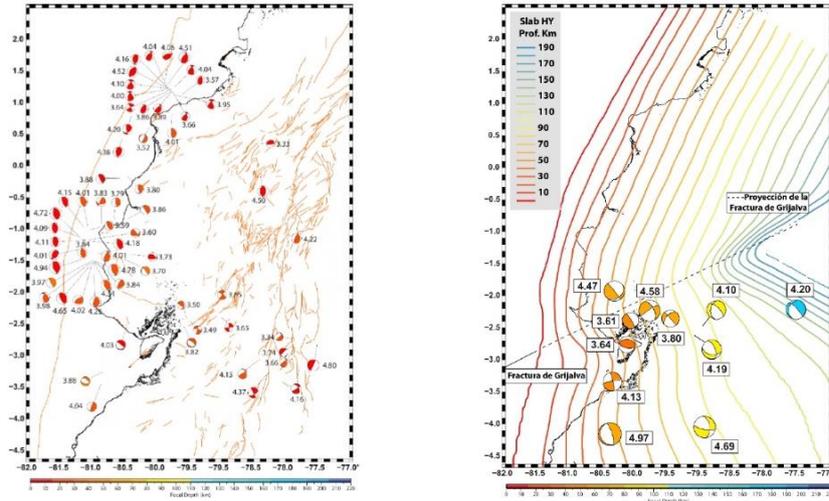


Figura 23. Mecanismos focales obtenidos con el método de inversión de formas de onda (MECAVEL). Izq. Sismos superficiales. Der. Sismos profundos.

MECANISMOS FOCALES DETERMINADOS CON PRIMEROS ARRIBOS (MÉTODO HASH)

En esta sección se presentan los mecanismos focales obtenidos con los primeros arribos de las formas de onda con el método HASH. Para los sismos de magnitudes pequeñas, el método de inversión de formas de onda no es aplicable y por esta razón, se usa esta metodología para determinar el mecanismo o movimiento en la fuente o falla.

En la tabla 6 se presentan los mecanismos obtenidos con primeros arribos y se incluye la siguiente información: latitud, longitud, profundidad, magnitud local (MLv), los parámetros del plano de falla: strike o rumbo, dip o buzamiento, rake o ángulo de deslizamiento medido sobre el plano. El número corresponde a los mapas de la figura 24.

Tabla 6. Parámetros de los mecanismos focales con el método de primeros arribos (HASH).

SISMOS FUENTES SUPERFICIALES (INTERFAZ O CORTICALES)								
No.	Latitud	Longitud	Prof. (Km)	MLv	Strike1	Dip1	Rake1	Fecha (TU)
1	-0.473	-77.933	6.0	2.7	191.6	56.5	125.5	01/02/2021 06:22:23
2	-2.972	-80.865	9.3	3.8	235.4	66.2	-92.9	01/02/2021 18:03:07
3	0.813	-77.967	5.0	3.9	58.2	84.0	-146.5	01/03/2021 08:13:53
4	0.808	-77.978	3.7	2.4	64.1	79.2	-147.6	01/03/2021 08:20:05
5	-2.352	-79.007	5.2	4.2	70.7	79.5	167.6	24/03/2021 07:08:53
6	-1.753	-78.727	4.1	3.2	267.1	60.4	-100.5	25/03/2021 12:35:31
7	-0.260	-78.522	4.7	2.7	227.8	79.5	-104.3	31/03/2021 12:03:55
8	0.630	-77.840	4.0	3.1	56.3	52.4	146.8	06/04/2021 09:02:03
9	-2.490	-79.493	7.2	3.3	210.7	49.2	-103.7	15/04/2021 16:41:02
10	-2.460	-79.492	9.3	4.0	49.0	66.7	172.0	26/04/2021 13:21:03
11	-2.472	-79.482	9.1	3.9	186.1	85.1	-166.8	26/04/2021 16:58:11
12	-1.825	-78.830	4.6	4.0	39.2	75.6	-175.2	02/05/2021 08:26:44
13	-2.527	-80.462	11.0	4.3	282.8	77.4	-125.3	05/05/2021 07:02:59
14	0.398	-78.218	3.9	2.8	271.8	83.5	152.3	08/07/2021 03:16:44
15	0.517	-79.313	17.2	3.4	242.7	80.0	149.0	14/08/2021 22:01:36
16	-1.452	-78.477	5.3	3.0	339.0	48.5	104.2	21/08/2021 07:22:05
17	-1.415	-78.140	11.0	3.8	32.2	79.8	170.3	21/08/2021 23:12:18
18	-3.320	-78.322	15.0	5.0	67.6	85.3	166.6	31/08/2021 09:11:03
19	-2.113	-77.642	7.6	4.2	7.5	28.1	-140.4	02/09/2021 20:34:45
20	-2.745	-79.678	3.6	3.8	266.2	89.0	-172.1	09/09/2021 15:32:39
21	-3.347	-80.288	25.6	4.5	45.1	81.6	-175.8	16/09/2021 12:06:50

Teléfonos: (2) 2225-655; (2) 222-5627; Fax: (593-2) 256-7847
 Dirección: Av. Ladrón de Guevara E11-253 - Fac. Ing. Civil y Ambiental - 6to Piso
 Página Web: www.igeppn.edu.ec Email: geofisico@igeppn.edu.ec
 Apartado Postal 2759 – Quito, Ecuador

22	-0.470	-78.693	10.0	3.3	158.7	75.6	160.5	02/10/2021 03:36:30
23	-2.407	-80.078	23.0	4.3	142.8	79.4	-108.6	06/10/2021 08:57:14
24	-2.587	-79.572	3.3	4.2	254.0	88.4	-157.4	11/11/2021 09:43:36
25	-1.963	-80.247	22.2	4.9	351.8	73.8	-131.6	20/11/2021 22:06:38
26	-0.175	-78.382	11.8	4.6	176.8	57.2	72.7	23/11/2021 16:03:22
27	0.740	-78.675	5.1	3.3	49.1	88.2	-163.2	17/12/2021 09:35:01
28	-1.183	-78.175	6.8	3.5	194.4	34.2	102.0	18/12/2021 04:15:42
29	0.392	-78.943	10.0	3.7	280.8	33.7	-75.2	24/12/2021 01:30:09
30	-2.857	-79.987	4.8	3.8	237.0	79.3	173.6	25/12/2021 18:24:26
31	-0.925	-77.785	10.0	4.5	346.7	36.6	47.0	28/12/2021 20:22:21

SISMOS FUENTES PROFUNDAS: SLAB

No.	Latitud	Longitud	Profundidad	MLv	Strike1	Dip1	Rake1	Fecha (TU)
1	-2.360	-79.540	67.7	4.0	337.3	39.8	-176.1	23/03/2021 14:20:52
2	-2.322	-79.807	54.9	3.2	276.4	72.3	121.9	06/04/2021 02:48:15
3	-2.183	-79.943	62.8	3.8	62.0	48.9	-121.1	20/05/2021 02:57:47
4	-2.340	-79.073	84.9	3.2	128.0	80.8	-98.1	01/07/2021 05:56:19
5	-3.352	-79.083	65.7	3.6	58.4	63.0	-114.0	26/08/2021 10:03:12
6	-1.985	-78.708	93.1	3.3	305.9	80.4	-112.6	27/08/2021 16:35:39
7	-2.385	-79.072	85.3	3.3	287.2	64.1	-132.7	27/09/2021 12:26:17
8	-2.485	-79.018	77.1	4.0	181.5	31.2	-78.7	07/10/2021 05:59:08
9	-2.150	-78.572	104.8	3.2	92.6	36.2	-129.0	20/10/2021 02:47:56
10	-1.877	-79.340	87.6	3.8	68.8	29.6	8.5	24/11/2021 05:27:10

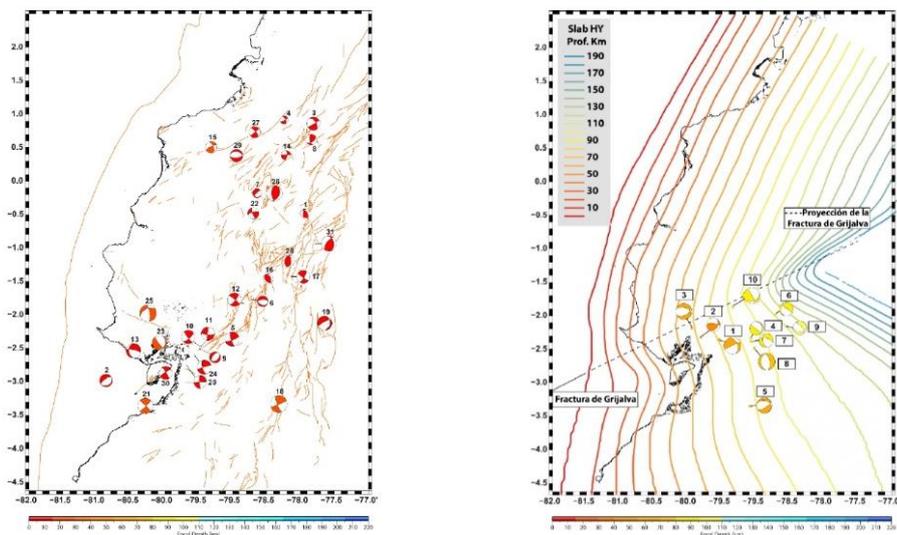


Figura 24. Mecanismos focales obtenidos con el método de primeros arribos (HASH). Izq. Sismos superficiales. Der. Sismos profundos.

CONCLUSIONES

El 2021 se puede catalogar como un año con una sismicidad moderada y con un número de eventos en el rango de lo esperado, cuando no hay crisis o sismos de magnitudes grandes. Para este año, se puede destacar:

- ❖ 8 sismos superaron la magnitud local (MLv) de 5; 3 sismos ocurrieron durante el enjambre en la zona de la Isla de La Plata (carácter superficial); 2 sismos profundos, el primero al oeste de Guayaquil y el segundo en el Oriente, en la prov. Zamora Chinchipe; 2 sismos superficiales en la prov. Morona Santiago; 1 sismo superficial en la prov. Loja, zona limítrofe con Perú.
- ❖ Ocurrieron dos enjambres sísmicos en la zona de subducción: el primero frente a las costas de Esmeraldas, con una duración de 1 mes aproximadamente; la magnitud máxima fue de 4.75 MLv. El segundo se registró frente a las costas de Manabí, entre Manta y Puerto López, en la zona de la Isla de La Plata, con una duración de 1.5 meses y una magnitud máxima fue de 5.4 MLv. Durante este enjambre, se detectó un cambio en la tendencia de movimiento de los GPS a lo largo de la línea costera lo que evidencia la ocurrencia de un sismo lento. La magnitud equivalente de este sismo lento fue de 6.8 Mw.
- ❖ Los dos sismos que causaron más alarma fueron: el registrado en Quito el 23 de noviembre y el registrado en la Amazonía peruana, el 28 de noviembre.

El primero, por su carácter superficial fue sentido con particular fuerza en Quito y alrededores; la intensidad determinada fue de 5-6 EMS en esta ciudad.

El segundo, por su magnitud y profundidad, fue sentido ampliamente en una gran parte del territorio ecuatoriano. Las intensidades máximas (5-6 EMS) se registraron en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. Los daños registrados en algunos puntos del sur del Ecuador se explican por la duración del movimiento, característica particular de este tipo de eventos.

Compilación y elaboración del informe:

Mónica Segovia. Para mayor información: msegovia@igeqn.edu.ec

Análisis y procesamiento de la información:

Localización de eventos: Emilio Acosta, Andrea Córdova, Guillermo Viracucha, Andrea García, Sandro Vaca, Mónica Segovia.

Mecanismos focales: Sandro Vaca, Guillermo Viracucha.

Intensidades y aceleraciones: Juan Gabriel Barros, Juan Carlos Singaicho, Cristian Viracucha.

REFERENCIAS

Alvarado, A. (2012), Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur, PhD Thèse, Université de Grenoble, 259p.

Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J.-M., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., Lamarque, G., Yepes, H., Mothes, P., Rolandone, F., Jarrin, P. y Quidelleur, X. (2014), Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity, *Tectonics*, 33, 67–83, doi:10.1002/2012TC003224.

Alvarado, A., L. Audin, J. M. Nocquet, E. Jaillard, P. Mothes, P. Jarrín, M. Segovia, F. Rolandone and D. Cisneros (2016), Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador, *Tectonics*, 35, doi :10.1002/2016TC004117.

Beauval, C., Marinière, J., Yepes, H., Audin, L., Nocquet, J.-M., Alvarado, A., Baize, S., Aguilar, J., Singaicho, J.-C. And Jomard, H. (2018), A New Seismic Hazard Model for Ecuador, *Bulletin of Seismological Societe of America*, doi:10.1785/0120170259.

HASH: A FORTRAN Program for Computing Earthquake First Motion Focal Mechanisms – v1.2 – January 31, 2008, Hardebeck and Shearer.

Escala EMS: <http://www.gfz-potsdam.de/en/section/seismic-hazard-and-stress-field/projects/previous-projects/seismic-vulnerability-risk-intensity-scales/ems-98/language-versions-of-ems-98/>

MECAVEL: Mercier de Lépinay, B., A., Deschamps, F., Klingelhoefer, Y., Mazabraud, B., Delouis, V., Clouard, Y., Hello, J., Crozon, B., Marcaillou, D., Graindorge, M., Vallée, J., Perrot, M.-P., Bouin, J.-M., Saurel, P., Charvis, and M., St-Louis (2011), The 2010 Haiti earthquake: A complex fault pattern constrained by seismologic and tectonic observations, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L22305, doi:10.1029/2011GL049799

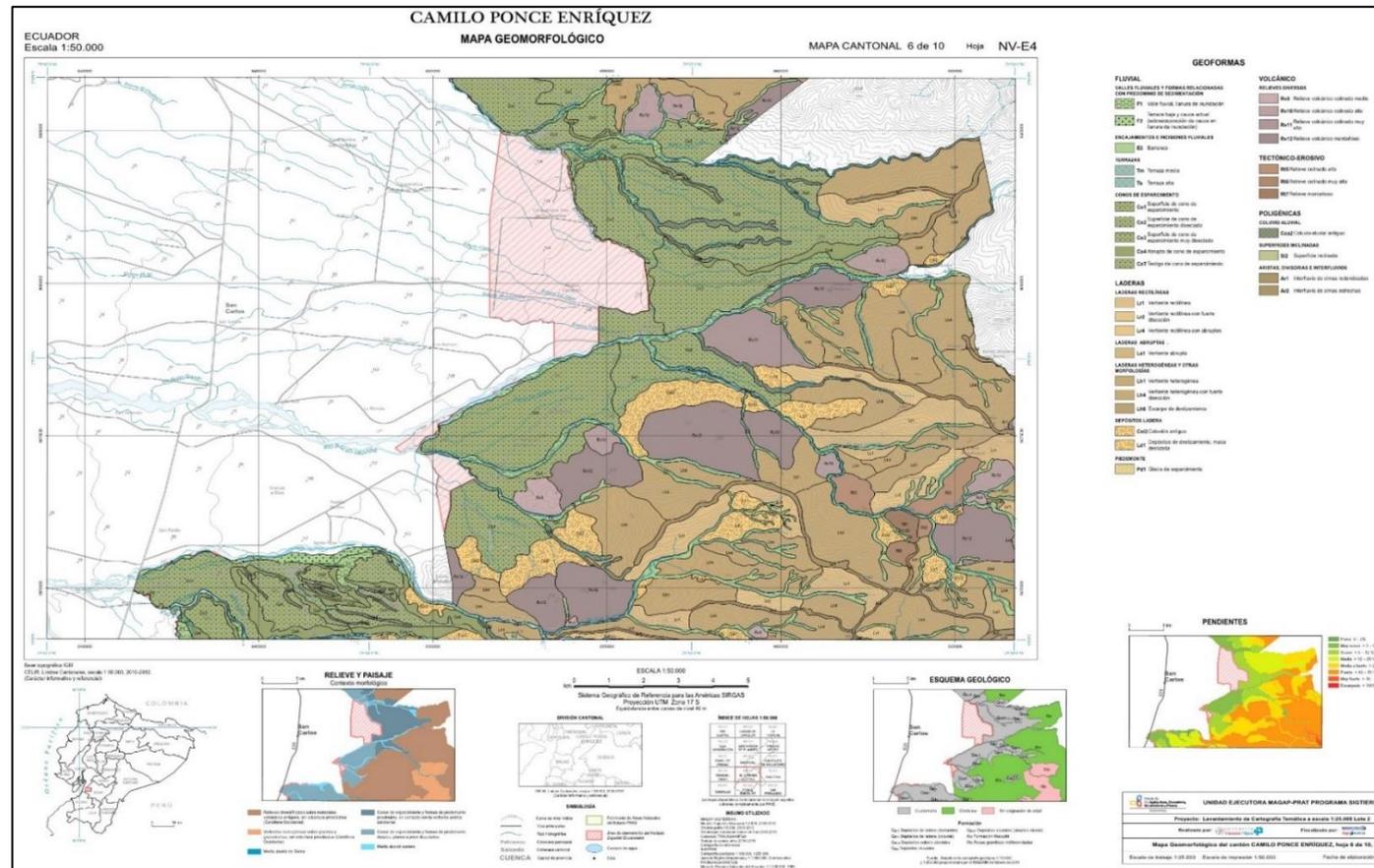
MECAVEL: Grandin, R., Borges, J. F., Bezzeghoud, M., Caldeira, B. and Carrilho, F. (2007), Simulations of strong ground motion in SW Iberia for the 1969 February 28 ($M_s= 8.0$) and the 1755 November 1 ($M\sim 8.5$) earthquakes – II. Strong ground motion simulations. *Geophysical Journal International*, 171: 807–822. doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03571.x.

Nocquet, J.-M., J. C. Villegas-Lanza, M. Chlieh, P. Mothes, F. Rolandone, P. Jarrín, D. Cisneros, A. Alvarado, L. Audin, F. Bondoux, X. Martin, Y. Font, M. Régnier, M., Vallée, T. Tran, C. Beauval, J. M. Maguiña Mendoza, W. Martinez, H. Tavera and H. Yepes

(2014), Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes, *Nature Geoscience*, DOI: 10.1038/NGEO2099.

Yepes, H., L. Audin, A. Alvarado, C. Beauval, J. Aguilar, Y. Font, and F. Cotton (2016), A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic source definition and seismic hazard assessment, *Tectonics*, 35, doi: 10.1002/2015TC003941.

Anexo 5. Mapa geomorfológico Camilo Ponce Enríquez.



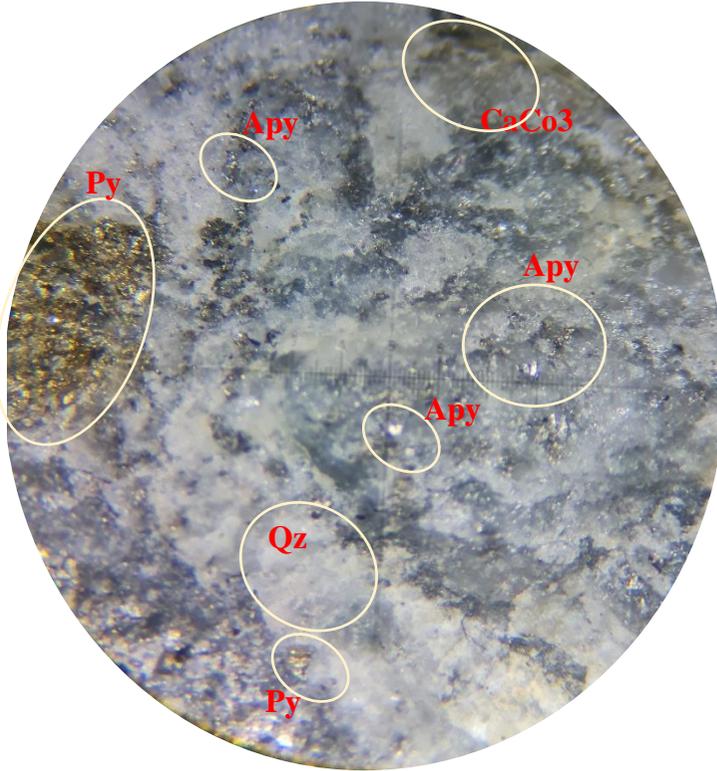
Recuperado de: Plataforma (SIGTIERRAS 2015), memoria técnica.

Anexo 6. Parámetros físicos de la mena.

Código muestra	Porcentaje de Humedad			pH Natural
	(W) Húmedo	(W) Seco g	% Humedad	
MPA01-VS	497,8	470,19	5,55	8,05
MPA02-X2AT	502,4	475,4	5,37	8,37
MPA03-PX-7	498,7	473,9	4,97	8,04
MPA04-X-7(2)	522,3	500,2	4,23	8,21

Código muestra	Gravedad Específica (SG)			
	W muestra g	W muestra (g) + H2O	W H2O	SG
MPA01-VS	21,91	114,12	99,63	2,95
MPA02-X2AT	21,91	113,68	99,63	2,79
MPA03-PX-7	21,91	113,63	99,63	2,77
MPA04-X-7(2)	21,91	113,87	99,63	2,86

Anexo 7. Caracterización macroscópica en las muestras de mena.

CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS DE MENA				
Ubicación:	Área minera “Las Paralelas”	Cód. muestra	MPA01 -VS	Laboratorio: Laboratorio de mineralogía y petrografía de la carrera de Ingeniería en Minas de la UNL.
Fecha:	20/12/2022	Sector:	Veta San Antonio (veta 1)	
Veta 1				
 <p style="text-align: center;">Descripción</p> <p>Veta encajada en roca: Volcánica extrusiva. (Rio-Dacita). Color: Gris claro. Textura: Afanítica. Veta de Qz encajada en roca rio-dacítica, presenta hilos de carbonatos de 2 -3 cm de espesor, presencia de alteración hidrotermal.</p>		 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>MINERALES OBSERVADOS</p> <p>Mineral Py (FeS₂) Color = Amarillento Raya= Gris oscuro Lustre= metálico brillante latón < 0,5 mm</p> <p>Mineral Apy (FeAsS) Color = Palteado, blanco Raya= Gris claro Lustre= metálico < 0,4 mm</p> <p>Mineral Qz (SiO₂)</p> <p>Mineral CaCo3</p> </div>		

CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS DE MENA

Ubicación:	Área minera “Las Paralelas”	Cód. muestra	MPA02 -X2AT	Laboratorio: Laboratorio de mineralogía y petrografía de la carrera de Ingeniería en Minas de la UNL.
Fecha:	20/12/2022	Sector:	Veta Alta X-2 (veta 2)	

Veta 2



Descripción

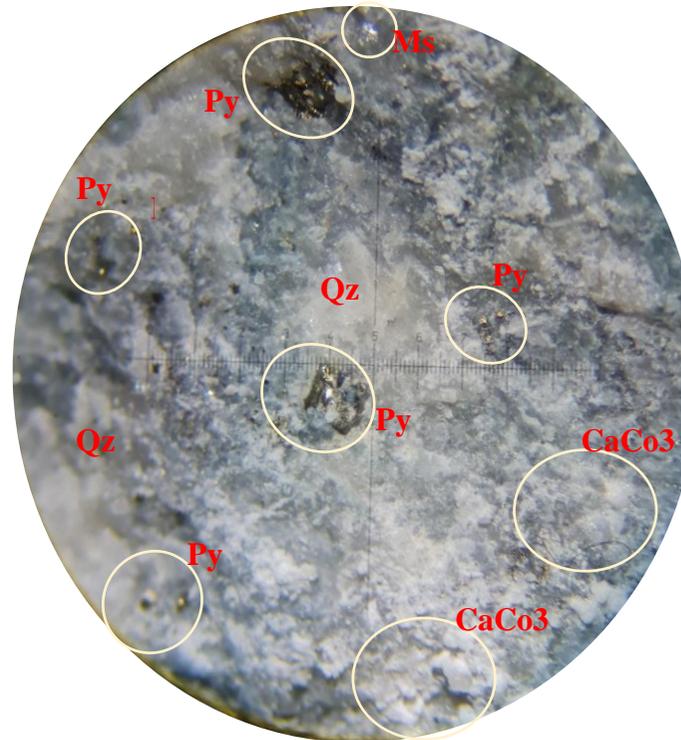
Veta encajada en roca:

Volcánica extrusiva. (Rio-Dacita).

Color: Gris claro.

Textura: Afanítica.

Veta de Qz encajada en roca rio-dacítica, presenta hilos de carbonatos de 2 - 6 cm de espesor, presencia de alteración



MINERALES OBSERVADOS

Mineral Py (FeS₂)

Color = Amarillento

Raya= Gris oscuro

Lustre= metálico brillante latón
< 1,5 mm

Mineral Qz (SiO₂)

Mineral CaCo₃

Mineral (Ms)

KAl₂(AlSi₃O₁₀) (OH)₂

CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS DE MENA

Ubicación:	Área minera “Las Paralelas”	Cód. muestra	MPA03-X7P	Laboratorio de mineralogía y petrografía de la carrera de Ingeniería en Minas de la UNL.
Fecha:	21/12/2022	Sector:	Veta X-7 Prolongación (veta 3)	

Veta 3



Descripción

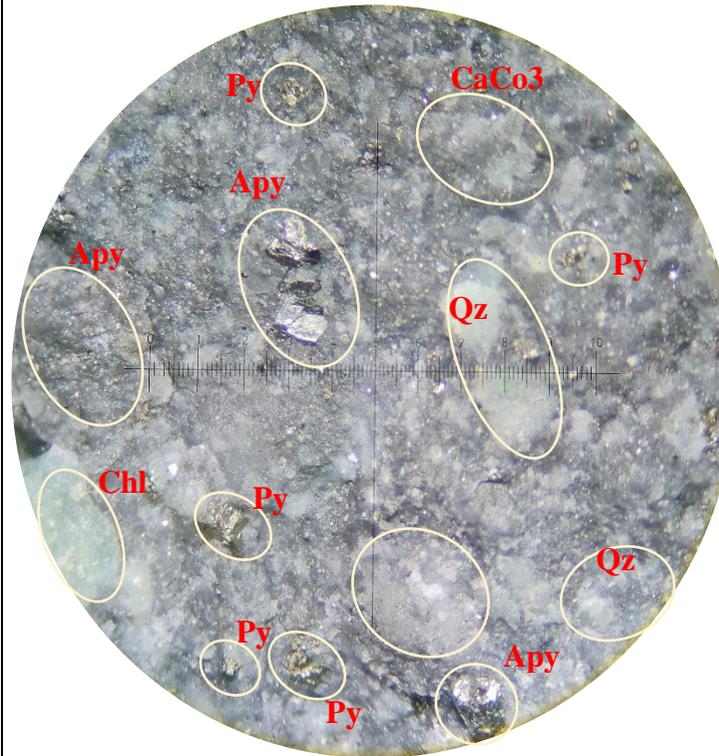
Veta encajada en roca:

Volcánica extrusiva. Andesita basáltica.

Color: verdoso oscuro

Textura: Afanítica.

Veta de Qz encajada en roca andesita basáltica, presenta hilos de carbonatos de 5 a 8 cm de espesor, acompañada de alteración hidrotermal en roca.



MINERALES OBSERVADOS

Mineral Py (FeS₂)

Color = Amarillento

Raya= Gris oscuro

Lustre= metálico brillante latón

< 0,5mm

Mineral Apy (FeAsS)

Color = Palteado, blanco

Raya= Gris claro

Lustre= metálico

< 1,8 mm

Mineral Qz (SiO₂)

Mineral CaCo3

Mineral Chl

(Mg,Fe)₃(Si,Al)₄O₁₀

CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA DE LAS MUESTRAS DE MENA

Ubicación:	Área minera “Las Paralelas”	Cód. muestra	MPA04-X7(2)	Laboratorio: Agrimroc S. A.
Fecha:	22/12/2022	Sector:	Veta X-7 (2) (veta 4)	

Veta 4



Descripción

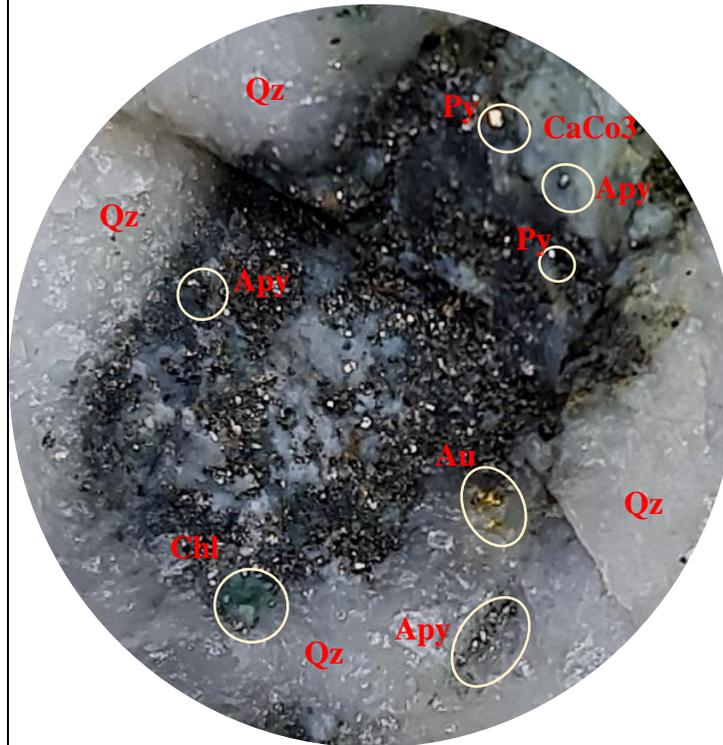
Veta encajada en roca:

Volcánica extrusiva. Andesita basáltica.

Color: verdoso oscuro

Textura: Afanítica.

Veta de Qz encajada en roca andesita basáltica, presenta hilos de carbonatos de 6 cm de espesor, acompañada de alteración hidrotermal en roca, presencia de óxidos.



MINERALES OBSERVADOS

Mineral Py (FeS₂)

Color = Amarillento

Raya= Gris oscuro

Lustre= metálico brillante latón
< 0,5 mm.

Mineral Apy (FeAsS)

Color = Palteado, blanco

Raya= Gris claro

Lustre= metálico
< 1,0 mm

Mineral Qz (SiO₂)

Mineral CaCo3

Mineral Chl (Mg,Fe)₃(Si,Al)₄O₁₀

< 1,5mm

Mineral Au; < 1,0 mm

Anexo 8. Análisis químico por fluorescencia de rayos X y mineralógico por difracción de rayos X.



INFORME DE ENSAYO

OTIV-130 Rev. 0
31/03/2023



INFORME DE ENSAYO

OTIV-130 Rev. 0
31/03/2023



INFORME DE ENSAYO

OTIV-130 Rev. 0
31/03/2023

II. ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Muestra MPA03-X-7P

Análisis Químico Semicuantitativo

Fórmula	%
SiO ₂	47.45
CaO	12.14
Al ₂ O ₃	8.35
Fe ₂ O ₃	5.40
MgO	3.41
SO ₃	3.25
As ₂ O ₃	2.74
K ₂ O	1.56
TiO ₂	0.22
MnO	0.13
ZnO	0.10
Cr ₂ O ₃	0.05
Si ₂ O ₃	0.04
P ₂ O ₅	0.03
PbO	0.02
CuO	0.01

MUESTRA	LOI
MPA03-X-7P	15.1

Muestra MPA02-X2AT

Análisis Químico Semicuantitativo

Fórmula	%
SiO ₂	33.66
Al ₂ O ₃	16.92
CaO	13.48
Fe ₂ O ₃	6.47
MgO	4.41
K ₂ O	1.78
SO ₃	0.83
Na ₂ O	0.23
TiO ₂	0.20
As ₂ O ₃	0.16
MnO	0.14

MUESTRA	LOI
MPA02-X2AT	21.7

Muestra MPA01-V5

Análisis Químico Semicuantitativo

Fórmula	%
SiO ₂	42.20
Al ₂ O ₃	20.08
CaO	7.48
Fe ₂ O ₃	5.31
K ₂ O	3.04
MgO	2.58
SO ₃	2.52
As ₂ O ₃	1.06
TiO ₂	0.44
Na ₂ O	0.25
MnO	0.07
P ₂ O ₅	0.07

MUESTRA	LOI
MPA01-V5	14.9

Muestra MPA04-X-7(2)

Análisis Químico Semicuantitativo

Fórmula	%
SiO ₂	50.17
CaO	11.62
Al ₂ O ₃	9.16
MgO	5.00
Fe ₂ O ₃	4.29
K ₂ O	1.35
As ₂ O ₃	1.29
SO ₃	0.99
TiO ₂	0.23
MnO	0.13
Cr ₂ O ₃	0.04
P ₂ O ₅	0.03
ZnO	0.01

MUESTRA	LOI
MPA04-X-7(2)	15.7

Tomado: Laboratorio de Investigación y Servicios para la Actividad Minera e industrial BIZALAB, pág. 4-5; 31/03/2023 solicitado por el Ing. Alex Cevallos Pacheco.

III. ANALISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Muestra MPA03-X-7P

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO ₂	49
Mica (Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	14
Calcita	CaCO ₃	11
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	9
Ankerita	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂	7
Arsenopirita	FeAsS	4
Pirita	FeS ₂	2
Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	2
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	< L. D.
Anatasa	TiO ₂	0

Muestra MPA02-X2AT

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO ₂	25
Ankerita	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂	23
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	21
Mica (Muscovita)*	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	15
Turmalina (Dravita)	NaMg ₃ Al ₆ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄	5
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	5
Calcita	CaCO ₃	2
Pirita	FeS ₂	2

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

* La mica puede contener otra fase de mineral laminar interestratificada. Se recomienda realizar estudios complementarios para su detección.

Muestra MPA01-V5

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO ₂	35
Mica (Muscovita)*	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	25
Ankerita	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂	13
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	11
Calcita	CaCO ₃	4
Pirita	FeS ₂	4
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	4
Arsenopirita	FeAsS	2
Anatasa	TiO ₂	< L. D.

Muestra MPA04-X-7(2)

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO ₂	52
Ankerita	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂	12
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	15
Mica (Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	12
Calcita	CaCO ₃	3
Arsenopirita	FeAsS	2
Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	2
Pirita	FeS ₂	< L. D.

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

* La mica puede contener otra fase de mineral laminar interestratificada. Se recomienda realizar estudios complementarios para su detección.

OBSERVACIONES:

- Los resultados aproximados han sido redondeados a su menor valor entero, por lo que la sumatoria de los resultados no siempre suma el 100%.
- El presente informe no puede ser utilizado como certificado.
- Los resultados corresponden a las muestras proporcionadas por el cliente, las cuales han sido entregadas en las instalaciones del laboratorio.
- Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento.
- %: Porcentaje masa relativa (g/g).
- < L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

Tomado: Laboratorio de Investigación y Servicios para la Actividad Minera e industrial BIZALAB, pág. 7-13; (31/03/2023), solicitado por el Ingeniero Alex Cevallos Pacheco.



REPORTE DE LABORATORIO N° L000021589

Pág. 1

Cliente:	ALEX DAVID CEVALLOS PACHECO	Orden de Trabajo:	
Dirección:	S/N	Fecha de Ingreso:	24/03/2023
RUC / DNI / Otros:	1104682990	Fecha de Resultados:	27/03/2023
Atención:		Tipo de Ensayo:	ICP MULTIELEMENTOS
Referencias:	Mostrador	Cantidad de Muestras:	4

Código CHP	Descripción de la Muestra	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Ba ppm	Bi ppm	Ca %	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm
125366	MPA 01-V5	2.0	>5.0	>10000	86.0	<1	<5	>5.0	<2	19.0	75.0
125367	MPA 02-X2AT	<1	>5.0	1820.0	183.0	<1	<5	>5.0	<2	11.0	28.0
125368	MPA 03-X-7P	11.0	2.57	>10000	29.0	<1	<5	>5.0	26.0	14.0	130.0
125369	MPA 04-X-7 (2)	<1	2.68	>10000	28.0	<1	<5	>5.0	10.0	12.0	147.0
		Cu %	Fe %	K %	Mg %	Mn %	Mo ppm	Na %	Pb ppm	P ppm	Pb %
125366	MPA 01-V5	<0.01	>5.0	2.23	1.74	0.09	7.0	0.10	26.0	230.0	<0.01
125367	MPA 02-X2AT	<0.01	>5.0	1.32	3.11	0.12	6.0	0.09	16.0	70.0	<0.01
125368	MPA 03-X-7P	<0.01	>5.0	1.04	1.59	0.10	6.0	0.03	41.0	53.0	0.03
125369	MPA 04-X-7 (2)	<0.01	3.56	0.04	2.72	0.09	<5	0.03	42.0	45.0	<0.01
		Sb ppm	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ti %	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn %	Zr ppm
125366	MPA 01-V5	60.0	22.0	18.0	45.0	0.05	181.0	<1	8.0	<0.01	6.0
125367	MPA 02-X2AT	9.0	9.0	10.0	66.0	0.05	54.0	<1	16.0	<0.01	10.0
125368	MPA 03-X-7P	216.0	16.0	77.0	36.0	0.03	95.0	<1	7.0	0.11	<1
125369	MPA 04-X-7 (2)	53.0	16.0	39.0	27.0	0.02	89.0	223.0	7.0	0.02	<1

Notas:

Vago
 C.H. PLENGE & CIA. S.A.
 Alicia Huamantla
 ALICIA HUAMANTLA
 ING. QUIMICA # 12141

Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo de 3 meses, vencido el plazo se procederá al desecho de las mismas.

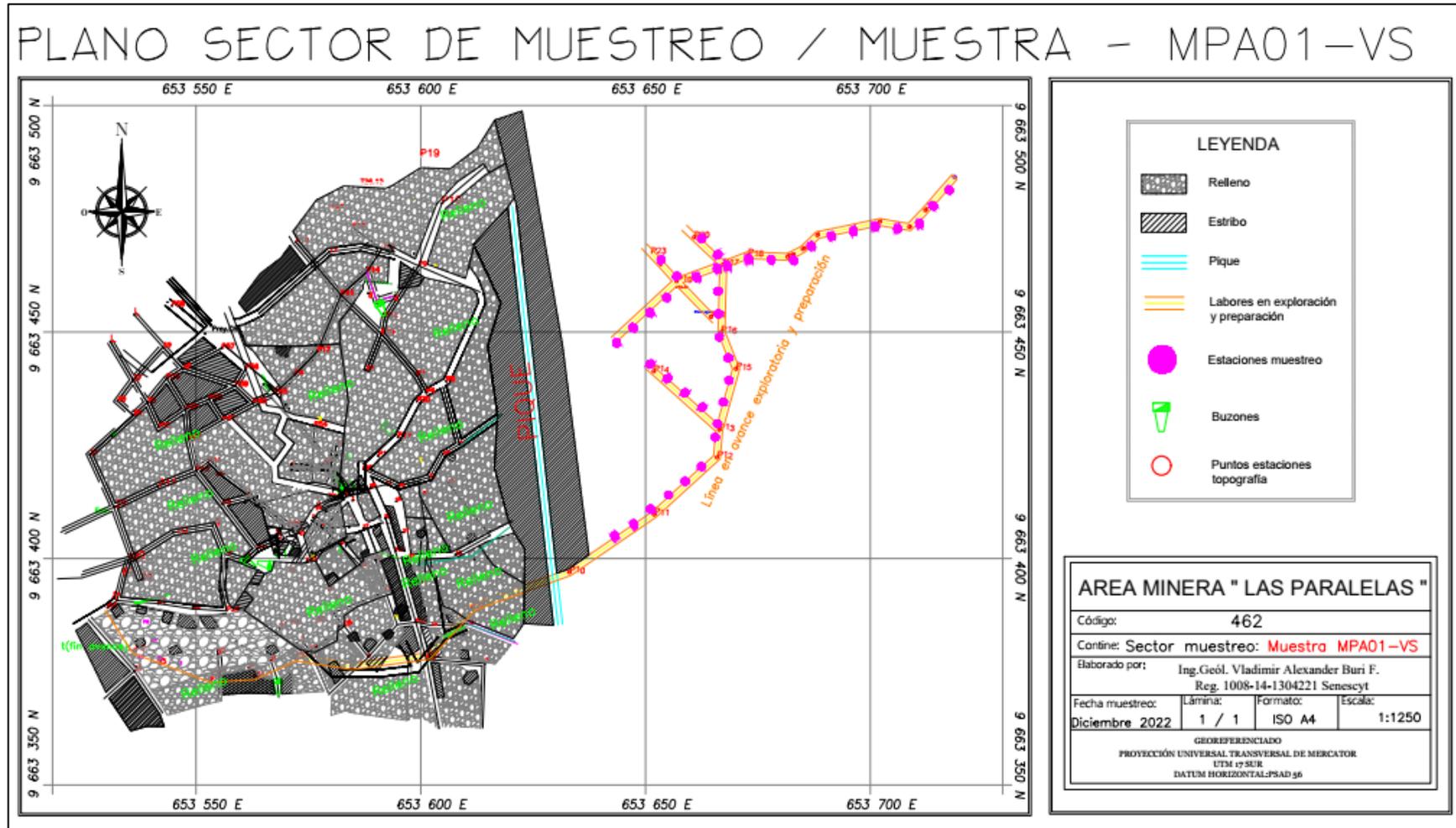
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de C.H. PLENGE & CIA. S.A.

ORIGINAL

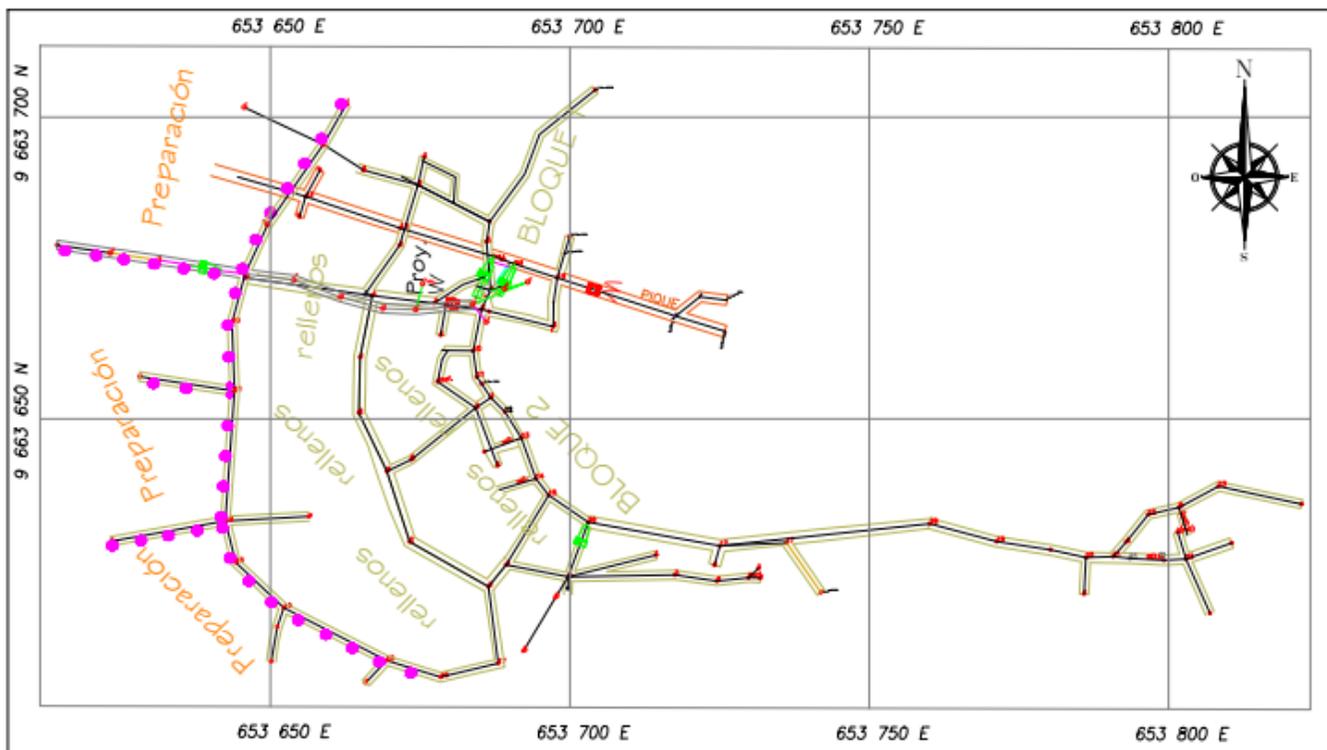
C.H. PLENGE & CIA. S.A.
 Av. Del Ejército 1142, Miraflores, Lima 15074 - Perú
 T. 441 3959 / 441 8106 Whatsapp 924 118 851
 www.plengecia.pe

Tomado: Reporte de Laboratorio PLENGUE, códigos CHP (253366,125367,125368,125369). (27/03/2023), solicitado por el Ingeniero Alex Cevallos Pacheco.

Anexo 9. Mapa de muestreo y ubicación interior mina.



PLANO SECTOR DE MUESTREO / MUESTRA - MPA02-X2AT

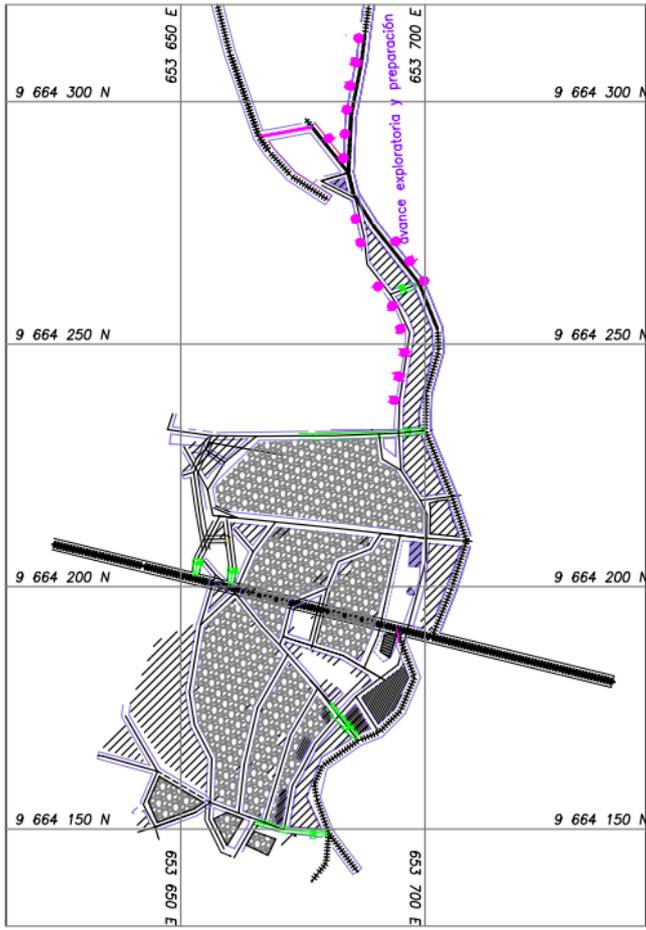


LEYENDA

-  Winche
-  Buzones
-  Pique
-  Labores Mineras
-  Estaciones muestreo
-  Puntos topografía

AREA MINERA " LAS PARALELAS "			
Código:	462		
Contino:	Sector muestreo: MPA02-X2AT		
Elaborado por:	Ing. Geól. Vladimir Alexander Bari F. Reg. 1008-14-1304221 Senecoyt		
Fecha muestreo:	Lámina:	Formato:	Escala:
Diciembre 2022	1 / 1	ISO A4	1:1200
<small> GEOREFERENCIADO PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM 17 SUR DATUM HORIZONTAL PSAD 56 </small>			

PLANO SECTOR DE MUESTREO / MUESTRA - MPA04-X7(2)



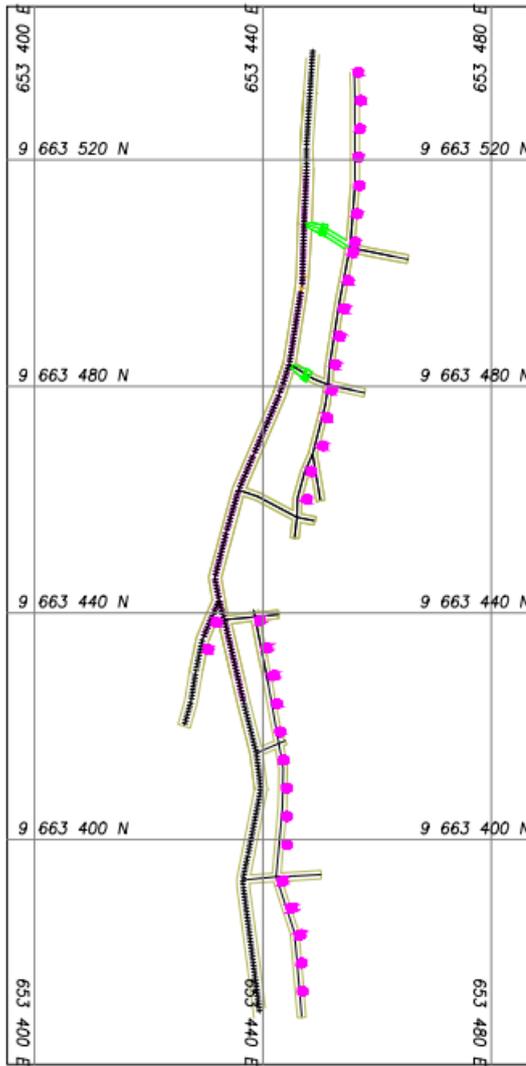
LEYENDA

-  Relleno
-  Estribo
-  Línea exploratoria
-  Labores accesos
-  Estaciones muestreo
-  Buzones
-  Puntos estaciones topografía



AREA MINERA " LAS PARALELAS "			
Código:	462		
Contine:	Sector muestreo: MPA04-X7(2)		
Elaborado por:	Ing.Geól. Vladimir Alexander Buri F. Reg. 1008-14-1304221 Scenesyct		
Fecha muestreo:	Lamina:	Formato:	Escala:
Diciembre 2022	1 / 1	ISO A4	1:1250
GEOREFERENCIADO PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM 17 SUR DATUM HORIZONTAL:PSAD 56			

PLANO SECTOR DE MUESTREO / MUESTRA - MPA03-X7P



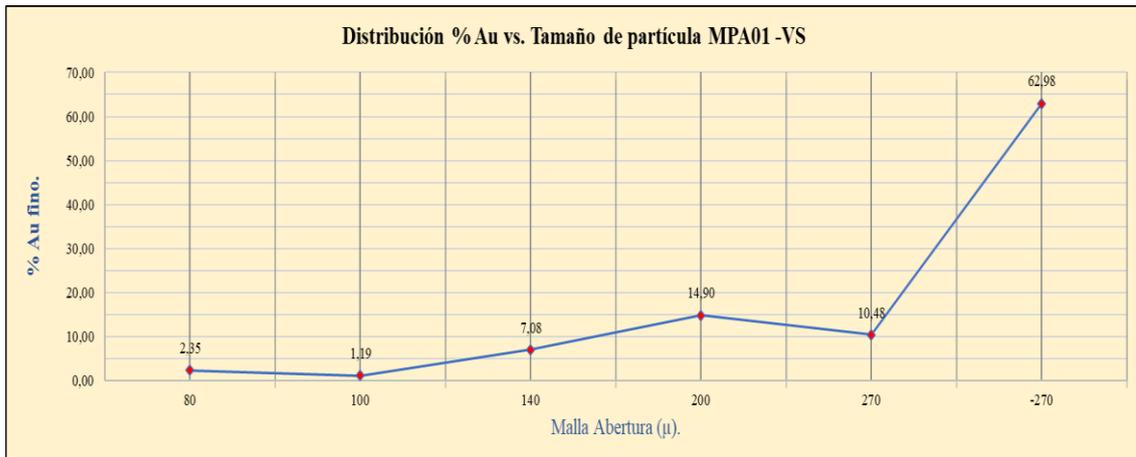
LEYENDA

- Línea exploratoria Principal
- Labores accesos
- Estaciones muestreo
- Buzones
- Puntos estaciones topografía

AREA MINERA " LAS PARALELAS "			
Código:	462		
Contine:	Sector muestreo: MPA03-X7P		
Elaborado por:	Ing. Geól. Vladimir Alexander Buri F. Reg. 1008-14-1304221 Senescyt		
Fecha muestreo:	Lámina:	Formato:	Escala:
Diciembre 2022	1 / 1	ISO A4	1:1000
GEOREFERENCIADO PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM 17 SUR DATUM HORIZONTAL: PSAD 56			

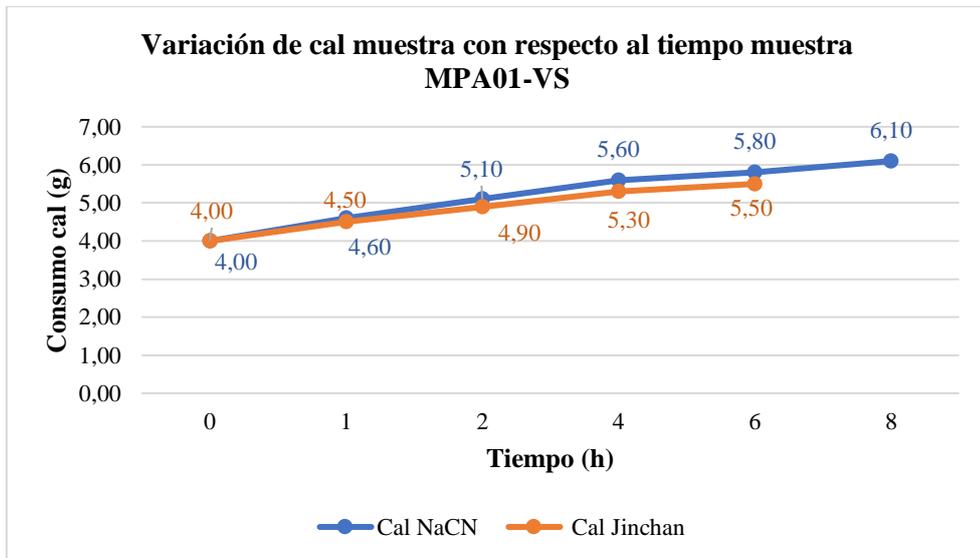
Anexo 10. Malla valorada.

MALLA VALORADA MPA01 -VS								
MALLA	Abertura Malla (μ)	W retenido (g)	(% W)retenido	(% W) pasante	% W(+)	Contenido Au (g) Malla	LEYES Au (g/t)	% Au Fino
80	180	22,32	4,46	95,54	4,46	272,53	12,21	2,35
100	150	14,31	2,86	97,14	7,33	137,777	9,63	1,19
140	106	35,44	7,09	92,91	14,41	819,37	23,12	7,08
200	74	53,74	10,75	89,30	25,16	1725,05	32,10	14,90
270	53	48,32	9,66	90,38	34,83	1212,8	25,10	10,48
-270	53	326,11	65,22	34,83	100,05	7089,305	21,74	62,98
Totales =		500	100			11256,87		100
Total ley Malla valorada =		22,50				Muestra		
Cabeza Analisis (g/t) =		22,50				MPA01 -VS		
Peso muestra (g) =		500						

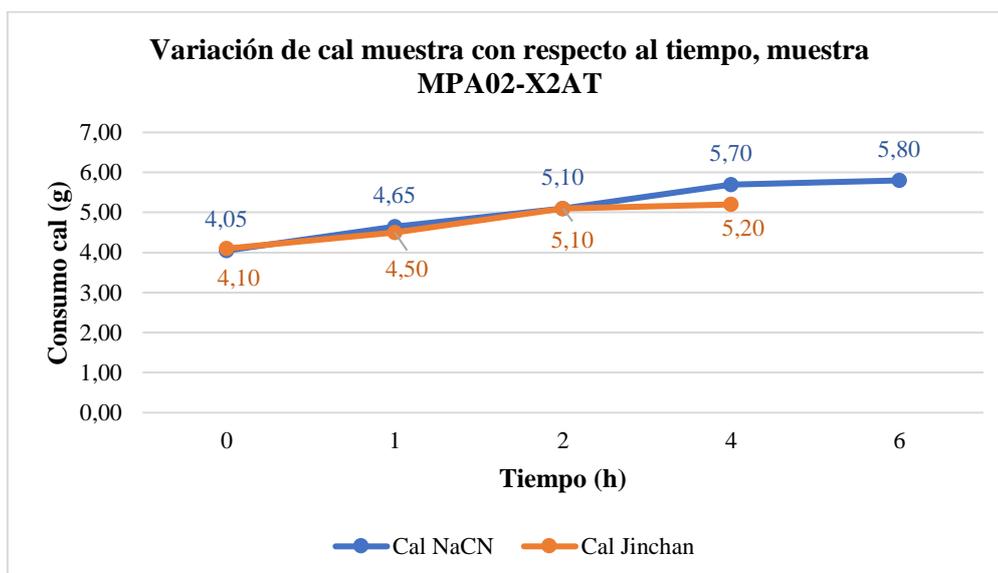


Anexo 11. Tablas, figuras variación y consumo de cal.

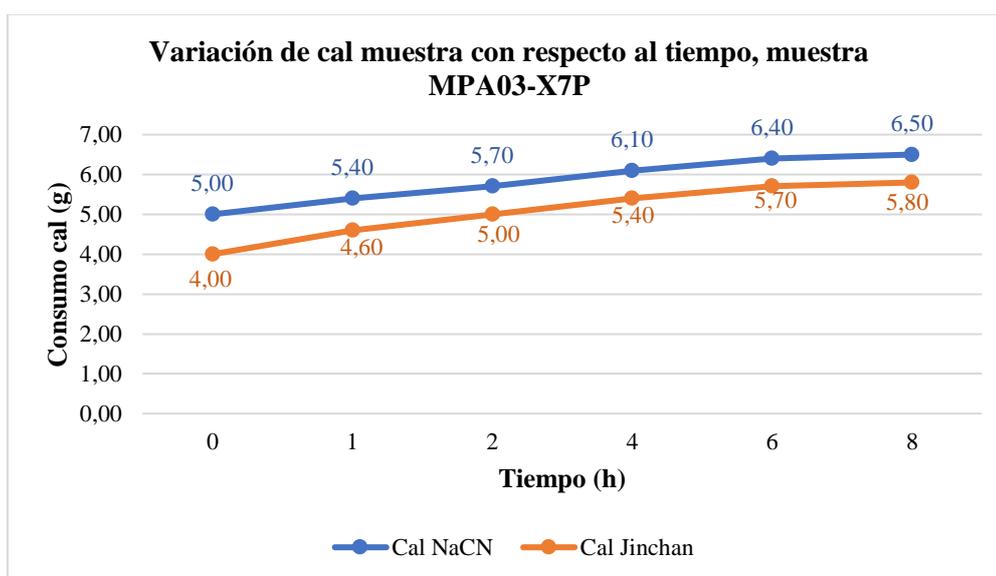
ADICIÓN DE CAL CON NaCN; Muestra MPA01-VS				ADICIÓN DE CAL CON JINCHAN; Muestra MPA01-VS			
Tiempo (h)	CAL (g)	Adición de CAL (g)	Total CAL (g)	Tiempo (h)	CAL (g)	Adición de CAL (g)	Total CAL (g)
0	4,00	0,00	4,00	0	4,00	0,00	4,00
1	0,00	0,60	4,60	1	0,00	0,50	4,50
2	0,00	0,50	5,10	2	0,00	0,40	4,90
4	0,00	0,50	5,60	4	0,00	0,40	5,30
6	0,00	0,20	5,80	6	0,00	0,20	5,50
8	0,00	0,30	6,10	8	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	10	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	12	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	16	0,00	0,00	0,00
Total g adicionados=			6,10	Total g adicionados=			5,50
Consumo Cal (Kg/t)=			4,58	Consumo Cal (Kg/t)=			4,13



ADICIÓN DE CAL CON NaCN; Muestra MPA02-X2AT				ADICIÓN DE CAL CON JINCHAN; Muestra MPA02-X2AT			
Tiempo (h)	CAL (g)	Adicion de CAL (g)	Total CAL (g)	Tiempo (h)	CAL (g)	Adicion de CAL (g)	Total CAL (g)
0	4,05	0,00	4,05	0	4,10	0,00	4,10
1	0,00	0,60	4,65	1	0,00	0,40	4,50
2	0,00	0,45	5,10	2	0,00	0,60	5,10
4	0,00	0,60	5,70	4	0,00	0,10	5,20
6	0,00	0,10	5,80	6	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	8	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	10	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	12	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	16	0,00	0,00	0,00
Total g adicionados=			5,80	Total g adicionados=			5,20
Consumo Cal (Kg/t)=			4,35	Consumo Cal (Kg/t)=			3,90

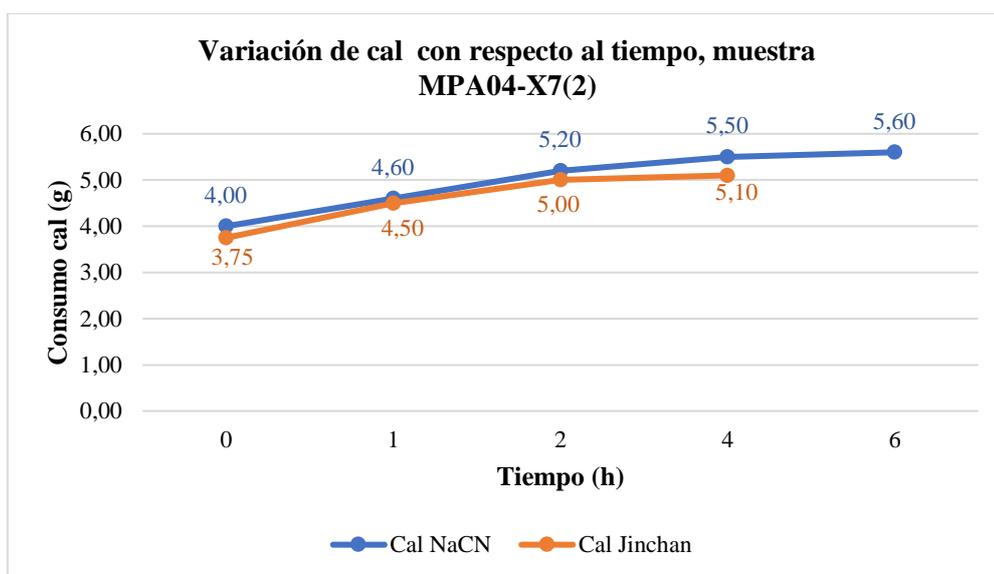


ADICIÓN DE CAL CON NaCN; Muestra MPA03-X7P				ADICIÓN DE CAL CON JINCHAN; Muestra MPA03-X7P			
Tiempo (h)	CAL (g)	Adicion de CAL (g)	Total CAL (g)	Tiempo (h)	CAL (g)	Adicion de CAL (g)	Total CAL (g)
0	5,00	0,00	5,00	0	4,00	0,00	4,00
1	0,00	0,40	5,40	1	0,00	0,60	4,60
2	0,00	0,30	5,70	2	0,00	0,40	5,00
4	0,00	0,40	6,10	4	0,00	0,40	5,40
6	0,00	0,30	6,40	6	0,00	0,30	5,70
8	0,00	0,10	6,50	8	0,00	0,10	5,80
10	0,00	0,00	0,00	10	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	12	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00		16	0,00	0,00	0,00
Total g adicionados=			6,50	Total g adicionados=			5,80
Consumo Cal (Kg/t)=			4,88	Consumo Cal (Kg/t)=			4,35

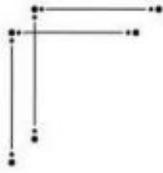


ADICIÓN DE CAL CON NaCN; Muestra MPA04-X7(2)			
Tiempo (h)	CAL (g)	Adicion de CAL (g)	Total CAL (g)
0	4,00	0,00	4,00
1	0,00	0,60	4,60
2	0,00	0,60	5,20
4	0,00	0,30	5,50
6	0,00	0,10	5,60
8	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00
Total g adicionados=			5,60
Consumo Cal (Kg/t)=			4,2

ADICIÓN DE CAL CON JINCHAN; Muestra MPA04-X7(2)			
Tiempo (h)	CAL (g)	Adicion de CAL (g)	Total CAL (g)
0	3,75	0,00	3,75
1	0,00	0,75	4,50
2	0,00	0,50	5,00
4	0,00	0,10	5,10
6	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00
Total g adicionados=			5,10
Consumo Cal (Kg/t)=			3,83

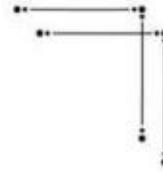


Anexo 12. Certificación de traducción del resumen.



UNL

Universidad
Nacional
de Loja



Loja, 29 de abril de 2023

Lic. Marlon Armijos Ramírez Mgs.

**DOCENTE DE PEDAGOGIA DE LOS IDIOMAS
NACIONALES Y EXTRANJEROS – UNL**

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Titulación: **Análisis comparativo de lixiviación con cianuro de sodio y el agente lixivante jinchán en el mineral procedente del área minera Las Paralelas**, autoría de Vladimir Alexander Buri Flores con CI: 110426753-7, de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables

Lo certifica en honor a la verdad y autorizo a la parte interesada hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

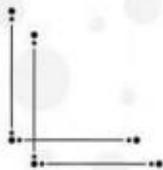
Atentamente,



Firma digitalizada por:
MARLON RICHARD
ARMIJOS RAMIREZ

MARLON ARMIJOS RAMÍREZ
DOCENTE DE LA CARRERA PINE-UNL

1031-12-1131340
1031-2017-1905329



Educamos para Transformar

