



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN QUÍMICA INDUSTRIAL

Título:

Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 - abril 2021.

Autores:

Bra. Reyna Mercedes Alaniz Jirón

Br. Levis Josué López López

Tutor:

MSc. Elvin Guzmán

Managua, Julio del 2021

Aspectos Generales





Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

TÍTULO

Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 - abril 2021.

“Y el oro de esa tierra es bueno”.

Génesis 2:12



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación, previo a la obtención del título de Licenciado en Química Industrial está dedicado primeramente a Dios que nos ha dado la vida, y por darme la oportunidad de seguir adelante por tanto tiempo, una etapa de la vida con mucho esfuerzo y dedicación, triunfos y derrotas, alegrías y tristeza junto a mis seres queridos, amigos y demás personas que han contribuido para que este sueño se haga realidad.

Esta monografía se la dedico con mucho amor y admiración a mis queridos padres Leonardo Alaniz y Sonia Jirón de Alaniz personas que han luchado incansablemente sin importarles obstáculo alguno para forjar mi futuro, por ser quienes me enseñaron a dar nuestros primeros pasos en la vida, inculcándome valores muy importantes como el respeto, la humildad y sobre todo el amor a las cosas que queremos y hacemos, los cuales en un futuro forjaran un ser humano lleno de muchas virtudes. A mis hermanos Miriam, Jorling, Leonardo, Jasser, Carlos e Ingrid, que de una u otra forma me han apoyado en todo momento, con sus valiosos consejos y muestras de cariño.

Con este estudio concluyo una parte de mi vida, de mi largo camino y empiezo esta nueva etapa con un ser muy importante, le dedico con muchísimo amor a una persona especial y maravillosa a mi esposo Edmundo Caldera, que me ha brindado su apoyo y amor durante estos años, su comprensión y compañía durante momentos difíciles y darme aliento día a día para no rendirme.

A una de mis personas favoritas, mi mejor amiga, Ludwianka González que es muy importante, ya que ha estado apoyándome, acompañándome y animarme cada día, no existe alguien que me conozca más que ella y quiero que esta amistad sea eterna.

A mi compañero, amigo y colega Levis López, que durante 7 años aproximadamente nos conocemos, que día a día nos hemos apoyado y pasado tantas historias juntos, por tu tiempo y dedicación, gracias por ser la tranquilidad de mí océano. Y a todas las personas que me apoyaron durante el transcurso de mi vida para poder llegar hasta aquí.

Reyna Alaniz



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Primeramente, a Dios que nos dio la fortaleza y sabiduría para culminar esta importante etapa de nuestra vida.

A lo largo de la vida y en este proceso he contraído deudas de gratitud con muchas personas a las que me gustaría expresarles desde estas líneas, mis más sinceros agradecimientos, dirigido a mi familia, especialmente a mis padres por sus consejos y motivación constante, que, con sacrificios, mucho amor y cariño me apoyaron siempre.

A mis hermanos, que siempre me han animado en seguir adelante.

A cada uno de mis profesores, que me acompañaron en el transcurso en mi formación como estudiante y como persona, desde el pre-escolar hasta la universidad, de quienes aprendí y seguiré aprendiendo.

A mi amiga Reyna Alaniz, con quien he compartido muchas cosas, por ser amiga y colega excepcional, le agradezco por tantos años compartidos, a quien admiro y quiero con mi corazón.

A nuestro tutor, profesor Elvin Guzmán quien nos han acompañado y apoyado antes y durante la realización de este trabajo.

Al señor empresario, Don José Luis Ortiz quien nos abrió las puertas de su empresa, donde llevamos a cabo este estudio.

A mis amigos y compañeros, con mucho aprecio.

A quienes me siguen apoyando y creyendo que puedo llegar muy lejos.

¡Muchas gracias!

Levis López



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecemos a Dios y a nuestros padres quienes se han esforzado para guiarnos en el sendero del bien a lo largo de nuestras vidas y nos han inculcado que donde quiera que estemos siempre tengamos presentes nuestros valores, que con fe, amor, perseverancia y humildad podemos llegar largo en nuestras vidas. A nuestros familiares y amigos por el apoyo brindado en lo largo de nuestras vidas.

A los encargados del plantel que nos abrió las puertas desde el primer día, a Don José Luis Ortiz y Ing. Eduardo Pérez por ser de gran importancia en este proceso, a nuestro guiador dentro de la empresa Emir Ali Cerda por esa dedicación y apoyo que nos brindó durante y después de este trabajo.

Nuestros maestros durante este trayecto y en especial a nuestro tutor MSc. Elvin Guzmán y MSc. José Luis Prado por ser ese brazo amigo que nos impulsaron a continuar cada día.

Reyna Alaniz & Levis López



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Aprobación de publicación de resultados de investigación



Managua, 27 de mayo del 2021

A quien corresponda

De mi consideración:

Ante la realización de una investigación académica en la empresa que dirijo, certifico haber leído y aprobado el contenido que se presenta en el trabajo de titulación denominado:

“Efecto de la implementación de un sistema de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 - abril 2021” desarrollado por los estudiantes Reyna Mercedes Alaniz Jirón (número de carnet: 14-04063-4 y cedula: 001-140997-0011N) y Levis Josué López López (número de carnet: 14-04609-0 y cedula: 401-300596-0001B), por lo cual mucho agradeceré a los representantes de la UNAN-Managua, Departamento de Química y Coordinación de Carrera procedan a autorizar la *Evaluación Final* de la modalidad de graduación, puesto que he aprobado la publicación de los resultados obtenidos por los estudiantes en la empresa.

Atentamente,

*Ing. Eduardo Francisco Pérez Orozco
Gerente General
Plantel el Barreno de oro*



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

CARTA AVAL DEL TUTOR



La presente monografía titulada *“Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 - abril 2021.”*, ha sido realizado por los bachilleres Reyna Mercedes Alaniz Jirón y Levis Josué López López, bajo mi dirección *MSc. Elvin Guzmán* doy fe de que la investigación es propiedad intelectual fidedigna y original de ellos, además que han cumplido con todas las disposiciones y requisitos académicos según el Capítulo III del Título IV del Reglamento del Régimen Académico Estudiantil para optar al título de Licenciatura en Química Industrial.

Managua, mayo de 2021

Elvin Guzmán, MSc

Tutor

Docente Departamento de Química

UNAN-Managua



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

RESUMEN

La presente investigación tenía como principal objetivo evaluar el efecto de la implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de oro, donde el proceso se llevaba a cabo en dos etapas, el proceso de extracción en pilas de lixiviación y refinación era el foco de investigación, puesto que la adsorción se realizaba en un balde con carbón activado. El prototipo del sistema de columnas de adsorción en serie al flujo de lixiviados consiste en tres columnas llenas de carbón activado comercial el cual se ensambló dentro de una pila de concreto para realizar las pruebas experimentales en cuatro puntos diferentes del proceso (P1: corriente de salida del molino de bola, P2: pila de recolección de colas de amalgamación, P3: muestras compuestas en pila y P4: desecho de lama). El tiempo de residencia fue de 5 minutos con 57 segundos ante un flujo de 2,85 litros por minuto, el pH se controló dentro de los valores o intervalo de aceptación (10,5 - 12) y el cianuro durante el proceso de lixiviación en las colas de amalgamación presentó una caída lineal en la concentración día a día, se puede deducir que se debió a una posible exposición abierta al medio, a cambios constantes de temperatura o que el material tenía alto contenido de hierro u otros metales. La diferencia de los porcentajes de recuperación de oro que fue del 12.44% infieren que hubo una mayor cantidad de oro recuperado en relación a los rendimientos obtenidos previamente al ensamblaje del prototipo de columnas de adsorción conectadas en serie y ensamblado al flujo de lixiviados proveniente del tratamiento de colas de amalgamación por el proceso de cianuración en pilas.

Palabras clave: Oro, Recuperación, Columnas, Adsorción, Ensamblaje.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

ÍNDICE

Aspectos Generales.....	1
TÍTULO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CARTA AVAL DEL TUTOR.....	vi
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS, IMÁGENES Y GRÁFICOS.....	xiv
Capítulo I	
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
Capítulo II	
2.1. Marco teórico.....	6
2.1.1. Minería.....	6
2.1.1.1. Tipos de extracción.....	7
2.1.1.2. Etapas de la explotación.....	8
2.1.1.3. Principales minerales extraídos.....	9
2.1.1.4. Clasificación de la minería según su escala.....	9



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

2.1.2.	Minería en Nicaragua.....	10
2.1.2.1.	Localización geográfica y naturaleza de los yacimientos.....	10
2.1.2.2.	Evolución de la producción.	11
2.1.3.	Planteles mineros en Nicaragua.	12
2.1.3.1.	Etapas de la actividad minera.	12
2.1.4.	Oro.....	12
2.1.4.1.	Mineralurgia.....	13
2.1.5.	Operaciones y Procesos Metalúrgicos.....	15
2.1.5.1.	Operaciones metalúrgicas de gravimetría y amalgamación	16
2.1.6.	La aplicación de la amalgamación en la pequeña minería aurífera.....	18
2.1.6.1.	Amalgamación en "circuito abierto".....	18
2.1.6.2.	Amalgamación de concentrados (o amalgamación en circuito cerrado).	18
2.1.6.3.	Amalgamación in situ.	19
2.1.6.4.	Amalgamación en canaletas.....	19
2.1.6.5.	Amalgamación en molinos.	20
2.1.6.6.	Amalgamación en concentradores centrífugos.	20
2.1.6.7.	Amalgamación con planchas amalgamadoras.	20
2.1.6.8.	Amalgamación manual.	22
2.1.6.9.	Amalgamación en tambores amalgamadores.....	22
2.1.7.	Proceso de Cianuración Convencional.....	22
2.1.7.1.	Efecto de algunos minerales en el proceso de cianuración.....	24
2.1.7.2.	Factores físicos químicos que afectan la velocidad de cianuración.....	25
2.1.7.3.	Efectos retardadores y aceleradores.....	26
2.1.8.	Aplicación de la cianuración en la pequeña minería.....	28



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

2.1.9.	Adsorción	28
2.1.9.1.	Cinética de adsorción.....	29
2.1.10.	Carbón activado.....	30
2.1.10.1.	Propiedades del carbón activado.....	32
2.1.10.2.	Características del carbón activado.....	33
2.1.11.	Columnas de adsorción.....	34
2.1.11.1.	Características de las columnas de adsorción.....	35
2.2.	Antecedentes.....	36
2.3.	Hipótesis.....	39
Capítulo III		
3.1.	Diseño metodológico.....	41
3.1.1.	Descripción del ámbito de estudio.....	41
3.1.2.	Tipo de estudio.....	42
3.2.	Población y muestra.....	43
3.2.1.	Población.....	43
3.2.2.	Muestra.....	43
3.2.2.1.	Criterios de inclusión.....	43
3.2.2.2.	Criterios de exclusión.....	44
3.3.	Variables.....	44
3.3.1.	Variables independientes.....	44
3.3.2.	Variable dependiente.....	44
3.3.3.	Operacionalización de las variables.....	45
3.4.	Materiales.....	47
3.4.1.	Materiales para recolectar información.....	47



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

3.4.2.	Materiales para procesar la información.	47
3.4.3.	Equipos, reactivos y materiales de experimentación.	47
3.5.	Métodos	49
3.5.1.	Método de investigación.	49
3.5.2.	Diario de campo.	50
3.5.3.	Construcción y ensamblaje del prototipo del sistema de columnas de adsorción..	50
3.5.4.	Fase experimental.....	50
3.5.4.1.	Titulación volumétrica.	50
3.5.4.2.	Plan de muestreo	51
3.5.5.	Métodos de análisis de las muestras.....	54
3.5.6.	Método para la cuantificación de oro.....	55
3.5.6.1.	Etapas de extracción por amalgamación.	55
3.5.6.2.	Etapas de extracción por cianuración en pilas de lixiviación.....	56
Capítulo IV		
4.1.	Análisis de resultados	59
4.1.1.	Descripción de las etapas del proceso de extracción de oro en el plantel El Barreno de Oro.....	59
4.1.1.1.	Descripción del proceso de extracción de oro por amalgamación.....	59
4.1.1.2.	Descripción del proceso de extracción de oro por lixiviación en pilas.....	61
4.1.2.	Construcción y ensamblaje del prototipo de columnas de adsorción.....	65
4.1.2.1.	Construcción del prototipo.....	65
4.1.2.2.	Ensamblaje del prototipo de sistema de columnas de adsorción a la pila de lixiviación	66
4.1.3.	Fase experimental.....	68



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

4.1.3.1.	Tiempo medio de residencia.	68
4.1.3.2.	Control del pH.	68
4.1.3.3.	Determinación de Concentración de $[CN^-]$	69
4.1.4.	Cuantificar el porcentaje de recuperación de oro obtenido.	73
4.1.4.1.	Cálculos para la determinación del % de oro en el proceso de amalgamación. .	73
4.1.4.2.	Cálculos para la determinación del porcentaje de recuperación de oro en el proceso de cianuración.	74
Capítulo V		
5.1.	Conclusiones.	77
5.2.	Recomendaciones	78
5.3.	Bibliografía.	79
Anexos.		83



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Propiedades físicas y químicas del oro.....	12
Tabla 2.2 Velocidad de disolución del oro (Au) en diferentes mezclas de oxígeno – nitrógeno.....	24
Tabla 3.1. Operacionalización de las variables en base a objetivos.....	45
Tabla 3.2 Equipos utilizados en el desarrollo de la investigación.....	48
Tabla 3.3. Materiales de laboratorio.....	48
Tabla 3.4. Reactivos utilizados el desarrollo de la investigación.....	49
Tabla 3.5. Equipos transductores de medidas utilizados el desarrollo de la investigación.....	49
Tabla 3.6. Muestras líquidas.....	54
Tabla 3.7. Métodos analíticos empleados en las muestras recolectadas durante la investigación.....	54
Tabla 4.1. Desarrollo de hervidas para la refinación de oro.....	62
Tabla 4.2. Materiales con los cuales se construyeron las columnas de adsorción.....	65
Tabla 4.3. Resultados de medición de pH.....	68
Tabla 4.4. Resultados del muestreo de muestras líquidas.	69
Tabla 4.6. Concentración de oro en muestras sólidas.....	71
Tabla 4.7 Concentración de oro en muestras líquidas.....	72



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

ÍNDICE DE FIGURAS, IMÁGENES Y GRÁFICOS

Figura. 2.1. Imagen de la unión de oro y cuarzo.....	14
Imagen 4.1. Micro localización del plantel el Barreno de oro.....	41
Figura 3.1. Representación de puntos de muestreo en la pila de recepción de colas de amalgamación.....	52
Figura 3.3. Localización de puntos aleatorios para cuarteo.....	54
Figura 3.4. Diseño del proceso de amalgamación	56
Figura 3.5. Diseño del proceso de cianuración.....	57
Figura 4.2. Ensamblaje del prototipo a la pila de lixiviación.....	67
Figura 4.3. Flujograma del proceso extracción de oro por amalgamación y cianuración en pilas de lixiviación.....	64
Gráfico 4.1. Variación de CN^{-1} en función del No. de días.....	70
Gráfico 4.1. Concentración de oro en muestras líquidas tomadas a la salida de las columnas de adsorción.....	73

Capítulo I





Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

1.1. Introducción

Actualmente la minería artesanal, ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años; este sector ha extraído broza con el uso de equipos rudimentarios y técnicas manuales, por lo que la minería artesanal se ha definido según la Ley 387 como “el aprovechamiento de los recursos mineros mediante técnicas exclusivamente manuales”. Por lo tanto, los pequeños mineros utilizan tecnología aplicable a la mediana producción, las cuales se han convertido en una importante fuente de generación de empleo en las zonas donde se desarrollan. Este sector posee poco financiamiento y escasos procesos de capacitación, siendo uno de los gremios menos apoyados por las políticas públicas del Estado.

Por lo antes mencionado se infiere en la importancia que tiene la presente investigación, la cual radica en explorar las condiciones en las que se lleva a cabo la extracción de oro en los planteles nacionales, considerando que los dueños de los mismos cuentan con los recursos para implementar mejoras tecnológicas en las etapas que se requieran, con el fin de mejorar tanto los rendimientos de extracción, como las condiciones laborales en las cuales desempeñan sus actividades los trabajadores. En este caso, la gerencia del plantel artesanal El Barreno de oro, ha permitido el acceso para realizar la presente investigación, con un enfoque filosófico mixto, empleando herramientas de carácter cualitativo, pero como principal vía metodológica de investigación la experimentación.

En un primer plano se realizó la visita e identificación de las debilidades que presentaba durante el proceso de extracción de oro el plantel El Barreno de oro, en el cual se implementó un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación. En una segunda etapa, se construyó el prototipo basado en las condiciones laborales y adquisición de la empresa, además de la experiencia de los encargados del plantel; en un tercer escenario, en las diferentes etapas del proceso de extracción de oro se tomarán muestras para su posterior análisis que permitirán la cuantificación del porcentaje de recuperación de oro efectuado con esta adaptación del prototipo en su proceso artesanal.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

1.2. Planteamiento del problema

En el sector minero artesanal a nivel nacional ha empezado a tener auge la idea de mejora en las etapas de extracción del mineral. Esto se ha dado específicamente en los pequeños planteles artesanales, en los cuales, durante muchos años no se realizaron inversiones para la implementación de tecnologías que ayudaran a mejorar u optimizar la recuperación de dicho mineral.

Las comunidades de los municipios de San isidro-Matagalpa y Santa Rosa del peñón-León, han presentado un incremento significativo en el número de establecimientos de planteles mineros artesanales. En estos planteles el oro es extraído en dos etapas; en la primera etapa el oro se extrae por amalgamación, utilizando así el mercurio en estado líquido y la segunda etapa es la del oro presentes en colas de amalgamación (residuo de la primera etapa) se extrae por el método de lixiviación en pilas, empleando como agente lixivante al cianuro de sodio.

Sin embargo, como las dos etapas de extracción se realizan de forma empírica (no tienen personal técnico, ni equipos para la realización de análisis) es probable que ambas etapas no sean tan eficientes con respecto a la recuperación del material Au presente en la broza (roca extraída de las profundidades de la tierra) por mineros artesanales.

El plantel El barreno de oro es una empresa minera artesanal ubicada en la comunidad La unión del municipio de San isidro-Matagalpa, la cual, inicio operaciones desde el año 2017. En este plantel se tratan las colas de amalgamación mediante el proceso de lixiviación en pilas con el fin de recuperar las partículas de oro aun presentes en el material, sin embargo, se ha encontrado que en material tratado por cianuración en las pilas de lixiviación aún puede contener partículas de oro. Este hecho se vuelve evidente, puesto que, al realizar el proceso de lixiviación nuevamente, se recupera oro, aunque la cantidad recuperada sea considerablemente menor a lo obtenido a la etapa de lixiviación previa.

Debido a lo anteriormente expuesto, en la delimitación del problema, se plantea la siguiente pregunta: ¿Qué efecto tendrá la implementación de un prototipo de prueba, de un



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

sistema de columnas de adsorción a base de carbón activado, al proceso de extracción de oro realizado en el plantel El Barreno de Oro, con la finalidad de incrementar su porcentaje de recuperación?

Planteada la pregunta general de investigación en base al problema, se presentan las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las condiciones operacionales del proceso para la extracción de oro en el plantel El Barreno de Oro?
2. ¿Cómo influirá la implementación de un prototipo de prueba de columnas de adsorción sobre el proceso actual de recuperación de oro en el plantel El Barreno de Oro?
3. ¿Qué variables se requieren controlar en la operación de un prototipo del sistema de columnas de adsorción en el proceso de extracción de oro que se realiza en el plantel artesanal El Barreno de Oro?
4. ¿Cuál es el porcentaje de recuperación de oro obtenido después de la implementación del prototipo de columnas conectadas en serie?



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

1.3. Justificación

El crecimiento de la industria Aurífera en Nicaragua ha tenido auge en los últimos cinco años. Uno de los sectores de esta industria que mayor crecimiento ha presentado, es el correspondiente al de la minería artesanal. Esta actividad es realizada por Güiriceros y Cianuradores, quienes de forma empírica realizan procesos de exploración, extracción y refinación de oro. Los departamentos del país donde se permite la explotación minera artesanal del oro son: León, Matagalpa, Chontales, Rio San Juan, Siuna, Bonanza y Rosita.

Entre los beneficios que se pueden obtener como resultado de una mejora en los procesos de extracción de oro, tenemos los siguientes: ahorro de reactivos químicos, manipulación y uso de los reactivos químicos en condiciones seguras por operarios, optimización del tiempo de cianuración del material mediante la lixiviación (ahorro de gastos), incrementos significativos en las ganancias; reducción en el impacto ambiental en el suelo, aire y agua. El uso de equipos de protección apropiados, generación de nuevos empleos y un aporte al desarrollo de la comunidad mediante obras de sociales.

Es importante reconocer que esta investigación permitirá ampliar y profundizar en los fundamentos teóricos y prácticos sobre los métodos de recuperación de oro por cianuración en pilas de lixiviación. Estos fundamentos teóricos y prácticos serán puestos a prueba mediante la evaluación de una propuesta de mejora tecnológica, que consiste en la construcción e implementación de un prototipo de un sistema de columnas de adsorción a base de carbón activado.

La construcción e implementación del prototipo en el proceso de lixiviación en pilas, tiene la finalidad de evaluar un posible incremento en los porcentajes de recuperación de oro y a la vez, optimizar el tiempo de lixiviación.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Evaluar el efecto de la implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 - abril 2021.

1.4.2. Objetivos específicos.

1. Describir el proceso de extracción de oro que se lleva a cabo en el plantel El Barreno de Oro.
2. Ensamblar el prototipo del sistema de columnas de adsorción en serie al flujo de lixiviados provenientes de tratamiento de colas de amalgamación por el proceso cianuración en pilas.
3. Cuantificar la concentración de cianuro en la etapa de lixiviación por el método de titulación volumétrica.
4. Controlar las variables de operación, tiempo medio de residencia y pH para el mejoramiento en los porcentajes de recuperación de oro.
5. Cuantificar el porcentaje de recuperación de oro obtenido a partir del prototipo de columnas de adsorción conectadas en serie y ensamblado al flujo de lixiviados proveniente del tratamiento de colas de amalgamación por el proceso de cianuración en pilas.

Capítulo II





Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

2.1. Marco teórico

2.1.1. Minería

Uriarte (2020) define la minería o actividad minera como una actividad económica, perteneciente al sector primario, que consiste en la extracción de minerales y elementos comercializables del interior de la corteza terrestre. Estos materiales se hallan formando depósitos o yacimientos de miles de años de antigüedad geológica. La extracción minera es una de las principales actividades económicas de numerosos países en el mundo. Se trata de una fuente de recursos vital para la mayoría de las industrias humanas, que sirve de materia prima en la elaboración de los más diversos objetos y maquinarias.

Existen diversas formas de minería dependiendo del lugar, del elemento a minar y de las condiciones en que se desea extraerlo. Algunas de ellas tienen consecuencias ambientales graves. Al sitio en donde se extraen los elementos se le conoce como mina, y quienes se dedican a esta actividad como mineros. La minería se originó, según Uriarte (2020) debido al uso y modificación de minerales y piedras tomados de la tierra es una de las actividades humanas más antiguas. Nuestras primeras herramientas fueron obtenidas de esta manera. En el período neolítico ya las distintas civilizaciones explotaban diversos minerales como el sílex o el esquisto verde.

Estos materiales se utilizaban para fabricar herramientas, adornos ceremoniales o incluso para embellecer objetos o construcciones. La mina más antigua del mundo que se conozca, se encuentra en Suazilandia, África. Ha sido datada con 43 000 años de antigüedad. De allí obtenían los humanos del paleolítico la hematita con la que producían pigmentos color ocre.

Las primeras explotaciones mineras masivas de la historia pertenecieron al Imperio Egipcio. Obtenían minerales como la malaquita, la turquesa y el cobre de canteras ubicadas en Maadi, Bajo Egipto, o Uadi Maghara, al sur del Sinaí. También hay mención en los historiadores griegos antiguos de sus grandes minas de oro en Nubia. Con este metal fabricaban objetos rituales y de veneración. (Uriarte, 2020)



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

En la etapa grecolatina la minería se extendió y masificó en Europa, especialmente por la obtención de la plata, oro, cobre, hierro y mármol. Esta actividad creció a través mano de obra esclava. En esa época ya se empleó la minería hidráulica, es decir, se utiliza el agua para transportar materiales y eliminar residuos de roca. De muchos de estos minerales se extraerían los metales necesarios para fraguar armas de guerra, en una demanda inacabable que se sostuvo durante todo el medioevo europeo.

Por otro lado, en América las culturas aborígenes empleaban minerales y piedras preciosas para adornar sus templos o como material de ofrendas. Los colonos europeos que llegaron en el siglo XV iniciaron una frenética actividad minera que en muchos casos es sostenida todavía hoy por los nuevos Estados independientes. Finalmente, con la llegada de la Revolución Industrial y las necesidades energéticas del mundo moderno, la minería repuntó como una de las actividades económicas más lucrativas del mundo, junto a la explotación petrolera. La potencia energética del carbón y de los hidrocarburos es codiciada en el mundo entero. (Uriarte, 2020)

2.1.1.1. Tipos de extracción.

La minería puede darse en la tierra o en el mar (es decir, en el suelo marino), y mediante dos procedimientos distintos de extracción, principalmente:

a. Minería a cielo abierto.

Llamada también minería de superficie, consiste en la eliminación de las capas superiores de roca, junto con la vegetación de la zona, para exponer los yacimientos minerales enterrados. El resultado es una gran rajadura en el suelo (Open Pit Mining o minería de pozo abierto), una abertura sobre un yacimiento concreto (explotación por canteras) o la modificación radical de la topografía de la zona (Mountaintop mining) a través de la desaparición de montañas. (Uriarte, 2020)



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

b. Minería subterránea.

También llamada minería de subsuelo, consiste en penetrar la roca hacia el subsuelo y crear galerías y túneles que conduzcan a los yacimientos. Puede consistir en accesos horizontales (drift mining), accesos diagonales (slope mining) o verticales (shaft mining). Este tipo de minas tienen la desventaja de que pueden colapsar y sepultar a los mineros en su interior. (Uriarte, 2020)

2.1.1.2. Etapas de la explotación.

Uriarte (2020), diferencia las siguientes etapas en la explotación minera:

a. Prospección.

La búsqueda de yacimientos mediante mapas geológicos, fotografía aérea, imágenes satelitales y diversas técnicas exploratorias. Cuando se descubre un cuerpo mineral conveniente, se determina su tamaño, su cantidad y su calidad.

b. Exploración.

Dependiendo del yacimiento, diversos métodos de explotación pueden implementarse, tomando en cuenta la topografía, la facilidad de extracción, etc. Una vez definidos los términos técnicos se procede a perforar hasta alcanzar el yacimiento y luego romper huiujn mecánicamente la veta del mineral para extraer trozos del mismo.

c. Separación.

Estos trozos minerales se criban, clasifican, lavan y luego trituran para separarlos de los residuos de roca, empleando diversos mecanismos: magnéticos, gravitacionales o simplemente por selección manual.

d. Tratamiento.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Dependiendo de la naturaleza del mineral deseado, sus fragmentos ya separados pueden entonces tratarse para prepararlos para su viaje hacia el destino, ya sea mediante técnicas de calcinación, solución y precipitación, lixiviación, etc.

e. Transporte.

El mineral minado y tratado es llevado hacia sus sitios de consumo industrial o de comercialización directa.

2.1.1.3. Principales minerales extraídos.

Los minerales más frecuentemente minados pueden clasificarse según Uriarte (2020), de acuerdo a su utilidad para el ser humano en:

a. Minería metálica.

Se extraen vetas de elementos metálicos (puros o no) de valor siderúrgico, como el cobre, oro, plata, aluminio, plomo, mercurio, hierro, etc.

b. Minería no metálica.

Se extraen materiales útiles para la construcción, la joyería y otros usos, de naturaleza no metálica, como son la arcilla, mármol, granito, esmeraldas, diamantes, mica, etc.

c. Minería energética.

Se extraen hidrocarburos y minerales de alto valor energético, como el carbón mineral, el gas natural o el petróleo.

2.1.1.4. Clasificación de la minería según su escala.

Uriarte (2020) plantea que la actividad minera se clasifica, en base a su escala, en tres renglones:



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

a. Gran minería o megaminería.

Es llevada adelante por grandes compañías transnacionales de minería, con enormes capitales e infraestructuras, tecnología de punta, mecanismos de fundición y transporte. Generan colosales volúmenes de minerales, generalmente para exportación.

b. Mediana minería.

Se incluye aquí a diversos rangos de industrias mineras nacionales que abastecen al mercado interno de un país, variando de acuerdo a capital, mano de obra, disponibilidad del recurso, etc.

c. Pequeña minería.

Aquella que se realiza en términos locales, con yacimientos pequeños y operaciones rápidas de extracción. Requieren una menor infraestructura y ofrece mayores ratios de empleo en la población.

2.1.2. Minería en Nicaragua

2.1.2.1. Localización geográfica y naturaleza de los yacimientos.

Lanuza (2007) indica que la producción de minerales en Nicaragua entre la segunda y la octava década del Siglo XIX provenía principalmente de las minas localizadas en La Libertad y Santo Domingo en el Departamento de Chontales y en mucho menor grado de las situadas en los Departamentos de Nueva Segovia y Matagalpa. Los yacimientos de Dipilto y Macuelizo en Nueva Segovia y el de San Ramón en Matagalpa fueron investigados por el Dr. Berthold Seeman en 1866 y por el ingeniero en minas Thomas Belt a finales de la década del 60. Ambos llegaron a la conclusión de que la explotación de los mencionados yacimientos no era económicamente viable por ser las vetas poco profundas. (p.215)



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

El descubrimiento de la mina del Jabalí en Chontales, situada a dos millas y media hacia el Este del pueblo de la Libertad, en dirección a Santo Domingo, despertó gran entusiasmo y pronto se encontraron 300 o más minas de alguna significación. La extracción de minerales en las minas de Santo Domingo se hacía en vetas de cuarzo; en la época que estuvo Belt en Nicaragua (1 868 —1 872) no se habían descubierto depósitos aluviales de consideración. El oro no se encontraba solo sino en aleación con la plata en una proporción de tres a uno respectivamente. Además de esta aleación metálica las vetas de cuarzo contenían sulfuro de plata, peróxido de manganeso, cobre y ocasionalmente mineral de plomo. (Lanuza, 2007)

2.1.2.2. Evolución de la producción.

El viajero alemán, Carl von Scherzer, recorrió gran parte del territorio de Nicaragua en 1854. Se detuvo en el sitio de las minas de Macuelizo (Nueva Segovia) y descubrió que estaban en estado de abandono casi completo. Relata que estos yacimientos se empezaron a explotar en 1813 y en su época de apogeo se extrajo plata en tal cantidad que en tres años la producción alcanzó el valor de un millón de dólares. En el mismo departamento de Nueva Segovia, Scherzer visitó las minas de Dipilto y encontró que estaban en estado decadente sobre todo después de la inundación de una de las principales minas en 1844. (Lanuza, 2007, pág. 216)

La producción entre los años 1 851 – 1 854 fue de 208 000 onzas de plata la que se intercambiaba por textiles, vinos, etc., en los puertos orientales de Honduras. Las minas de oro y plata de Matagalpa fueron descubiertas en 1 808, pero no atrajeron la atención de grandes capitalistas hasta 1 814. En esa época se empleaban más de doscientos hombres en las minas y la producción anual se calculaba en 86 400 dólares. En 1 853 la producción alcanzo apenas a 21 600 dólares y era intercambiada en Granada por provisiones y mercancías haciéndose cargo de la exportación la casa inglesa Manning. (Lanuza, 2007, pág. 216)

El capitán inglés Bedford Pim, quien visitó las minas de Chontales en 1 864, en una conferencia que dictó en Londres afirmó que hasta 1850 no se habían descubierto ricos yacimientos en Chontales. A principios de la segunda mitad del Siglo XIX, un niño al cavar



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

los hoyos para los pilares de una casa cerca del sitio donde después se erigiría el pueblo minero de La Libertad descubrió broza aurífera en grandes cantidades. Sin embargo, la Guerra Nacional impidió su explotación. Después de que la situación política se había calmado se descubrió una buena veta cerca del Río Mico que luego se convirtió en la mina de San Juan. (Lanuza, 2007, pág. 216)

2.1.3. Planteles mineros en Nicaragua.

2.1.3.1. Etapas de la actividad minera.

Según MEM (2 020), en Nicaragua la actividad minera sigue las siguientes etapas:

a. Prospección y exploración geológica.

1. Muestreo de roca, suelo y sedimentos; mediante métodos geofísicos, de magnetometría y gravimétricos.
2. Apertura de trincheras y catas.
3. Campaña de perforación.

b. Explotación.

1. Minado a cielo abierto y subterráneos.

c. Establecimiento de plantas de beneficios mineros.

1. Procesamiento de mineral obtenido de la explotación minera.

2.1.4. Oro.

El oro es uno de los metales preciosos conocidos e identificado en la tabla periódica de los elementos químicos con el símbolo **Au**. Es un elemento poco reactivo, clasificado químicamente entre los *metales de transición*. Se trata de un elemento metálico no ferromagnético, cuyas características lo hacen idóneo para la fabricación de distintos tipos de objetos, ya que puede fundirse y retomar su dureza al enfriar. Durante mucho tiempo se



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

lo usó para producir monedas. El oro normalmente se encuentra bajo tierra, en depósitos aluviales en forma de pepitas o pequeñas acumulaciones, ya sea en estado de pureza o junto a otros minerales en formaciones aluviales, que son buscadas y explotadas por la minería. (Máxima, 2020)

Tabla 2.1
Propiedades físicas y químicas del oro.

Físicas	Químicas
Número atómico es 79.	▪ El oro es fácilmente soluble en agua regia, que produce cloro nascente.
Peso atómico es 197,2 g/mol.	▪ El oro se disuelve en ácido clorhídrico concentrado en presencia de sustancias orgánicas.
Punto de fusión es 1 063 °C.	▪ Se disuelve en cloruros férricos y cúpricos.
Punto de ebullición es de 2 970 °C.	▪ Es soluble en soluciones de carbonatos de sodio al 10 % y cianuradas.
Blando, Maleable y Dúctil.	
Dureza es de 3 Mohs.	
Densidad es de 19,3 g/cm³.	
Cristaliza en sistema cúbico.	

Fuente: (SACC Ingenieros SRL, 2004).

2.1.4.1. Mineralurgia

El Oro es susceptible de existir en cercanías geológicas relativamente variadas (rocas sedimentarias, vetas intraplutónicas o periplutónicas). Es químicamente inerte en ambientes naturales y es poco afectado durante el intemperismo y por la roca que lo contiene. (SACC Ingenieros SRL, 2004, pág. 3)

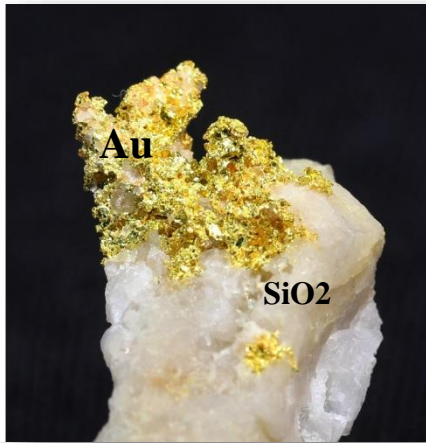
2.1.4.1.1. Tipos de yacimientos.

- a. *Vetas de cuarzo con Oro:* Los placeres jóvenes compuestos por areniscas y grava no consolidada, están en los cauces de los ríos. Los placeres fósiles o antiguos se forman en el precámbrico que han sido litificados o conglomerados. (SACC Ingenieros SRL, 2004, pág. 4)



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Figura. 2.1. Imagen de la unión de oro y cuarzo



Fuente: (ORO INTERNACIONAL S.A., 2014)

- b. *Oro diseminado:* En estos yacimientos las rocas albergantes son calizas dolomíticas o carbonáceas, el oro está diseminado en tamaños de 0,1 – 10 micrones.
- c. *Oro como subproducto:* Con otros metales como la plata, el cobre, y el plomo.

2.1.4.1.2. *Minerales del Oro.*

- a. El Oro se encuentra comúnmente en estado nativo y se puede presentar en venas y filones de cuarzo, en placeres y depósitos aluviales.
- b. El Oro se encuentra también en placeres y depósitos aluviales de corrientes antiguas y modernas.
- c. El Oro nativo de zonas de oxidación y de los placeres, frecuentemente contiene plata en pequeñas proporciones, así, como otros metales.
- d. El Oro nativo puede ser oro limpio, oro empañado, oro electrum, oro cuprífero.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

- e. El oro en otros minerales, como producto secundario, se encuentra con las especies como: Plata, cobre, arsénico, plomo, y antimonio.
- f. El oro asociado a la pirita (FeS_2) y a la arsenopirita (FeAsS) se encuentra como solución sólida y oro extremadamente fino. También se encuentra como ampolla de inclusiones, micro venillas, rellenos de intersticios, emplazamientos, etc.

El tamaño del grano de oro es determinante en el proceso metalúrgico elegido, se divide por el tamaño en:

- Oro grueso: viene a ser el aluvial en forma de pepitas.
- Oro filoniano: en forma de escamas o hilos, hasta un tamaño no menor de 200 a 10 micrones.
- Oro ultra fino: libre o encapsulado y su tamaño es menor a 10 micrones.

El tratamiento de los minerales de oro se basa en función de propiedades físicas y químicas, tales como:

- Su alto peso específico.
- Su carácter hidrofóbico.
- Su solubilidad en soluciones cianuradas.
- Soluciones salinas en medio ácido.

Todas estas características dan lugar a varios esquemas o escenarios de tratamientos metalúrgicos para recuperarlo. (SACC Ingenieros SRL, 2004, pág. 4)

2.1.5. Operaciones y Procesos Metalúrgicos.

Antes de cualquier tratamiento para la recuperación del Oro hay que incurrir en las operaciones de reducción de tamaño. Estas operaciones comprenden el chancado, molienda y clasificación. (SACC Ingenieros SRL, 2004, pág. 6)



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

El tamaño de grano del oro libre y el grado de asociación del mismo con otros minerales, es determinante en la selección del proceso metalúrgico a seguir. Tradicionalmente se conocen en la actualidad tres grandes procesos adecuados: La gravimetría, la flotación y la Cianuración. Esto no quiere decir que estos sean los únicos procesos para su extracción, por supuesto que al igual que todo, la tecnología en la minería avanza, tal es el caso de la lixiviación con sales oxidante en medio ácido.

El oro denominado grueso es sometido a procesos gravimétricos, el fundamento de la gravimetría se basa en el alto peso específico del oro para su separación. Hay equipos que vienen diseñados con el objeto de recuperar solamente el oro libre. El oro denominado fino y ultra fino si está totalmente libre y expuesto, lo más conveniente es el proceso de cianuración convencional. Si el oro está asociado íntimamente con los sulfuros, entonces se aplica la flotación convencional para recuperar los sulfuros que lo acompañan.

La decisión de realizar la liberación del metal depende exclusivamente de la evaluación económica que se haga del proceso que se aplique. Esta liberación pasa por una evaluación costo-beneficio, y de acuerdo a esta decisión se practican los procesos de gravimetría, cianuración o de lixiviación con sales oxidantes en medio ácido. (SACC Ingenieros SRL, 2004, pág. 6)

2.1.5.1. Operaciones metalúrgicas de gravimetría y amalgamación

La gravimetría es un proceso metalúrgico de concentración de metales y/o minerales pesados, que se basa en la diferencia de densidad entre la mena pesada (oro, galena, cerusita, etc.) y la ganga que es liviana y que forman los estériles (óxidos de hierro, sílice etc.). (Severo & Gallego, 2004, pág. 56)

Mientras que la amalgamación consiste en poner en contacto el metal oro o la plata con el mercurio líquido para formar una amalgama, es decir una aleación de mercurio- oro-plata, dando lugar a partículas de metal revestidas de mercurio, las partículas amalgamadas se adhieren unas a otras, para formar una mayor llamada amalgama.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

2.1.5.1.1. Operación de gravimetría.

El mineral es molido hasta alcanzar 75 micrones, en circuito cerrado de molienda y clasificación, la pulpa obtenida es diluida entre un 5 – 20 % y es concentrado en concentradores como: Canaletas, concentradores Knelson, concentradores Knudsen, concentradores de espiral, jibs y mesas vibratorias. En las últimas se obtienen dos productos: Un concentrado de oro hasta del 0,1 % de alimentación inicial y un relave de gravimetría con contenido de oro fino que no son recuperables por este método. (SACC Ingenieros SRL, 2004, pág. 9)

2.1.5.1.2. Operación de amalgamación.

El concentrado de alta ley en oro obtenido en la gravimetría, se mezcla con el mercurio líquido en un molino amalgamador con una carga mínima de bolas de acero, con una dilución de agua 2/1 y un pH = 12, puede ser discontinuo o continuo. La amalgama líquida de oro-mercurio se separa de la pulpa con agua a presión en contracorriente. Posteriormente la amalgama líquida es escurrida con un filtro a presión con aire y finalmente la amalgama sólida (en la que están en proporcione de 1:3 el oro y el mercurio), es sometido a fuego dentro de una retorta para sublimar el mercurio y obtener el oro refogado o esponja de oro, con una pureza que dependerá de la presencia de plata en la bola de oro. (SACC Ingenieros SRL, 2004, pág. 9)

2.1.5.1.3. Operación de gravimetría y amalgamación en el método artesanal.

Los mineros artesanales procesan el mineral directamente en molinetes, rastras, y molinos rústicos. Durante el proceso de molienda del mineral, se adiciona el mercurio líquido y agua. Al finalizar el proceso de molienda se procede al deslamado (separación de las arenas o lodos de la amalgama de oro-plata-mercurio) la mezcla quedando en el fondo lo más pesado, que es la amalgama de mercurio con oro y plata.

La amalgama formada y asentada en el fondo de la rastra, es recuperada haciendo uso del método de paneo. Seguidamente la amalgama formada se limpia de las impurezas de



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

ganga y se filtra a presión con una tela fina (telas de sombrías generalmente), quedando así la amalgama sólida que a continuación es sopleteada para eliminar el mercurio. Este método de eliminar el mercurio con sopletes o quemarlo en fuego expulsa el mercurio al medio ambiente en forma de vapor. (SACC Ingenieros SRL, 2004, pág. 10)

2.1.6. La aplicación de la amalgamación en la pequeña minería aurífera

La amalgamación se utiliza tanto en la pequeña minería primaria (de vetas o filones) como en la pequeña minería aluvial (Ichavautis, 2014, pág. 22). Se puede diferenciar dos tipos de técnicas principales:

2.1.6.1. Amalgamación en "circuito abierto".

Significa que toda la carga (el material aurífero) se pone en contacto con mercurio en un flujo continuo de pulpa. No es posible recuperar todo el mercurio en forma de amalgama, una parte de éste, en forma metálica libre (gotas o partículas finísimas) o en forma de amalgama (partículas finas o flóculos) escapan con las colas, contaminando una gran cantidad de material.

2.1.6.2. Amalgamación de concentrados (o amalgamación en circuito cerrado).

Esto significa que sólo una pequeña parte del material tratado (un "concentrado", generalmente producido gravimétricamente), se pone en contacto con el mercurio en un ambiente parcialmente o totalmente cerrado, donde la amalgamación se realiza sin la emisión de porción alguna de pulpa (p.ej. en un tambor amalgamador).

Para completar el proceso la amalgamación debe seguirse con los siguientes pasos: Separación amalgama 1 minerales acompañantes, Separación mercurio libre 1 amalgama y Separación oro 1 amalgama. En algunos casos en minera aluvial se utilizan también planchas amalgamadoras. Para esto se requiere eliminar las piedras gruesas, a fin de disminuir el efecto del arrastre mecánico. (Ichavautis, 2014, pág. 23)

El riesgo para la salud de los trabajadores que manejan planchas amalgamadoras es elevado, ya que el mercurio se evapora a temperaturas relativamente bajas. La evaporación



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

durante la aplicación de mercurio a las planchas es tan grande, que la intoxicación de los trabajadores es significativa.

Las pérdidas de amalgama, oro y mercurio utilizando planchas amalgamadoras en circuito abierto pueden ser altas. Además, el riesgo de intoxicación de los operadores por la evaporación del mercurio durante la preparación de las planchas es elevado. Por esto, este proceso no se considera recomendable y debe ser evitado.

2.1.6.3. Amalgamación in situ.

La amalgamación in situ se aplica solamente en la minería aluvial. El mercurio es echado directamente a la poza de excavación, luego con el movimiento y el transporte de la carga, el oro libre existente se amalgama parcialmente. Esta técnica es utilizada frecuentemente en minas aluviales que tienen el sistema monitor-bomba de grava-canaleta.

La amalgamación se realiza tanto en la poza o tajo, como durante el paso de la pulpa por la bomba y la tubería hacia la canaleta. Por la fuerte agitación de la pulpa durante el transporte, una gran parte del mercurio se pulveriza y se pierde en las colas junto con los flóculos de amalgama. Ni el mercurio pulverizado, ni los flóculos de amalgama pueden ser recuperados eficientemente por la canaleta. Las pérdidas de mercurio son sumamente altas y la recuperación de oro fino es baja. (Ichavautis, 2014, pág. 24)

2.1.6.4. Amalgamación en canaletas.

Al margen del uso de aparatos amalgamadores diseñados expeditamente para este proceso, la amalgamación también puede realizarse en otros artefactos normalmente utilizados para la separación gravimétrica con agua; el artefacto más comúnmente utilizado es la canaleta. La amalgamación en canaletas es frecuentemente practicada tanto en la minería de oro aluvial como en la primaria.

El mercurio se coloca entre las rejillas de una canaleta o en depresiones del piso de la misma. La canaleta se opera entonces de la misma manera que para una separación gravimétrica normal. El oro fino, cuando tiene una superficie limpia, se amalgama en lugar de ser transportado fuera de la canaleta.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Sin embargo, en muchos casos, el oro pasa por la canaleta sin amalgamarse para luego perderse en las colas (porque la superficie del oro o del mercurio está sucio). Este proceso, al margen de producir una recuperación limitada, emite grandes cantidades de mercurio. Muchas veces, la pulpa pasa por un barril de retención antes de llegar a la canaleta, donde se coloca mercurio para una amalgamación previa. Con este dispositivo adicional, las pérdidas de mercurio son aún más altas.

2.1.6.5. Amalgamación en molinos.

En la minería primaria, el oro debe ser liberado previamente por trituración y molienda. Muchas veces aprovechan la etapa de molienda para realizar simultáneamente el proceso de amalgamación, es decir una combinación de molienda-amalgamación. Aquí, el mercurio se vierte dentro el equipo de molienda y la amalgamación del oro se lleva a cabo en circuito abierto. O se ha visto también que algunos mineros descargan del molino el material finamente molido a otro recipiente ya que el molino es de uso común y ahí en el recipiente recién vierten el mercurio para recuperar el oro. (Ichavautis, 2014, pág. 25)

En este proceso, una parte de la amalgama se queda en el recipiente del molino (tambor, tazón, etc.). Otra parte sale del molino y es parcialmente recuperado por métodos gravimétricos (canaletas, trampas, etc.) o planchas amalgamadoras. Sin embargo, las pérdidas de mercurio en las colas, especialmente en forma de mercurio finamente molido o harina de mercurio ("flouredmercury") son muy altas.

2.1.6.6. Amalgamación en concentradores centrífugos.

La operación en este equipo, consiste en colocar mercurio en el fondo del recipiente cónico y en los espacios anulares del mismo, luego por efecto de la fuerza centrífuga se logra el contacto oro - mercurio, produciéndose la amalgamación. Debido a las altas velocidades de flujo circular que ocurren dentro de la centrifugadora, se produce una alta pérdida de mercurio finamente dispersado.

2.1.6.7. Amalgamación con planchas amalgamadoras.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Las planchas amalgamadoras se utilizan en la minería primaria para la recuperación de oro fino (molido); por esto, estas se colocan a la salida del molino. La pulpa (mezcla de mineral con agua) corre sobre las planchas de cobre o metal Muntz (60% cobre, 40% zinc) ligeramente inclinadas, que tienen una capa de plata aplicada electrolíticamente. Sobre la plata se aplica una capa de mercurio o amalgama (de plata o de oro). (Ichavautis, 2014, pág. 26)

El oro al hundirse en la pulpa, se pone en contacto con el mercurio y se queda formando amalgama. Para mantener su funcionamiento, las planchas deben ser "activadas" periódicamente, es decir que necesitan una nueva carga de mercurio para que el atrapamiento de oro no cese y la amalgama tenga una consistencia favorable (especie de masa plástica). Cuando la capa de amalgama es bastante apreciable, esta se remueve y separa con una espátula de goma.

Cuando se utiliza mercurio dentro el molino, las planchas amalgamadoras sirven para retener parcialmente la amalgama que no queda adentro. En algunos tipos de molinos (de pisones, trapiches) se colocan planchas amalgamadoras en las paredes de estos.

Las planchas tienen que ser limpiadas varias veces al día y ser reacondicionadas para su reutilización, Tales operaciones demandan bastante tiempo e implican (por el alto valor del producto) bastante riesgo de robo. Se han desarrollado algunas soluciones locales para resolver el problema de preparación y limpieza de las planchas, como restregar las láminas con orina, savia de Sisal (fique o pita), detergente, etc. Tarde o temprano las planchas requieren un nuevo electroplateado.

Generalmente, la eficiencia de las planchas amalgamadoras no es muy alta (especialmente con material sulfuroso), debido a varias razones: En muchos casos, el oro sale del molino cubierto por una pátina de óxidos de fierro, y pasa por la plancha sin amalgamarse y arrastre mecánico de amalgama por partículas gruesas de ganga. El mercurio sobre la plancha se contamina con varias sustancias, que dificultan o inhiben el contacto. (C'sickening"). (Ichavautis, 2014, pág. 27)

Las pérdidas de amalgama, oro y mercurio utilizando planchas amalgamadoras en circuito abierto pueden ser altas. Además, el riesgo de intoxicación de los operadores por la



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

evaporación del mercurio durante la preparación de las planchas es elevado. Por esto, este proceso no se considera recomendable y debe ser evitado.

2.1.6.8. Amalgamación manual.

En la minería primaria y aluvial, la amalgamación manual se realiza generalmente con concentrados obtenidos gravimétricamente. Algunas veces, se lo efectúa también con los "pies". Existen concentrados, especialmente aluviales, muy fáciles y rápidos de amalgamar utilizando un simple balde y un palo de madera, debido a que el oro es limpio y los minerales acompañantes inocuos (arenas negras), obteniéndose una buena recuperación de oro y pérdidas mínimas de mercurio en las colas de amalgamación.

Normalmente, los concentrados sulfurosos requieren mucho más esfuerzo y tiempo (varias horas) para su amalgamación, utilizando a veces un mortero de piedra y otras una batea grande. Si bien el mercurio se encuentra dentro la pulpa, en este caso, los riesgos para la salud de los trabajadores por el alto tiempo de exposición y la inhalación de vapores de mercurio, pueden ser elevados.

2.1.6.9. Amalgamación en tambores amalgamadores.

Los tambores amalgamadores se utilizan frecuentemente tanto en la minería primaria como en la minería aluvial, para amalgamar concentrados gravimétricos. Se encuentran diferentes modelos, como también mezcladoras de hormigón. En algunos casos, los tambores amalgamadores se utilizan simultáneamente para moler y amalgamar concentrados, con pérdidas significativas de mercurio molido en las colas de amalgamación. Los tambores amalgamadores son útiles para efectuar una amalgamación controlada en circuito cerrado, sobre todo, el proceso puede ser muy bien optimizado. (Ichavautis, 2014, pág. 28)

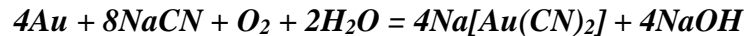
2.1.7. Proceso de Cianuración Convencional

Treybal (1985), indica que la lixiviación es la solución preferencial de uno o más componentes de una mezcla sólida por medio del contacto de un solvente líquido. Es precisamente en esta operación unitaria de la ingeniería química que se da la extracción del



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Oro de los minerales. La reacción que tiene lugar durante la disolución del Oro en soluciones cianuradas bajo condiciones normales ha sido establecida como:



La concentración del cianuro determina la velocidad de disolución anódica del oro, mientras que la cinética de reducción depende de la concentración de oxígeno disuelto. La relación entre la concentración del cianuro y el oxígeno en solución determinan la velocidad de reacción. Esto significa en lenguaje sencillo que por cada cuatro partes de oro se necesitan ocho partes de cianuro dos de agua y una de oxígeno puro para dar cuatro partes el complejo aurocianurado y cuatro de hidróxido de sodio. (Treybal, 1985, pág. 89)

En sistemas relativamente simples el oro se disuelve con facilidad. El único requerimiento es que el oro sea libre y limpio, y que la solución cianurada no contenga impurezas que puedan inhibir la reacción y tener un suministro adecuado de oxígeno.

Una cosa a destacar de esta ecuación es la gran importancia que tiene la participación del oxígeno debido a que él es el agente oxidante de esta reacción; es decir que él es el responsable de facilitar la oxidación, la disolución del oro y así formar el complejo cianurado ($Na[Au(CN)_2]$) que posteriormente será precipitado por el cinc o por otro método.

La presencia de un agente oxidante es esencial para la disolución del oro bajo condiciones normales de Cianuración. Existen agentes oxidantes que han sido usados en mayor o en menor grado en el pasado; pero que se han dejado de usar por su difícil manipulación, costo y los productos indeseables que se obtienen. Por otra parte, se ha demostrado que con una adecuada aireación se obtiene buenos resultados utilizando al aire como oxidante químico, debido a que el mismo está compuesto por un 29 % de Oxígeno y un 70 % de Nitrógeno aproximadamente. (Treybal, 1985, pág. 90)

Se han realizado ensayos en los que se ha determinado las velocidades de disolución del oro en una solución cianurada al 0,10 % utilizando nitrógeno, oxígeno, y una mezcla de ambos en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Tabla 2.2

Velocidad de disolución del oro (Au) en diferentes mezclas de oxígeno - nitrógeno.

Mezcla de Oxígeno – Nitrógeno			Velocidad de disolución del oro en la solución cianurada, [mg/cm ² ·hr]
No.	Oxígeno, [%]	Nitrógeno, [%]	
1	00	100	0,04
2	9,60	90,40	1,03
3	20,90	79,10	2,36
4	29,0	71,00	3,44
5	60,10	39,90	7,62
6	70,00	30,00	8,37
7	99,50	0,50	12,62

Fuente: (Treybal, 1985)

Muchos minerales auríferos están acordes en la práctica con esta reacción y los problemas presentes en la extracción del oro son más mecánicos que químicos. Sin embargo, muchos otros presentan una gran variedad de problemas químicos que dependen de diferentes constituyentes del mineral. Muchos de estos constituyentes tales como el cuarzo, carbonatos y metales alcalinos son relativamente inertes en la cianuración.

Sin embargo, otros componentes pueden reaccionar en mayor o en menor grado en soluciones cianuradas y competir con el oro en la cianuración. Es difícil predecir como un mineral va actuar durante la cianuración debido a que cada mineral tiene sus características particulares. (Treybal, 1985, pág. 91)

2.1.7.1. Efecto de algunos minerales en el proceso de cianuración

La concentración de cobre en minerales debe ser menor del 0,10 % debido a que sus efectos en la cianuración y precipitación pueden ser pronunciados. No solamente se disuelve en cianuro provocando un consumo excesivo de este reactivo, sino que, el complejo cianurado de cobre afecta indirectamente la disolución del oro. En adición este metal influye en la precipitación del oro por el zinc. El resultado del oro precipitado con contenido de cobre repercutirá subsecuentemente en las operaciones de fundición.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

El níquel en pequeñas cantidades tiene efectos perjudiciales en la precipitación del oro y pocos en la disolución. El por qué no está definido aún, ni su cura. El arsénico y antimonio en la forma de rejalgar (As_2S_3), oropimente (As_2S_5) y el Antimonio como estibino (Sb_2S_3) representan serios problemas en la Cianuración. Estos minerales de arsénico no forman compuestos complejos cianurados rápidamente como es conocido, pero se disuelven en soluciones alcalinas para formar compuestos tales como tioarseniato y tioantimoniato $\text{As}(\text{CN})_3$ y $\text{Sb}(\text{CN})_3$. Estos compuestos reaccionan con el oxígeno en la solución cianurada para formar el correspondiente arseniato y antimoniato. Es que posteriormente no habrá oxígeno disponible para la disolución del oro y por tanto su recuperación de extracción decaerá. (Treybal, 1985, pág. 92)

2.1.7.2. Factores físicos químicos que afectan la velocidad de cianuración

La cinética de cianuración del oro es limitada por difusión. Durante la reacción química (Cianuración) una película o capa límite cubre la partícula de oro y para lograr la cianuración, el oxígeno y el cianuro deben de pasar a través de la capa límite hasta la superficie del oro y luego formar el complejo oro-cianuro. Deben difundirse fuera atravesando la capa límite.

Los principales factores que afectan la velocidad de cianuración son las concentraciones de oxígeno y cianuro, el espesor de la capa límite de Nerts, y el coeficiente de difusión del oxígeno y el cianuro respectivamente. (Treybal, 1985, pág. 92)

2.1.7.2.1. Cinética de disolución del oro.

Una reacción fisicoquímica en la cual se hallan involucradas una fase sólida y otra líquida se consuma en cinco etapas siguientes:

1. Difusión de los reactantes desde la solución hasta la interfase sólido-líquido.
2. Adsorción de los reactantes en la superficie del sólido.
3. Reacción en la superficie.
4. Desorción de los productos de la reacción de la superficie del sólido.
5. Difusión de estos productos de la interfase sólido-líquido a la solución.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

2.1.7.3. Efectos retardadores y aceleradores.

2.1.7.3.1. Efecto del oxígeno en la disolución del Oro.

1. El alto consumo de oxígeno retarda la reacción, existen altos consumidores de esta sustancia como la pirrotina (sulfuro natural de hierro, FeS), la cual se descompone fácilmente formando hidróxidos que se oxidan con el oxígeno.
2. Para estos casos es necesario usar agentes oxidantes como el peróxido de hidrógeno o en todo caso airear la pulpa para compensar el consumo excesivo de oxígeno.

2.1.7.3.2. Efecto del cianuro libre en la disolución del oro.

La presencia de cianuro libre, según Treybal (1 985) retarda la disolución en el caso que se dé un alto consumo de cianuro debido a:

1. La formación de complejos cianurados.
2. La desposesión de peróxidos.
3. La producción de un sulfuro airoso insoluble sobre la superficie del oro.
4. La deposición de peróxidos.
5. La absorción sobre la ganga especialmente de cuarzo y aluminosilicatos.
6. La degradación del cianuro por hidrólisis, el cual depende de álcali libre.
7. La presencia de zantatos en el mineral flotando que forma una capa fina de zantato aúrico insoluble que evita la disolución del oro.
8. Las concentraciones bajísimas de cianuro menores a 0,001 % en la cual no disuelve el oro.

2.1.7.3.3. Efecto del tamaño de partícula en la disolución del oro.

El tamaño de partícula es determinante en el tiempo disolución, a mayor diámetro, mayor será el tiempo de disolución. El denominado oro grueso, si asumimos una reducción de 3,36 micrones por hora (datos encontrados por Barsky), un gramo de oro de 44 micrones de espesor tomaría no menos de 13 horas para disolverse, otro grano de 119 micrones tomaría no menos de 44 horas para su disolución. Si la disolución es con Plata metálica es mayor el



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

tiempo. Cuando el oro grueso aparece en los minerales, la práctica usual es superarlos con gravimetría previa. (Treybal, 1985, pág. 94)

2.1.7.3.4. Efectos de la alcalinidad sobre solución de cianuro

Los principales efectos que se presentan sobre la solución de cianuro con su alcalinidad son los siguientes:

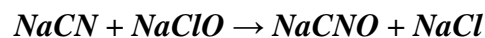
1. Evita pérdidas de cianuro por hidrólisis.
2. Evita pérdidas de cianuro por acción del dióxido de carbono del aire.
3. Descompone los bicarbonatos en el agua antes de ser usados en cianuración.
4. Neutraliza los compuestos ácidos contenidos en el mineral.
5. Ayuda a la sedimentación de partículas finas en el agua.
6. Mejora la extracción cuando se trata de minerales conteniendo telurios.

2.1.7.3.5. Efectos del pH.

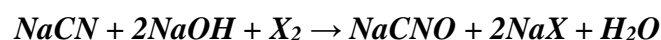
Si se incrementa el pH de 10,5 a 12, el nivel de disolución del Oro disminuye. Esto es debido que, a pH por encima de 12, se depositan carbonatos sobre la superficie de las partículas de Oro y de las rocas que contienen intrínsecamente el metal, lo cual impide que la solución cianurada penetre y disuelva al Oro. El pH óptimo debe mantenerse en el rango de 10,5 a 11. (Treybal, 1985, pág. 95)

2.1.7.3.6. Destrucción del cianuro de sodio.

Treybal (1985), presenta que la neutralización del cianuro de sodio se lleva a cabo con la adición del hipoclorito de sodio al 1%. La reacción de neutralización del cianuro de sodio ocurre de acuerdo a la siguiente reacción:



El mecanismo de esta reacción está dado de la forma siguiente:



Donde X es el halogenuro (que puede ser el Cl⁻). Industrialmente la forma de obtener hipocloritos, es la de hacer reaccionar hidróxido de sodio o de potasio en agua de cloro.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

En todos los ensayos en donde se utilice cianuro ya sea a escala de laboratorio, planta piloto, como así también en operaciones a escala Industrial, se debe prever un sistema de destrucción del cianuro residual en soluciones y colas.

Los reactivos más eficientes para realizar la destrucción del cianuro encuentran su base en los halógenos, y su efecto es el de la oxidación del cianuro y el de sus compuestos. Se puede tomar ventaja del pH positivo de la reacción de oxidación del cianuro y de esta forma reducir los costos haciendo una operación rápida y controlada. El mecanismo utilizado es el de pasar el CN^- a CNO^- . (Treybal, 1985, pág. 96)

2.1.8. Aplicación de la cianuración en la pequeña minería.

La cianuración es una tecnología que se utiliza desde hace 100 años en la recuperación de oro primario, sobre todo en la minería grande y mediana. En la pequeña minería, su uso es bastante nuevo. (Ichavautis, 2014, pág. 32)

Debido a que algunos materiales auríferos (oro refractario o fino) no pueden ser concentrados satisfactoriamente por ningún método gravimétrico, en los últimos años el empleo de la cianuración se ha difundido bastante en la pequeña minería aurífera de los países andinos como Perú, Chile, Ecuador, Colombia y Venezuela, y también en varios países africanos.

Al margen de sus indudables ventajas de alta recuperación, la cianuración, empleada rústicamente, puede causar y está causando un grave impacto ambiental. El cianuro es altamente tóxico. Sin embargo, al contrario del mercurio, el cianuro es biodegradable.

2.1.9. Adsorción

La adsorción es un fenómeno de transferencia de materia entre fases, el cual se utiliza ampliamente en los tratamientos para eliminar sustancias de las fases fluidas. Este se puede definir como: “el enriquecimiento de especies químicas de una fase fluida en la superficie de un sólido”. Este enriquecimiento crea una fase intermedia llamada interface, donde tiene lugar la adsorción entre la fase líquida que tiene el componente que deseamos eliminar y el otro componente que es el adsorbente. (Castelló, 2017, pág. 8)



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

En la fase fluida debe estar el componente a adsorber disuelto en el líquido. En resumen, estos procesos de adsorción necesitan 2 fases: la fase sólida o adsorbente y la fase líquida que es donde se encuentra el adsorbato.

La eficacia del proceso de adsorción está influenciada por una gran variedad de parámetros, entre ellos la interacción entre el colorante y el adsorbente, la superficie específica de éste, el tamaño de la molécula de colorante, la temperatura, el pH y el tiempo de contacto. Así pues, es fundamental el tipo de adsorbente elegido. Un adsorbente muy utilizado es el carbón activo, aunque también se emplean otros adsorbentes inorgánicos como las zeolitas, la vermiculita o el vidrio volcánico. (Castelló, 2017, pág. 9)

La principal característica de la adsorción es la capacidad que tiene de retener al adsorbato en sus paredes, es decir, en la superficie. Por ello, los adsorbentes deben presentar una alta superficie por unidad de masa. El carbón activo presenta una alta superficie por unidad, es decir, tiene una alta capacidad de adsorción por lo cual cumpliría los requisitos que necesitamos para nuestro trabajo. Además, si seleccionamos el carbón activo como adsorbente, tendremos acceso a una amplia variedad de selección. Esto se debe al hecho de que el carbón activo puede ser producido a partir de diferentes materiales que contengan mayoritariamente carbono en su estructura molecular. Los materiales más comunes son: la madera, el carbón de leña, el lignito, la turba, el serrín, residuos plásticos, etc.

2.1.9.1. Cinética de adsorción.

En los casos generales, el equilibrio de adsorción no se establece instantáneamente. Esta afirmación es correcta en adsorbentes porosos ya que la transferencia de masa de la disolución a los sitios donde tiene lugar la adsorción (dentro de las partículas adsorbentes) está limitada por resistencias de transferencia de masa que determinan el tiempo requerido para alcanzar el estado de equilibrio. Este progreso temporal donde tiene lugar la adsorción se denomina cinética de adsorción. (Castelló, 2017, pág. 14)

La velocidad de adsorción se limita generalmente mediante procesos de difusión hacia la superficie adsorbente externa (difusión externa) y dentro de las partículas adsorbentes porosas (difusión interna). Las investigaciones realizadas sobre la cinética de adsorción son



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

necesarias para aclarar los límites de los mecanismos de transferencia de masa y para evaluar los parámetros característicos de transferencia de masa. Los parámetros de transferencia de masa, al igual que los de equilibrio, son datos de entrada esenciales para la determinación de los tiempos de contacto requeridos en reactores de suspensión, así como para el diseño de absorbedores de lecho fijo.

El progreso del proceso de adsorción puede caracterizarse en cuatro etapas:

1. El transporte del adsorbato desde la fase líquida a la capa límite hidrodinámica localizada alrededor de la partícula adsorbente.
2. El transporte a través de la capa límite a la superficie externa del adsorbente, denominada difusión de película o difusión externa.
3. El transporte al interior de la partícula adsorbente por difusión porosa y/o por difusión superficial.
4. La interacción energética entre las moléculas de adsorbato y los sitios donde tiene lugar la adsorción final.

Generalmente, la primera y la cuarta etapa son muy rápidas con lo que la velocidad total del proceso de adsorción no se ve afectado. Por ello, la velocidad total del proceso de adsorción se determina mediante procesos por difusión de película (difusión externa) y/o intra particular (difusión interna). (Castelló, 2017, pág. 15)

2.1.10. Carbón activado.

El carbón es un mineral de origen orgánico constituido básicamente por carbono. Su formación es el resultado de la condensación gradual de la materia de plantas parcialmente descompuestas a lo largo de millones de años. Las plantas al descomponerse forman una capa llamada turba. Hay tres tipos básicos de carbón (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 8):

- **Lignito:** Se forma una vez comprimida la turba. Es el carbón de menor valor calórico, porque se formó en épocas más recientes y contiene menos carbón (30%) y más agua. Es una sustancia parda y desmenuzable en la que se pueden reconocer algunas estructuras vegetales.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

- **Hulla:** Se origina por la compresión del lignito. Tiene un importante poder calorífico por lo que se utiliza en las plantas de producción de energía. Es dura y quebradiza, de color negro. La concentración de carbono está entre el 75 y el 80%.
- **Antracita:** procede de la transformación de la hulla. Es el mejor de los carbones, muy poco contaminante y de alto poder calorífico. Arde con dificultad, pero desprende mucho calor y poco humo. Es negro, brillante y muy duro. Tiene una concentración de hasta el 95% de carbono.

Con el término genérico de carbón se conoce a los compuestos que tienen en su composición al elemento carbono (C), ordenado regularmente. Los átomos situados en la parte exterior de la estructura cristalina disponen de fuerzas de atracción libre, lo que les permite atraer compuestos existentes en su inmediato alrededor. (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 8)

Una de las maneras más sencillas de diferenciar los carbones que se encuentran en la naturaleza de aquellos que son fabricados por el hombre, es de acuerdo al grado de ordenamiento de sus átomos. En el extremo de mayor orden se encuentra el diamante y poco antes de éste el grafito. De acuerdo con esto un carbón estará más ordenado mientras su proceso de formación se haya llevado a cabo a mayor temperatura y a mayor tiempo. Se puede encontrar en varios formatos; stick, granos, pequeños trozos e incluso en forma de esponja, siendo este último el menos efectivo. (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 9)

“Soto (2007) menciona que los carbones activados son materiales porosos, amorfos y preparados químicamente para que tengan un elevado grado de porosidad y alta superficie específica interna. Estas características, junto con la naturaleza química de los átomos de carbono que lo componen, le dan la propiedad de atraer y atrapar ciertas moléculas del fluido que rodea al carbón. A esta propiedad se le llama “adsorción”; al sólido que adsorbe se le denomina adsorbente y a la molécula atrapada, adsorbato.” (García & Granillo, 2016, pág. 11)

Se trata de un material poroso que se obtiene por carbonización y activación de materiales orgánicos, especialmente de origen vegetal, hullas, lignitos y turbas, con el fin de obtener un alto grado de porosidad y una importante superficie intraparticular. La elevada superficie



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

específica facilita la adsorción física de gases y vapores de mezclas gaseosas o sustancias dispersas en líquidos. (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 11)

La actividad del carbón activo en los procesos de adsorción viene dada fundamentalmente, por la naturaleza de la materia prima y el proceso de activación utilizado en la producción del mismo. Su capacidad absorbente se ve muy favorecida por la estructura porosa y la interacción con adsorbatos polares y no polares, dada su estructura química, además las reacciones químicas en su superficie están influenciadas por centros activos, dislocaciones y discontinuidades, donde los carbones tienen electrones desapareados y valencias insaturadas presentando mayor energía potencial. (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 11; Garcia & Granillo, 2016, pág. 12)

2.1.10.1. Propiedades del carbón activado.

En la actualidad, el carbón activado es utilizado para remover color, olor y sabor de una infinidad de productos, por lo cual lo podemos encontrar en aplicaciones tan sencillas como peceras o filtros de refrigerador, hasta complejos sistemas industriales como modernas plantas de tratamiento de aguas residuales o delicados sistemas de elaboración de antibióticos. (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 13)

Son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad de eliminación de sustancias y baja selectividad de retención. La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, su buena porosidad y distribución de tamaño de poros juegan un papel importante. En general, los microporos le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos y macroporos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido. (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 13)

Por otra parte, el carbón activado tiene escasa especificidad ante un proceso de retención, es un adsorbente “universal”. No obstante, por su naturaleza apolar y por el tipo de fuerzas implicadas en el proceso de adsorción, retendrá preferentemente moléculas apolares y de alto volumen molecular (hidrocarburos, fenoles, colorantes...), mientras que sustancias como



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

nitrógeno, oxígeno y agua prácticamente no son retenidas por el carbón a temperatura ambiente. De ahí que más de 190 000 toneladas al año (de las 375 000 producidas) se destinen a la eliminación de contaminantes procedentes de sectores muy variados, tanto en fase gas (sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, vapores de gasolinas...) como líquida (aguas potables, industriales y residuales, tintorerías...). (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 13)

Finalmente, cuando la sustancia a eliminar tiene una polaridad apreciable, bajo volumen molecular y está muy diluida en aire, la retención a temperatura ambiente por el carbón sólo es efectiva si se impregna con reactivos específicos o se aprovechan las propiedades catalíticas del carbón. De esta manera, tras la adsorción se producen unas reacciones químicas que transforman los productos tóxicos en inertes que se desorben o quedan retenidos en la porosidad del carbón. (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 14)

2.1.10.2. Características del carbón activado.

2.1.10.2.1. Composición química.

El término carbón activo designa un amplio espectro de materiales que se diferencian fundamentalmente en su estructura interna (distinción de poros y superficie específica) y en su granulometría. Desde el punto de vista de la composición química, el carbón activo es carbón prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito, el negro de humo y los diversos carbones minerales o de leña.

Todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que están contenidas en un líquido o gas. La composición química del carbón activo es aproximadamente un 75 – 80% en carbono, 5 – 10% en cenizas, 9,5 – 14,5% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno. (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 15)

2.1.10.2.2. Estructura física.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Según la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemists), los poros se clasifican en base al diámetro de los mismos, de acuerdo a lo siguiente (García & Granillo, 2016, pág. 12):

- Microporo: Menores a 2 nm (20Å), realizan la adsorción y contribuyen a la mayor parte del área de la superficie interna.
- Mesoporos: Entre 2 y 50 nm (20Å y 500Å) y realizan el transporte.
- Macroporos: Mayores a 50 nm (500Å) (típicamente de 200 a 2000 nm) y son la vía de entrada al carbón activado.

Los microporos tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Los macroporos atrapan moléculas grandes, tales como las que son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica. Los mesoporos son los apropiados para moléculas intermedias entre las anteriores. (Manual del Carbón Activado, 2016, pág. 16)

2.1.11. Columnas de adsorción.

La columna o torre utilizada en química industrial es una instalación que se usa para realizar determinados procesos como son la destilación, la absorción, la adsorción, el agotamiento, etc.; y cuya utilidad es la de separar los diversos componentes de una mezcla simple o compleja. (Castelló, 2017, pág. 56)

Las columnas son dispositivos cilíndricos, de altura mayor que su diámetro, que pueden ser de diversos tipos:

1. Columnas de platos perforados: consta de una serie de platos perforados, que pueden llevar a su vez válvulas o campanas, colocados a alturas diferentes y a intervalos regulares, con el fin de dispersar una de las fases.
2. Columnas de relleno: se diferencian de las anteriores por tener su interior ocupado por un relleno de anillos (llamados anillos de Raschig) o de material perforado. En estas columnas lo más importante es la mayor superficie de contacto ofrecida por el relleno.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

3. Columnas de platos de campanas.
4. Columnas de platos de válvulas

2.1.11.1. Características de las columnas de adsorción.

a. Columnas de flujo descendente.

1. Se dan en ellas procesos de adsorción y filtración simultáneos.
2. Se requieren lavados de la superficie filtrante más frecuentes.
3. Se produce una más rápida obstrucción de poros por aglomeración de partículas coloidales (en suspensión), lo que exige limpieza y regeneraciones más frecuentes del carbón, disminuyendo así su vida activa.

b. Columnas de flujo ascendente.

1. La densidad de las partículas aumenta a medida que pasa el tiempo en servicio, como consecuencia de la retención de materiales.
2. El lecho tiende a expandirse respecto de su posición de reposo en parado.
3. Se generan finos por atrición de partículas, pudiendo escapar con la corriente de salida.

Los sistemas o culminas pueden operar, según los casos, por presión o por gravedad. En uno y otro caso, la complejidad de la operación y el coste debidos a la mayor o menor necesidad de tubos y válvulas, dependerá del modelo de disposición para el flujo y del número de columnas instaladas. (Columnas de Adsorción, 2006)



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

2.2. Antecedentes

Internacionales

En 2016, Capac en Perú, investigo sobre la recuperación de oro de la solución barren proveniente del proceso CIP mediante un sistema de columnas, donde especifica que el procedimiento de recuperación de oro por el método CIC es simple y sencillo, también que las variables principales a tomar en cuenta son el flujo y las leyes de cabeza y cola del barren (“solución rica”) para llevar a cabo el control metalúrgico; incluso se aplicó la desorción zadra que es la misma que realiza la planta en el carbón cargado proveniente del proceso CIP. Por lo tanto, afirma que los resultados de la recuperación de oro a través de la adsorción en columnas colmo las expectativas ya que se obtuvo 2,097 kg de oro (67,44 oz) teniendo como materia prima el barren, el cual estaba almacenado en la relavera y solo era utilizado como un lixivante para el circuito CIP ya que contiene un buen porcentaje de cianuro. (Capac, 2016)

En el 2018, Torres en Perú, realizo el estudio de la cianuración con remolienda para mejorar la recuperación del oro en la planta cascajal de la minera cascaminas s.a.c. donde determino que este proceso se debe trabajar con una malla de liberación del 70% malla -200, lo cual se demostró al obtener mejores recuperaciones al operar con remolienda; determinó en base al diseño experimental de las pruebas metalúrgicas, que lo parámetros de operación practico deberá cumplir los siguientes parámetros: % NaCN 0,1; pH 11,0 y granulometría 70 %-200mallas. El consumo de cianuro está dentro de los límites razonables de 500 g/Ton y un rango de pH de 10,7 a 11,3 lo que hace viable el proceso de cianuración de los minerales de los diferentes tajeos. Según el cuadro del balance metalúrgico del tratamiento sin remolienda se observa una recuperación total de oro del 86,50%, que es mucho menor en comparación con las pruebas con remolienda que dan un 90,18% de recuperación de oro, para el mismo mineral, lo que es satisfactorio. (Torres, 2018)



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

En el mismo año, Paredes en Perú, realiza una descripción de las operaciones de la planta de cianuración de oro - minera Yanaquihua y la optimización del proceso de filtrado, donde hace énfasis que a nivel industrial el método de adsorción por carbón activado es el más usado, puesto que los carbones activados se utilizan por su estructura granular, los que tienen una gran superficie específica, las que permiten un alto grado de adsorción del oro y la plata, desde las soluciones cianuradas ricas a la superficie de estos carbones. Además, que la cantidad de oro que puede cargar un carbón activado depende de la cantidad de cianuro libre que haya en la solución, las impurezas y del pH de la solución, como así también del tiempo de contacto o dicho de otra forma del flujo de alimentación. También indica que la empresa comprende un circuito de Cianuración-Adsorción CIP, por lo tanto, el oro se recupera mediante adsorción en carbón activado por el método de Carbón en Pulpa (CIP). (Paredes, 2018)

Igualmente, en 2018, Maquera en Perú, estudió la instalación de una planta de Cianuración de relaves auríferos por el método CIP en la compañía minera Virgen del Rosario S.A.C, determino que durante el proceso de recuperación la velocidad de absorción del oro fue optimo debido a que se requiere mayores horas en menor ley de solución, mayor concentración en el carbón. La temperatura de la solución adecuada fue menor a 30 grados porque a medida que se iba incrementando la temperatura se iba produciendo simultáneamente el fenómeno de absorción del oro. A nivel experimental e industrial con los sólidos del último espesador y repulpados con el líquido que regresa de cancha de relaves con un pH de 10,2 y una fuerza de cianuro de 280 ppm de cianuro libre, se lograron carbones cargados hasta con 2 Kg de oro/tonelada, que por el método de alimentación en contracorriente 136 cosechamos el carbón cargado. Finalizando se concluye, que la instalación de una planta de cianuración que utiliza el sistema de Carbón en Pulpa, recupera los valores de baja concentración, elevando la producción en planta, con un costo mínimo de instalación y dando mayor rentabilidad a la misma. (Maquera, 2018)



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

En el 2019, Poblete en Chile, estudio la lixiviación cianurada de mineral de oro en columnas a nivel de planta piloto, donde determinó que las mejores condiciones que orientan la máxima extracción de Au a un 70% son: Granulometría de alimentación a la columna de lixiviación: F80 -3/8”, Concentración de NaCN en la solución de riego 0,7 g/L, Tasa de riego 12 [L/h m²], Altura de lecho de mineral 4 m, Dosis de NaCN en el curado 50% del consumo máximo de NaCN, Tiempo de reposo de 2 días, Aglomeración con cemento 8 lb/t, Tiempo de lixiviación en columnas de 40 días y Tiempo de lavado de columna 2 días. Ante estas condiciones, concluye que la técnica de aglomerado, curado y adsorción con carbón activado influye significativamente en los niveles de extracción de Au que se pueden alcanzar a través de la lixiviación en pilas. (Poblete, 2019)

Nacionales

A nivel nacional se realizó la búsqueda de tesis, monografías, seminarios o trabajos de fin de curso en los repositorios de la UNAN-Managua, UNI, UCA, UNAN-León, URACCAN, en los cuales no se encontraron investigaciones relacionadas al efecto que tiene la implementación de un sistema de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación sobre el porcentaje de recuperación de oro en algún plantel minero nicaragüense.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

2.3. Hipótesis

El prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado implementado en las pilas de lixiviados de colas de amalgamación del plantel el Barreno de oro, ejerce un efecto positivo aumentando el porcentaje de recuperación de oro.

Capítulo III





Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Descripción del ámbito de estudio.

El área de estudio a nivel institucional, responde al **Área académica: Procesos industriales**, **Línea de Investigación: Minería**, dentro del **Tema de interés: Investigación y desarrollo de tecnologías para aprovechamiento de las arcillas, rocas y otros minerales de abundancia e interés nacional**, correspondiente al Programa de “**Licenciatura en Química Industrial**”, del departamento de Química de la UNAN-Managua.

El área de estudio de la presente investigación desde un **enfoque técnico del objeto de estudio y la especialidad**, está centrada en la evaluación del efecto que tiene la implementación de un sistema de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro.

Desde el punto de vista geográfico, se realizó en el plantel el Barreno de oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, durante el periodo enero 2020 - abril 2021.

Imagen 4.1. Micro localización del plantel el Barreno de oro.



Fuente: Autores.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

El plantel como tal está dividido en distintas áreas:

- Recepción de broza: a cargo del personal de oficina de la compra del material.
- Tres rastras: cada una cuenta con su operador.
- Área de trituración: tiene su propio encargado y sus 5 operadores.
- Molino y deslamador: está a cargo un supervisor y tres operadores.
- Área de pilas de lixiviación: en total son 23 pilas, 15 personas que se encargan de descargar y preparar el material para meterla de nuevo.
- Patios de secado: se cuenta con 3, los cual utilizan una pala y un bobcat para secar el material.
- Bodega: cuenta con 2 personas técnicas que saben de todo para las necesidades de la empresa.
- Oficina: cuenta con el gerente, contador, personal de cámaras.
- Laboratorio: es a pequeña escala, cuenta con dos analistas.
- Área Hervidero: el área más importante aquí donde se lleva a cabo los procesos químicos y la refinación.

3.1.2. Tipo de estudio.

El tipo de estudio corresponde a una investigación de carácter cuantitativo, con el empleo de técnicas de investigación cualitativas. De acuerdo al nivel inicial de profundidad del conocimiento es exploratorio puesto que en el plantel el Barreno de oro no se ha realizado modificaciones en el proceso de recuperación de oro (Piura, 2012). Partiendo de la exploración se procede a realizar una descripción de las variables en estudio, con el propósito de hacer énfasis en la implementación del sistema de columnas de adsorción, llegando al punto de investigación aplicativo.

De acuerdo a la clasificación de Hernández, Fernández y Baptista 2014, el tipo de estudio es *correlacional* debido a que en base a las variables de estudio y la implementación de un sistema de columnas de adsorción se produce un efecto en el rendimiento de recuperación de oro. De acuerdo, al tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

es **prospectivo**, puesto que los datos fueron obtenidos durante la investigación sin precedentes bibliográficos, en relación a los datos de recuperación de oro en el plantel de estudio.

Por el período y secuencia del estudio es **transversal** puesto que la investigación se realizó en un solo momento o periodo de tiempo, y según el análisis y alcance de los resultados el estudio es **predictivo** ya que en base a los resultados obtenidos en la experimentación se podrá predecir el efecto de manipulación de las variables en condiciones mejoradas y con el propósito de realizar proyección de resultados. (Canales, Alvarado, & Pineda, 1996).

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población.

Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Hernández, Fernández y Baptista, 2006), por lo tanto, la población en estudio basados en el foco de investigación comprende a todos los planteles artesanales dedicados a la extracción de oro a nivel nacional, los cuales están ubicados principalmente en León, Matagalpa, Rio San Juan y Chinandega.

3.2.2. Muestra.

La muestra seleccionada es del tipo intencional o condicional basada en los criterios o conveniencias de los investigadores, por lo tanto, la muestra corresponde específicamente al plantel artesanal de extracción de oro el Barreno de oro, ubicado en el municipio de San Isidro del departamento de Matagalpa.

3.2.2.1. Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión de la muestra corresponden a:

- Plantel artesanal de extracción de oro.
- Plantel de extracción de oro que no implementen un sistema de columnas de adsorción.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

- Plantel de extracción que desean mejorar el porcentaje de extracción de oro.

3.2.2.2. Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión de la muestra corresponden a:

- Planteles donde la extracción de oro cumple con un proceso sistematizado, semi industrializado o industrializado.
- Plantel de extracción de oro que implementen un sistema de columnas de adsorción.

3.3. Variables

3.3.1. Variables independientes.

Las variables independientes corresponden a la variable en estudio con manipulación de los investigadores conocidas como partes del problema o variables experimentales, las cuales son:

- Prototipo de columnas de adsorción con carbón activado.
- Variables de operación.
- Tiempo medio de residencia.
- Concentración de cianuro
- pH.

3.3.2. Variable dependiente.

La variable dependiente corresponde a la variable en estudio sin manipulación de los investigadores, conocida también como problema de investigación o variable respuesta, la cual es:

- Porcentaje de Recuperación de Oro.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

3.3.3. Operacionalización de las variables.

Tabla 3.1.

Operacionalización de las variables en base a objetivos.

Objetivos Específicos	Variable Conceptual	Subvariables, o Dimensiones	Variable Operativa o Indicador	Técnicas de Recolección de Datos e Información y Actores Participantes		Tipo de Variable Estadística	Categorías estadísticas
				Diario de campo	Experimento de Laboratorio		
Nº 1. Describir el proceso de extracción de oro que se lleva a cabo en el plantel El Barreno de Oro.	Proceso de extracción de oro.	Etapas del proceso.	Operaciones unitarias.	X		Nominal	Cadena
			Condiciones de operación.	X		Nominal	Cadena
Nº 2. Ensamblar el prototipo de columnas de adsorción en serie al flujo de lixiviados provenientes de tratamiento de colas de amalgamación por el proceso de cianuración en pilas.	Prototipo de columnas de adsorción.	Columnas de adsorción.	Materiales. Dimensiones.	X		Nominal	Cadena
Nº3. Cuantificar la concentración de cianuro en la etapa de lixiviación por el método de titulación volumétrica.	Concentración de cianuro en la etapa de lixiviación.	Etapas de lixiviación.	Titulación volumétrica	X		Volumen	250-300 ppm



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

<p>Nº 4. Controlar las variables de operación, tiempo medio de residencia, concentración de cianuro de sodio y pH para el mejoramiento en los porcentajes de recuperación de oro.</p>	Variables de operación.	de	Tiempo medio de residencia del volumen de solución.	X	Volumen.	6 litros
	concentración de cianuro de sodio y pH para el mejoramiento en los porcentajes de recuperación de oro.		pH.	X	Minutos.	1 minuto
				X	Escala de pH	10,5 a 12
<p>Nº 5. Cuantificar el porcentaje de recuperación de oro obtenido a partir del prototipo de columnas de adsorción conectadas en serie y ensamblado al flujo de lixiviados proveniente del tratamiento de colas de amalgamación por el proceso de cianuración en pilas.</p>	Recuperación de oro.	Ppm	(mg/Kg)	X	Discontinua	25 – 35
		Porcentaje de recuperación de oro.	Porcentaje	Porcentaje	X	Discontinua

Fuente: Autores.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

3.4. Materiales

3.4.1. Materiales para recolectar información.

La recolección de información para sustentar y concretar el desarrollo de la investigación se realizó mediante las siguientes fuentes, materiales y herramientas de investigación:

- Materiales Libros.
- Monografías y seminarios.
- Artículos científicos.
- Publicaciones de sitio web.
- Fichas de citas textuales.
- Fichas técnicas.
- Entrevista no estructurada.
- Declaración de análisis químicos.

3.4.2. Materiales para procesar la información.

La información fue presentada por medio de tablas, gráficos, diagrama de flujos y equipos. La información fue procesada con la ayuda de los siguientes softwares:

- Microsoft Excel 2019 versión 16.1.6746.2048: Gráficos, tablas.
- Microsoft Word 2019 versión 16.1.6746.2048: Tablas, Flujograma, trabajo escrito.
- Microsoft Power Point 2019 versión 16.1.6746.2048: Imágenes, figuras, diapositivas.
- AutoCAD versión 2016 versión SP1: plano en 2D del prototipo, Diagrama de bloque.

3.4.3. Equipos, reactivos y materiales de experimentación.

Los materiales y equipos utilizados en esta investigación se describen en las siguientes tablas, esta clasificación va de acuerdo al vocabulario internacional de metrología. (VIM)



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

a) *Equipos*

Tabla 3.2
Equipos utilizados en el desarrollo de la investigación.

Nombre	Marca	Modelo
Balanza Semi-Analítica	OHAUS	ST-25
Laptop	DELL	08435FCD-7501-4706-B604-DCE8524BB602
Cronometro	ECK0	E16080G1

Fuente: Autores.

b) *Materiales de laboratorio*

Tabla 3.3.
Materiales de laboratorio.

Descripción	Marca	Capacidad
Cristalería		
Agitadores de vidrio	-	20 cm
Bureta	Pyrex®	50 mL
Matraz aforado	Pyrex®	1000 mL
Probeta	Pyrex®	100 mL
Erlenmeyer	Pyrex®	250 mL
Becker	Fisher	400 cm
Becker pírex	Pyrex®	250 mL
Embudos	Pyrex®	25 mL
Probetas Volumétricas	Pyrex®	50 mL
Vidrio reloj	Pyrex	100 g
Materiales de uso personal		
Bata de laboratorio	Cherokee	Talla M, S
Gorros desechables	-	Estándar
Cubre zapatos	Gloves	Estándar
Guantes de Nitrilo	Genial Glove	Talla (S, M)
Otros materiales		
Papel toalla	Scott	100 hojas dobles



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Papel filtro	MELIHA	#4
Para film	Bemis	2 In X 250 FT/RL.
Pizeta	Fisherbrand	1000 ml

Fuente: Autores.

c) Reactivos

Tabla 3.4.
Reactivos utilizados el desarrollo de la investigación.

Reactivo	Grado	Proveedor
Agua destilada	100 %	Sánchez Collado & CIA. LITDA
Agua purificada	100%	Alpina
Nitrato de plata (AgNO ₃)	0,01 N	Distribuidora Mayorga
Yoduro de potasio (KI)	5%	Distribuidora Mayorga

Fuente: Autores.

d) Otros equipos

Tabla 3.5.
Equipos transductores de medidas utilizados el desarrollo de la investigación.

Transductor de medida			
Nombre	Marca	Modelo	Resolución
pHmetro	Milwaukee	PH55	-

Fuente: Autores.

3.5. Métodos

3.5.1. Método de investigación.

El método de investigación es experimental, puesto que se manipulan las variables independientes en estudio con el propósito de analizar la variable respuesta. Además, se cumple con la deducción iniciando con la observación de fenómenos generales con el propósito de señalar las verdades particulares o plantear una hipótesis, esto de forma concreta radica en los bajos rendimientos de recuperación de oro en los procesos artesanales, lo cual conlleva a preguntarse si con alguna adaptación tecnológica en el proceso se puede aumentar dicho rendimiento, mejorando las condiciones y producto final.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

3.5.2. Diario de campo.

El diario de campo es un instrumento utilizado por los investigadores para registrar aquellos hechos que son susceptibles de ser interpretados. En este sentido, el diario de campo es una herramienta que permite sistematizar las experiencias para luego analizar los resultados. Desde este punto de partida de definición el diario de campo se utilizó en esta investigación con el propósito de llevar un registro de las fases desarrolladas durante el proceso de extracción de oro previo a la adaptación del prototipo de columnas de adsorción con carbón activado y a su posterior ensamblaje con la finalidad de idealizar esquemas y anotar los resultados obtenidos durante las fases experimentales. Las evidencias de la memoria fotográfica se encuentran en el anexo 1.

3.5.3. Construcción y ensamblaje del prototipo del sistema de columnas de adsorción.

La construcción del prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado se realizó bajo la asesoría de los expertos en recuperación de oro y empíricos presentes durante la investigación, los cuales sugirieron las dimensiones del prototipo y posteriormente los materiales que se emplearon, basados en las condiciones que la administración del plantel permitía para su ejecución.

En el Anexo 2. Esquema del prototipo del sistema de columnas 2D, encontrando las dimensiones a escala de dicho sistema. Una vez construido el prototipo de las tres columnas de adsorción conectadas en serie, se ensambló a la pila de lixiviación de colas de amalgamación, la cual, anteriormente tenía ensamblado un recipiente cilíndrico de plástico con carbón activado.

3.5.4. Fase experimental.

3.5.4.1. Titulación volumétrica.

Para determinar la concentración de Cianuro libre se empleará el método de titulación con nitrato de plata y yoduro de potasio como indicador. “Este método es confiable para



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

concentraciones mayores a 10 ppm de cianuro, pero puede alcanzar valores mínimos de 1 ppm” (Cielo, 2011).

En soluciones claras, este método se convierte en el más rápido y fácil. La técnica se basa en la relación de nitrato de plata con el ion cianuro en solución alcalina para formar un complejo soluble $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$.

Este método consiste en la recolección de muestras de lixiviados, la cual debe ser filtrada utilizando un papel filtro. De la muestra previamente filtrada se toman 10 mL y se le adiciona cuatro gotas del indicador que es yoduro de potasio al 5%.

Lista la bureta con la solución de nitrato de plata se empieza la titulación. El procedimiento consiste en abrir la válvula y se deja caer poco a poco gotas de solución de nitrato de plata sobre la solución de lixiviados. El procedimiento se repite hasta lograr observar un cambio en la tonalidad. Cada mL gastado en la titulación corresponde a una concentración de cianuro de 20 ppm.

3.5.4.2. Plan de muestreo

3.5.4.2.1. Muestra en base sólida

a) Muestra P1

En este punto de muestreo se ubicará en la corriente de salida del molino de bolas. La finalidad de este punto de muestreo, es recolectar muestras del material que va a ser sometido a molienda (broza), para posteriormente cuantificar la concentración de oro. En la figura 3.1. se muestra la ubicación del P1.

En este punto se aplicará un muestreo compuesto, ya que se tomarán muestras de 100 g en la corriente de salida del molino cada 3 horas. El muestreo finalizará hasta que el lote de 100 toneladas de mineral termine de ser sometido a molienda.

Al finalizar el muestreo, todas las muestras recolectadas en este punto serán mezcladas con la finalidad de obtener una sola muestra de 1 kg, la cual, ha de tener presumiblemente las mismas propiedades químicas del lote sometido a molienda.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

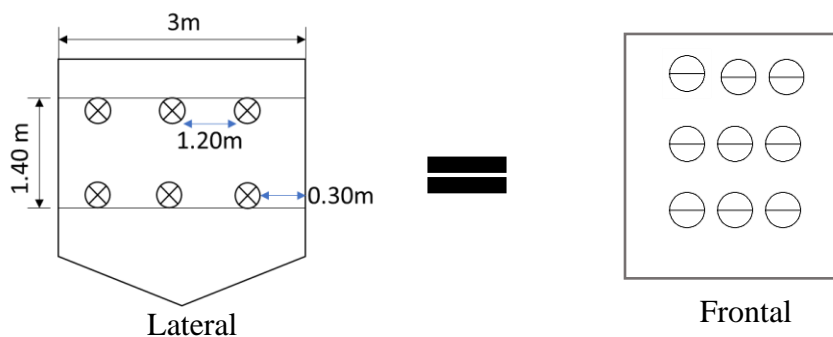
Una vez finalizado el muestreo, la muestra compuesta y homogenizada será enviada al laboratorio, donde se determinará la concentración de oro mediante el método ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente).

b) Muestra P2

En este punto de muestreo se ubicará dentro de la pila de recolección de colas de amalgamación. La finalidad de este punto de muestreo, es recolectar muestras del material sometido al proceso de extracción de oro por amalgamación. La ubicación del punto P2 se puede apreciar mejor en la figura 3.1. En este punto se aplicará un muestreo compuesto en pila. Este muestreo consiste en tomar 9 muestras superficiales y 9 a 1,40 m de profundidad. La cantidad de muestra que se recolectará en cada punto será 200 g aproximadamente. La distribución de cada punto se puede observar mejor en la figura 3.1.

Al finalizar el muestreo, todas las muestras recolectadas en esos puntos serán mezcladas con la finalidad de obtener una sola muestra de 1 kg, la cual, ha de tener presumiblemente las mismas propiedades químicas. La muestra compuesta en pila y homogenizada será enviada al laboratorio, donde se determinará la concentración de oro mediante el método ICP-OES.

Figura 3.1. Representación de puntos de muestreo en la pila de recepción de colas de amalgamación.



Fuente: Autores.

c) Muestra P4:

En este punto se aplicará un muestreo compuesto en pila, ya que se tomarán 12 muestras de 500 g aleatorios en la pila de lixiviación. Al finalizar el proceso de lixiviación de 15 días

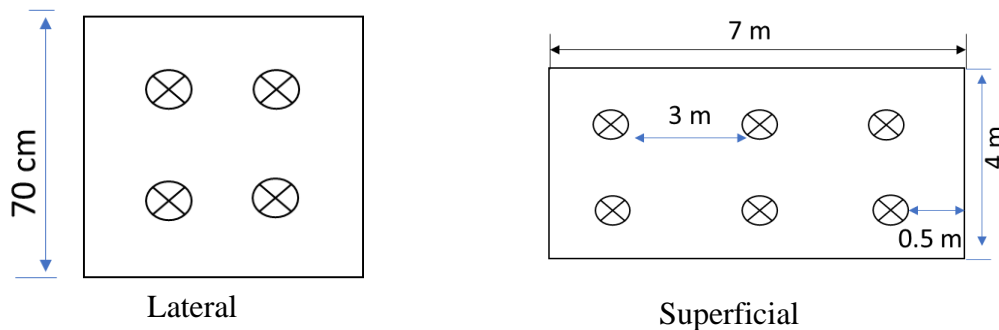


Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

muestreo, todas las muestras recolectadas en este punto serán mezcladas con la finalidad de obtener una sola muestra de 1 kg.

Una vez finalizado el muestreo, la muestra compuesta y homogenizada será enviada al laboratorio, donde se determinará la concentración de oro mediante el método ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente).

Figura 3.2. Localización de puntos aleatorios en la pila de colas de amalgamación.



Fuente: Autores.

3.5.4.2.2. Muestras líquidas

Muestras en el P3:

Este punto de muestreo se ubicará en la corriente de salida del prototipo del sistema de columnas de adsorción, más específicamente, en la corriente de rebose de la tercera columna. La finalidad de este punto de muestreo, es la de recolectar muestras líquidas de la solución lixiviada que ha sido sometida al proceso de adsorción en las tres columnas dispuestas en serie. En la Figura 3.1, se muestra la ubicación del P3 y en la Figura del Anexo 2, podrá observar el prototipo construido de las columnas de adsorción.

En este punto se aplicará un muestreo compuesto, la frecuencia del muestreo será de 24 horas y cada muestra compuesta será de 48 horas. En cada muestreo se tomará una muestra de 500 mL. Esas 2 muestras (48 horas), se deben mezclar con la finalidad de garantizar la homogeneidad y, por tanto, la representatividad del material muestreado. Los detalles del plan de muestreo en este punto se pueden observar mejor en la Tabla 3.6.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

En total, serán 7 muestras compuestas las que serán enviadas al laboratorio donde se determinará la concentración de oro mediante el método ICP-OES.

Tabla 3.6.
Muestras líquidas.

Muestras compuestas	No. muestras	Tiempo, [h]
*MC1	2	24
		48
MC 2	2	72
		96
MC 3	2	120
		144
MC 4	2	168
		192
MC 5	2	216
		240
MC 6	2	264
		288
MC 7	2	312
		336

Fuente: Autores

3.5.5. Métodos de análisis de las muestras.

Los análisis de las muestras se dieron a realizar en el Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua, los cuales emplearon los siguientes métodos:

Tabla 3.7.
Métodos analíticos empleados en las muestras recolectadas durante la investigación.

Muestra	Tipo de Material	Método
Muestra 1	geológico/Compuesto	La muestra fue analizada por ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente), previa pulverización y digestión con agua regia. El método utilizado es una modificación del descrito en el reporte
Muestra 2	geológico/Compuesto	
	G	



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

		01-139 del Geological Survey de los Estados Unidos (USGS), 2001.
Muestra 1-7 (líquida)	Agua residual/Industrial	Los resultados corresponden a metales recuperables en agua por digestión con ácidos nítrico y clorhídrico 1+1, seguido del análisis por ICP-OES (Espectrometría de Emisión óptica por Plasma Acoplado Inductivamente).
Muestra 10 sólido, desecho de lama	geológico/Puntual	La muestra fue analizada por ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente), previa pulverización y digestión con agua regia. El método utilizado es una modificación del descrito en el reporte 01-139 del Geological Survey de los Estados Unidos (USGS), 2001.

Fuente: Autores, tomado de los informes de resultados remitidos por Laboratorio de Biotecnología.

3.5.6. Método para la cuantificación de oro.

3.5.6.1. Etapa de extracción por amalgamación.

Esta es la primera de dos etapas de extracción de oro. En esta etapa el oro se extrae mediante el proceso de amalgamación; al finalizar la molienda de la broza, el mineral es transportado a la pila de amalgamación (deslamador) donde se adiciona mercurio líquido. Al finalizar esta etapa, la amalgama formada Hg-Au es extraída y posteriormente fundida. La Figura 3.4 muestra de forma esquemática esta etapa de extracción.

Para estimar la eficiencia (porcentaje de recuperación de oro) de esta etapa de extracción, se puede usar la siguiente ecuación:



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

$$R_{Au1} = \left(\frac{C}{F}\right) \left(\frac{C_{Au}}{f_{Au}}\right) \quad (\text{Ec. 3.1})$$

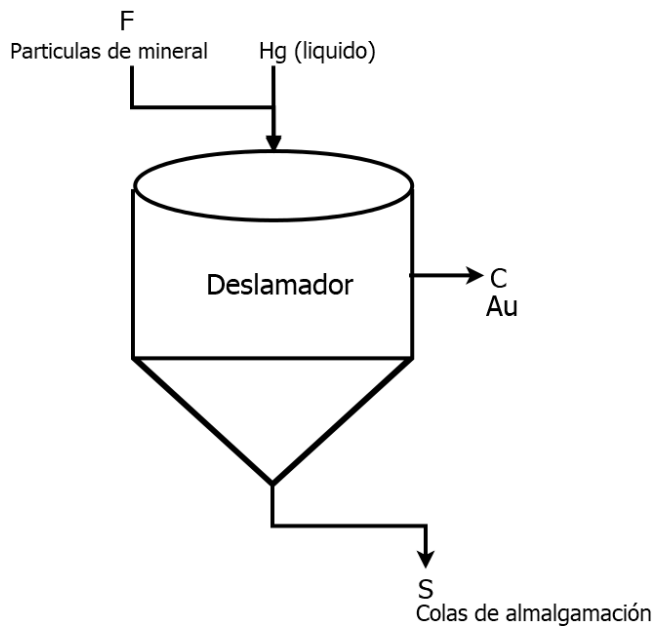
F= Cantidad alimentada = Toneladas de broza *Ley de Au

C= Au obtenido o fundido

f_{Au} = ley de broza

C_{Au} = Ley de Au Fundido

Figura 3.4.
Diseño del proceso de amalgamación



Fuente: Autores.

3.5.6.2. Etapa de extracción por cianuración en pilas de lixiviación.

Esta es la segunda etapa del proceso extracción de oro. En esta segunda fase, el oro es obtenido por el proceso de cianuración en pilas de lixiviación.

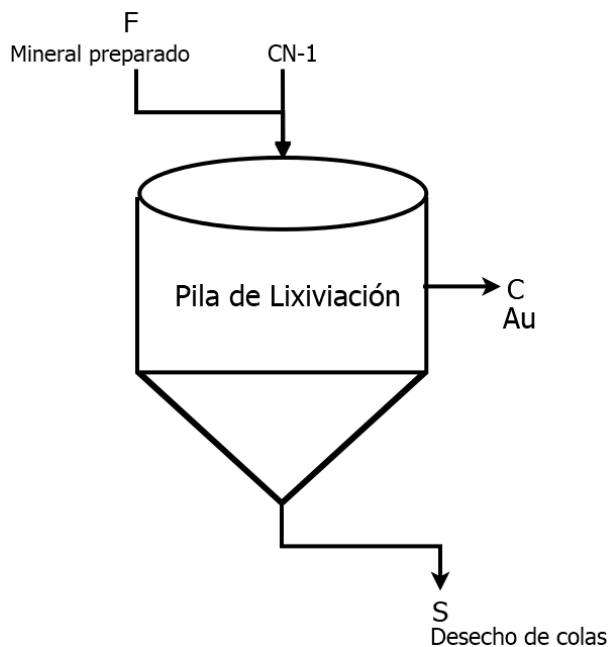


Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Una vez finalizado el proceso de extracción por amalgamación, el residuo o desecho conocido como colas de amalgamación, se transporta al área de secado, donde se le da un pretratamiento para posteriormente ser procesado en las pilas de lixiviación. El proceso de lixiviación tiene una duración de 15 días continuos.

Para estimar la eficiencia (porcentaje de recuperación de oro) en esta etapa de extracción, se puede usar la Ecuación 3.1.

Figura 3.5.
Diseño del proceso de cianuración



Fuente: Autores.

Capítulo IV





Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

4.1. Análisis de resultados

Los resultados de la implementación del prototipo de un sistema de columnas de absorción, así como la discusión de estos resultados son presentados en esta sección:

4.1.1. Descripción de las etapas del proceso de extracción de oro en el plantel El Barreno de Oro.

La identificación y descripción de cada una de las etapas de los procesos de extracción de oro, se ejecutó mediante algunas técnicas de investigación, tales como visitas de campo al plantel El Barreno de oro, observación, toma de notas, revisión bibliográfica y fotografías.

Como resultado del análisis previo de la información, se sugiere que las operaciones de extracción de oro llevadas a cabo en el plantel se podrían clasificar en dos grandes etapas, siendo estas las siguientes:

- Etapa 1: Proceso de extracción de oro por amalgamación.
- Etapa 2: Proceso de extracción en pilas de lixiviación y refinación.

La identificación, clasificación y descripción de cada una de las operaciones unitarias implementadas en cada etapa, se detallan en los siguientes apartados.

4.1.1.1. Descripción del proceso de extracción de oro por amalgamación.

El proceso de amalgamación de manera artesanal, está basado en la adherencia preferencial del oro por el mercurio, en presencia de agua y aire. Estas operaciones del proceso de extracción de oro deben realizarse de manera cuidadosa paso a paso. Si se utilizan eficazmente los equipos manuales de reducción de tamaño y de concentración gravimétrica, el proceso de extracción del oro se verá notablemente favorecido.

☞ **Recepción de broza:** Este procedimiento se realiza previamente a las pruebas con un Diafragma que se realiza al material; realizado en las zonas de compra de broza, en Rio San Juan principalmente, para identificar la existencia de oro o no; posteriormente se procede a trasladar el material a la empresa el barreno de oro.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

∞ Reducción de tamaño:

- **Trituradora:** Está diseñada para triturar rocas y agregados de piedra o su tipo de mineral favorito. Esta pequeña trituradora de mandíbulas y su mini abertura de 50x50 cm, puede ajustarse fácilmente en forma manual; con un empuje corto a velocidades de 50 rpm, este pequeño fragmentador de tipo de martillo, actúa como un reductor de tamaño de rocas que se alimentan aproximadamente 50 kilogramos cada 3 minutos.
- **Molino de bolas:** “Es un cilindro de acero y rotatorio en donde se realiza el desmenuzamiento del material por el movimiento de los cuerpos moledores internos” (Duda, 1977) es decir la broza ya triturada, la velocidad de rotación optima realiza la operación de reducción de tamaño con bolas metálicas, el molino contiene bolas de varios tamaños; la cual involucra bolas grandes que proporciona fuerzas de impacto y las bolas pequeñas fuerza de cizallamiento formando así un efecto cascada.

El molino que se alimenta 125 kilogramos cada 5 minutos, es decir 1 ½ Tonelada por hora, internamente sale las partículas de con una gravimetría aproximadamente de 0,075 a 0,89 mm mezcladas con agua, las partículas que no cumplan con esta medida son retornadas atreves de un tornillo a la entrada donde se repite el proceso, esta parte fue añadida al equipo de manera artesanal.

- ∞ **Deslamador:** Posteriormente que pasa por el molino, la mezcla de material con el agua, es transportada por una banda en la cual se encuentran imanes de retención de algunos metales como el hierro, pasa directamente a un deslamadero circular rotatorio con una capacidad de tener al menos unas 15 toneladas, el cual como está en movimiento no permite que se sedimente las colas de amalgamación, una vez comenzado el proceso se le proporciona a este el mercurio, dependiendo de la cantidad de toneladas.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

- ∞ **Separación:** El mercurio se usa para separar y extraer el oro de las rocas o piedras en las que se encuentra. El mercurio se adhiere al oro, formando una amalgama que facilita su separación de la roca, arena u otro material. (Huidobro, 2008). En la extracción de esta amalgama, se utiliza abundante agua para eliminar todos los sedimentos de lodos restantes.

- ∞ **Fundición:** Una vez obteniendo la amalgama de mercurio con oro, se procede a exprimir con unas telas especiales de fibra, para exprimir, eliminar el mercurio y quedar solamente con el oro azogado, se lleva a fundición para eliminar por completo el mercurio, quedando un oro de aproximadamente de 16 gramos de 18 kilates.

4.1.1.2. Descripción del proceso de extracción de oro por lixiviación en pilas.

- ∞ **Sedimentación:** Esta operación es utilizada para separar el agua de las partículas de tierras, se hace por gravedad. Se concentra todo el material en un mismo punto que tiene una capacidad de 100 toneladas y se deja por un buen tiempo hasta que el agua queda en la parte superior y luego se procede a reciclar el agua para un nuevo proceso.

- ∞ **Secado de colas de amalgamación:** En la zona donde se encuentra la empresa, es bastante árida lo cual se aprovecha que el sol sale con más intensidad, con una pala mecánica se procede a sacar los sedimentos y se llevan a un patio de secado donde puede pasar de 2 a 3 días dependiendo del clima.

- ∞ **Reducción de tamaño:** Para reducir el tamaño del material ya seco, lo que se hace es poner a unos obreros a picar el material con sus palas, es decir hacer que vayan disminuyendo el tamaño de las pelotas de tierras ya que cuando se saca simplemente se tirar al terreno de secado y entre más se seca, se endurece.

- ∞ **Preparación del material:** Posteriormente de reducir un poco de tamaño el material, a cada 15 toneladas se le proporciona 3 bolsas de cemento, 3 bolsas de cal y media



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

tonelada de arena, todo esto se mezcla manualmente con las palas hasta encontrar la homogenización adecuada.

∞ **Periodo de lixiviación en pilas:** Preparado el material, este se carga a la pila y posteriormente, se le agrega la solución de cianuro de sodio y se le deja en reposo durante un día. El proceso de lixiviación inicia, cuando el prototipo de columnas de adsorción es ensamblado a la pila de lixiviación y el rebose de las columnas de adsorción es recirculado mediante bombeo a la pila.

∞ **Refinación:** En esta etapa, el oro que proviene de la corriente de los lixiviados y que logra adherirse a las partículas de carbón activado (proceso de adsorción), debe ser separado del carbón activado mediante la aplicación de cianuro de sodio a altas temperaturas (en un tanque acondicionado para este propósito), para su posterior precipitación por cementación con partículas finas de Zinc y acetato de plomo.

La siguiente tabla detalla los reactivos empleados en el proceso de desorción y las etapas que son necesarias para lograr la desorción del oro adherido a las partículas de carbón activado.

Tabla 4.1.

Desarrollo de hervidas para la refinación de oro.

Primera hervida	½ libra de cianuro	3 galones de Alcohol
	1 galón de NaOH	1½ Balde de agua
Segunda hervida	½ Libra de cianuro	2 galones de Alcohol
	½ galón de NaOH	1½ Balde de agua
Tercer hervida	½ Libra de cianuro	2 galones de Alcohol
	½ galón de NaOH	1½ Balde de agua

Fuente: Autores.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

En cada hervida del carbón activado, se extrae la solución y se almacena. Para lograr la precipitación del oro, se deben realizar de forma cuidadosa las siguientes etapas:

- **Cementación:** adicionar a la solución resultante 250 g de polvo de zinc y 60 g de acetato de plomo. Posteriormente, se procede a adicionar un floculante, con la finalidad de agilizar la aglomeración y precipitación de los pequeños flóculos formados.
- **Filtración de la solución:** Finalizado el proceso de cementación, la solución es filtrada, con la finalidad de recuperar el precipitado formado en forma de flóculos y que es rico en oro y plata.
- **Refinado del precipitado:** en esta etapa, el precipitado es tratado con ácido muriático, con el objetivo de eliminar impurezas. Para separar las impurezas, el precipitado es lavado con agua. Posteriormente, el precipitado es tratado con agua regia, con el objetivo de disolver al oro.

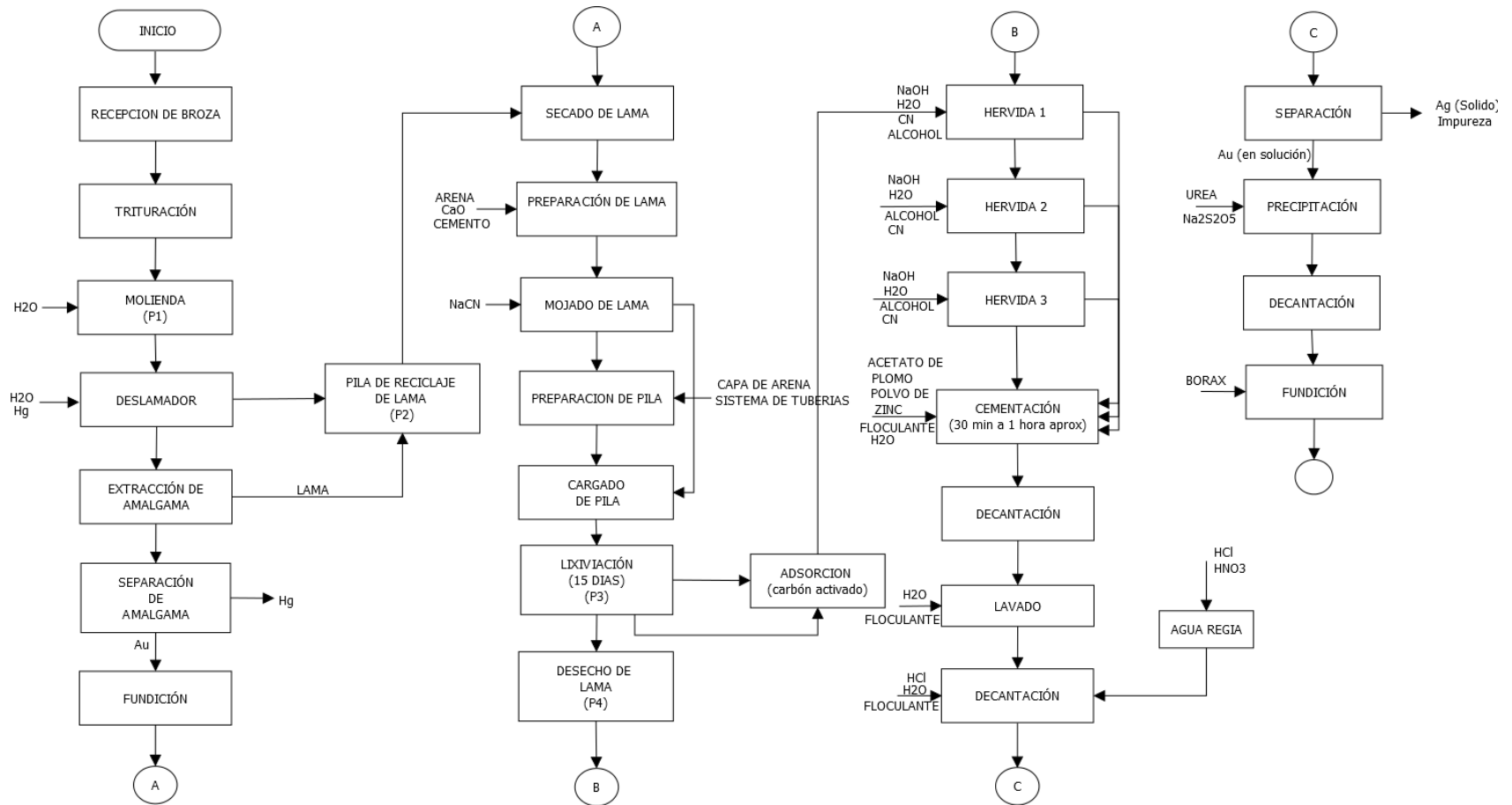
En la etapa final, se filtra la solución resultante y a la misma se le adiciona urea (elimina residuos del ácido); la solución se deja reposar por unos minutos. Finalizada la etapa previa, se precipita el oro añadiendo metabisulfito de sodio. El precipitado obtenido es fundido para eliminar las impurezas.

Finalmente, de acuerdo a la identificación, clasificación y descripción realizada de cada una de las operaciones unitarias propuestas en cada etapa, se propone una descripción del proceso, mediante un diagrama de bloque de procesos, el cual, se muestra en la Figura 4.1.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Figura 4.3. Flujograma del proceso extracción de oro por amalgamación y cianuración en pilas de lixiviación.



Fuente: Autores.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

4.1.2. Construcción y ensamblaje del prototipo de columnas de adsorción.

En este apartado se describen las dimensiones definidas para el prototipo del sistema de columnas de adsorción, los materiales que fueron necesarios para su construcción y los pasos que fueron necesarios durante la etapa de construcción y su posterior ensamblaje en el proceso de lixiviación en pilas.

4.1.2.1. Construcción del prototipo.

En la Tabla 4.2, se presentan los materiales que fueron utilizados para la construcción del prototipo del sistema de columnas de adsorción.

Tabla 4.2.

Materiales con los cuales se construyeron las columnas de adsorción.

Nombre	Cantidad	Medida
Codos PVC	5	1 ½´
Reductor	1	2´ a 1 ½´
Tapones	6	6´
Adaptador Macho	6	1 ½
Adaptador hembra	6	1 ½
Tubo PVC	1	1 ½
Tubo PVC	1	6´
Pegamento PVC	1	1/8
Tubo Metálico	1	1 ²
Barras de soldadura	6	
Pegamento Mega Grey	1	

Fuente: Autores.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

A continuación, se describe de forma muy sintetizada el procedimiento empleado en la construcción del prototipo de columnas de adsorción:

- Primeramente, se deben obtener tres tubos de 6 pulgadas con longitudes variables de 97, 94 y 91 cm. El objetivo de tener tubos con longitudes variables, es para asegurar que los lixiviados atraviesen sin restricciones las tres columnas rellenas de carbón activado.
- A los tres tubos de 6 pulgadas en sus partes inferior y superior se les realizó un orificio, a los cuales, se le acoplaron codos 1 ½ pulgada. El codo superior en cada columna sirve de alimentación del flujo lixiviado, mientras que los codos inferiores sirven para descargar la solución lixiviada que ha atravesado al material de relleno de las columnas (carbón activado) y también, para conectar en serie mediante tubos de 1 ½ pulgada a las tres columnas. En la parte superior e inferior de los tubos de 6 pulgadas, se les acoplaron tapones de un diámetro apropiado, con lo cual, se garantiza el sellado por completo del sistema.
- Finalmente, fue necesario construir una estructura metálica que sirviera de apoyo del sistema de columnas construido y que, además, facilitara su ensamblaje a la pila de lixiviación.

4.1.2.2. Ensamblaje del prototipo de sistema de columnas de adsorción a la pila de lixiviación

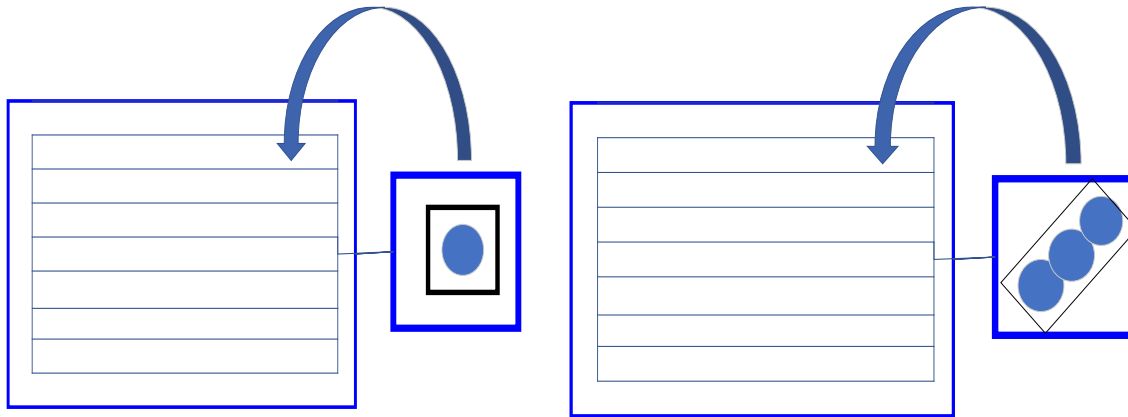
El ensamblaje del prototipo de sistema de columnas de adsorción consiste en:

Se ensambló el soporte metálico de manera diagonal (de modo que alcanzara en el estañón), posteriormente se colocan las columnas de adsorción una a una y conectadas en serie. Concluido eso, se conectó a la tubería de salida de la pila de la solución lixiviada. La salida de la pila, tiene una válvula con la que se regula el flujo está fue conectada a la parte de entrada del prototipo, a la salida de las tres columnas el área de rebose, contando con una bomba sumergible de 1 ½hp que retorna la solución.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Figura 4.2. Ensamblaje del prototipo a la pila de lixiviación.



Esquema antes del ensamblaje

Esquema después del ensamblaje.

Este es un esquema de la pila, las rayas internas es la tubería que sirve para llenarla con la solución desde abajo hacia la superficie.

Fuente: Autores.

Finalmente, las dimensiones del equipo fueron definidas en función de la cantidad de carbón activado utilizado en plantel, durante el proceso de extracción en pilas, que es de 66 libras. Esta cantidad de carbón fue distribuida en las tres columnas ya construidas.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

4.1.3. Fase experimental.

4.1.3.1. Tiempo medio de residencia.

El tiempo medio de residencia se calcula con un cronometro, para observar y calcular cuánto tiempo tarda en salir, el flujo por la parte final del prototipo del sistema de columnas de adsorción. Este tiempo fue de 5: 57 minutos, justamente después que se giró la válvula a conveniencia; trabajando con un flujo de 2,85 litros por minuto.

La bomba trabaja bajo lapsos de 10 minutos, esta esperaba se almacene una gran cantidad de reboce (solución pobre de oro) para la recirculación de la solución a la pila.

4.1.3.2. Control del pH.

La medición de este parámetro se realizó en diferentes puntos aleatorios en la pila de lixiviación. El pH se tomó con un pHmetro de marca Milwaukee, el cual también calculaba la temperatura. El monitoreo de este parámetro se realizó con una frecuencia de 4 horas durante 14 días. La Tabla 4.3 muestra los valores del pH promedio obtenidos por día.

Tabla 4.3. Resultados de medición de pH.

Muestras Liquidas	\bar{X}_{pH}	Muestras Liquidas	\bar{X}_{pH}
Día 1	11,2	Día 8	11,0
Día 2	11,3	Día 9	11,3
Día 3	11,1	Día 10	11,2
Día 4	10,8	Día 11	11,1
Día 5	11,4	Día 12	11,2
Día 6	11,1	Día 13	10,8
Día 7	11,1	Día 14	10,9



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Fuente: Autores.

De acuerdo a los resultados que muestra la Tabla 4.3, se observa que el pH en la pila de lixiviación presento una variación de pH en el rango de 10,8 a 11,4, lo cual evidencia un control efectivo de las condiciones de pH durante el proceso de cianuración, según lo recomendado (Treybal, 1985) que sugiere que las condiciones óptimas están en el intervalo de aceptación (10,5 - 12).

4.1.3.3. Determinación de Concentración de $[CN^-]$.

Conocer la variación que presenta la concentración de cianuro en las pilas de lixiviación es importante, puesto que esta variable está directamente relacionada con la disolución de las partículas de oro presente en el material a cianurar (colas de amalgamación).

La Tabla 4.4 presenta los resultados de la determinación de las concentraciones de cianuro por día. Cabe mencionar, que estos resultados de concentraciones corresponden a la corriente de salida o rebose de la última columna de adsorción.

Tabla 4.4.
Resultados de las concentraciones de cianuro en muestras líquidas.

Muestras líquidas	Fecha	Cantidad	Temperatura	$[CN^-]$
Día 1	22 de mayo	500ml	24,6 °C	220 ppm
Día 2	23 de mayo	500 ml	25,3 °C	212 ppm
Día 3	24 de mayo	500 ml	26,2 °C	208 ppm
Día 4	25 de mayo	500 ml	25,0 °C	200 ppm
Día 5	26 de mayo	500ml	24,1 °C	195 ppm
Día 6	27 de mayo	500ml	25,0 °C	192 ppm
Día 7	28 de mayo	500 ml	23,3 °C	184 ppm
Día 8	29 de mayo	500 ml	23,6 °C	165 ppm
Día 9	30 de mayo	500 ml	24,1 °C	159 ppm
Día 10	31 de mayo	500 ml	23,4 °C	148 ppm



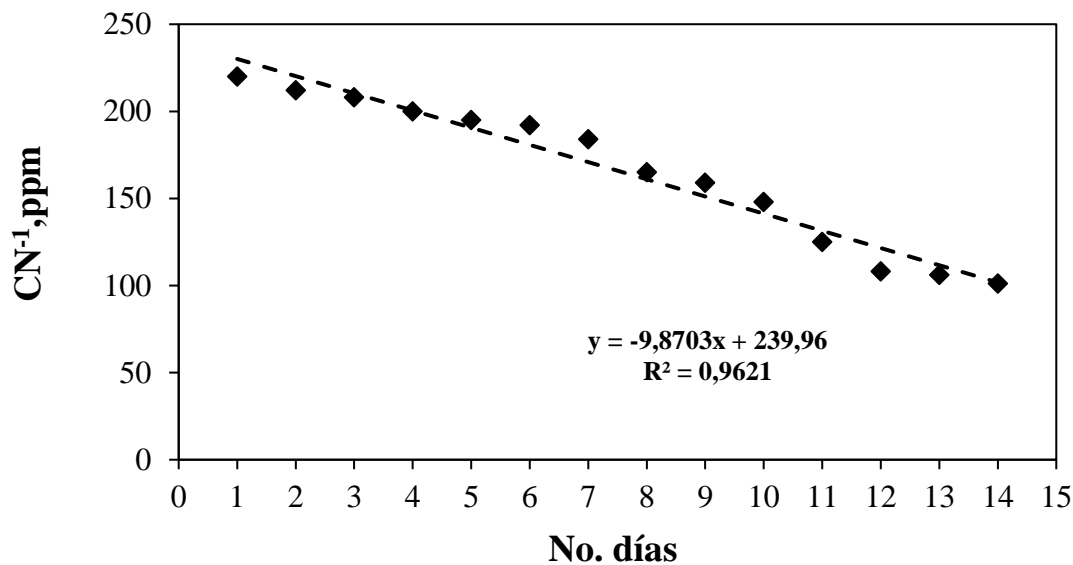
Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Día 11	01 de junio	500 ml	24.3 °C	125 ppm
Día 12	02 de junio	500 ml	25,1 °C	108 ppm
Día 13	03 de junio	500 ml	24,6 °C	106 ppm
Día 14	04 de junio	500 ml	23,1 °C	101 ppm

Fuente: Autores.

En la siguiente imagen (Figura 4.1), se muestra la variación que presentó la concentración de cianuro en las pilas de lixiviación por día.

Figura 4.1. Variación de CN^{-1} en función del No. de días.



Fuente: Autores.

Según los resultados que muestra la gráfica de la Figura 4.1, se puede inferir que la concentración de cianuro de sodio en la pila, presenta una disminución con una clara tendencia lineal. Es decir, que la tasa de transformación de cianuro en solución (CN^{-}) a HCN (gas) es bastante significativa.

Esta caída significativa en la concentración del cianuro, puede ser debido a varios factores, entre los más importantes se tienen los siguientes:

- El mineral puede tener un elevado contenido de complejos de Fe y Cu.
- El cambio de temperaturas y radiación solar (Treybal, 1985).



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

4.1.3.4. Concentraciones de oro en muestras sólidas

Los resultados de la determinación de la concentración de oro en las muestras sólidas que fueron muestreadas en los puntos P1, P2 y P4, son presentado en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6.
Concentración de oro en muestras sólidas.

Muestra	P1		P2		P4	
	Au [mg/Kg]	Fe [mg/Kg]	Au [mg/Kg]	Fe [mg/Kg]	Au [mg/Kg]	Fe [mg/Kg]
1	3,784	6,056				
2			2,681	8,721		
4					0,875	8,697

Fuente: Autores

Donde:

- P1: Salida del molino
- P2: Pila de sedimentación
- P4: Desecho de lama

Los resultados que presenta la Tabla 4.2, muestran que cierta cantidad fue recuperada en las dos etapas de extracción de oro: etapa de extracción con amalgamación que corresponde a los puntos P1 y P2 y etapa de cianuración de pilas que corresponde al análisis de los puntos P4 y P2. Los porcentajes de recuperación mediante balances metalúrgicos serán estimados en el apartado final de este capítulo. (Ver anexo 4).

4.1.3.5. Concentraciones de oro en muestras líquidas a la salida de las columnas de adsorción



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Los resultados de la determinación de la concentración de oro en las muestras líquidas que fueron muestreadas en los puntos P3, son presentado en la Tabla 4.7

Tabla 4.7.
Concentración de oro en muestras líquidas.

P3				
Muestras compuestas	No. muestras	Tiempo, [h]	Au [mg/Kg]	Fe [mg/Kg]
*MC1	2	24 48	1,365	1,078
MC 2	2	72 96	0,638	1,189
MC 3	2	120 144	0,676	1,490
MC 4	2	168 192	0,662	0,1581
MC 5	2	216 240	0,656	1,613
MC 6	2	264 288	0,659	1,527
MC 7	2	312 336	0,676	1,399

Fuente: Autores

Donde:

- P3: Salida de la columna de adsorción

La variación de la concentración de oro en función del tiempo mostrados en la Tabla 4.7, se representan de forma gráfica en la Figura 4.4.

Al analizar los resultados que presenta el gráfico de la Figura 4.4, se puede inferir que el prototipo del sistema de columnas de adsorción conectado en serie trabaja de forma eficiente, puesto que en tan solo 96 horas (4 días) es capaz de adsorber la casi totalidad del oro disuelto en la solución de lixiviados. Esto evidencia, cuando se observa una disminución significativa



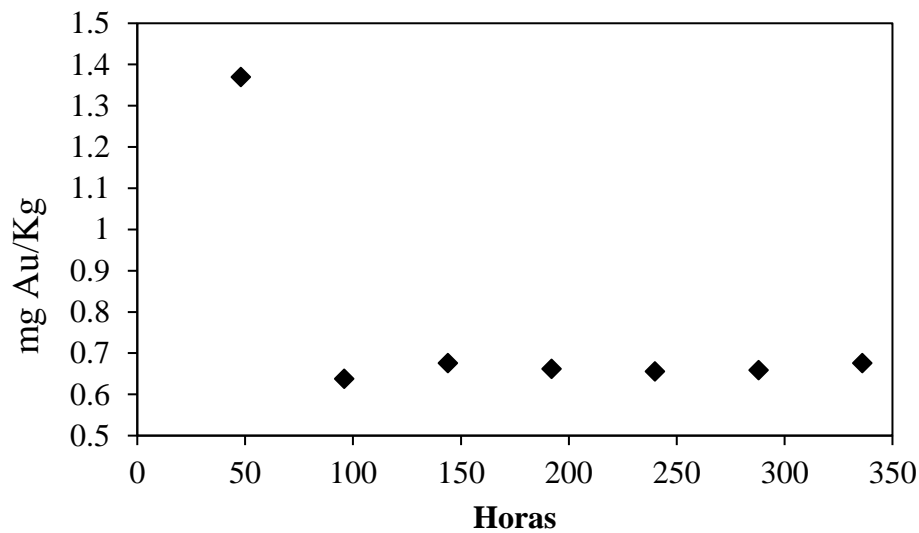
Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

de la concentración de oro entre las 48 y 96 horas, tal como lo evidencian los primeros dos puntos del gráfico de la Figura 4.4.

Estos resultados también evidencian algo sumamente importante, que es muy probable que el proceso de adsorción con carbón activado bajo las condiciones operacionales descritas con anterioridad (tiempo medio de residencia, concentración de cianuro y pH), solo sea efectivo en las primeras 100 horas del proceso. Evidencia de ello, es que a partir de las 100 horas la concentración de oro en la corriente de salida de las columnas es prácticamente la mismas, lo cual, sugiere que los sitios activos del carbón activado ya están saturados.

Figura 4.4.

Concentración de oro en muestras líquidas tomadas a la salida de las columnas de adsorción.



4.1.4. Cuantificar el porcentaje de recuperación de oro obtenido.

4.1.4.1. Cálculos para la determinación del % de oro en el proceso de amalgamación.

El porcentaje de recuperación de oro

$$R_{Au1} = \left(\frac{C}{F}\right) \left(\frac{C_{Au}}{f_{Au}}\right)$$



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Entonces:

Datos1:

F= 30 toneladas

$f_{Au} = 3,784 \text{ g*ton}$

$C_{Au} = 1$

C= 16 g \cong 0,016 kg

Solución:

$$R_{Au1} = \left(\frac{C}{F}\right) \left(\frac{C_{Au}}{f_{Au}}\right)$$

$$R_{Au1} = \left(\frac{16g}{30 \text{ ton}}\right) \left(\frac{1}{3,784 \text{ g.ton}}\right) * 100 = 14,28\%$$

4.1.4.2. Cálculos para la determinación del porcentaje de recuperación de oro en el proceso de cianuración.

Con el fin de valorar la mejora en los porcentajes de recuperación de oro se realizaron dos procesos de cianuración al mismo tiempo, tomando en consideración el mismo material, la misma cantidad a procesar y las mismas condiciones operacionales (tiempo medio de residencia, concentración de cianuro, mismo carbón activado y pH). La única diferencia entre los dos procesos, es que en uno de ellos se implementó el ensamblaje a la pila de lixiviación del prototipo del sistema de columnas de adsorción, mientras que en la otra pila se trabajó con el sistema artesanal de adsorción.

A continuación, se detallan los cálculos del porcentaje de recuperación de oro en cada una de las pilas.

- a) Porcentaje de recuperación de oro en pila de lixiviación mediante el método comúnmente empleado en el plantel El Barreno de Oro.

El porcentaje de recuperación puede ser determinado utilizando la ecuación 3.1:



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

$$R_{Au1} = \left(\frac{C}{F}\right) \left(\frac{C_{Au}}{f_{Au}}\right)$$
$$R_{Au1} = \left(\frac{27g}{15 ton}\right) \left(\frac{1}{2,681 g \cdot ton}\right) * 100 = 67,13 \%$$

Donde:

F= 15 toneladas

C= 27 g \cong 0,027 kg

f_{Au} = 2,681 g*ton

- b) Porcentaje de recuperación de oro en pila de lixiviación mediante la implementación del prototipo de sistema de columnas de absorción.

Para determinar el porcentaje de recuperación de oro obtenido con la implementación del prototipo, se utiliza la misma Ecuación 3.1.

$$R_{Au1} = \left(\frac{C}{F}\right) \left(\frac{C_{Au}}{f_{Au}}\right)$$
$$R_{Au1} = \left(\frac{32g}{15 ton}\right) \left(\frac{1}{2,681 g \cdot ton}\right) * 100 = 79,57 \%$$

Donde:

f_{Au} = 2,681 g*ton

F= 15 toneladas

C= 32 g \cong 0,032 kg

Los resultados de los porcentajes de recuperación obtenidos en cada pila, muestran que la pila con la implementación del ensamblaje del prototipo de las tres columnas de carbón activado conectadas en serie, es capaz de recuperar hasta un 12,44% más de oro en comparación al método artesanal empleado en el plantel.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Es importante destacar, que la implementación del prototipo de sistemas de columnas es factible tanto técnica como económicamente, puesto que el incremento en el porcentaje de recuperación de oro con el ensamblaje de este prototipo en las pilas de lixiviación es significativo, es decir, es más eficiente.

Capítulo V





Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

5.1. Conclusiones

En base a los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación y a los resultados obtenidos durante la fase experimental, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Que fue posible la clasificación de los procesos de extracción de oro en etapas y todas las operaciones unitarias de cada etapa se lograron presentar mediante un diagrama de bloques de procesos.
2. Que el diseño, construcción y ensamblaje del equipo de columnas de adsorción fueron definidas por las condiciones operacionales de la empresa, donde se comprobó su funcionalidad.
3. Que la estimación del parámetro operacional tiempo medio de residencia fue de 5 minutos con 57 segundos ante un flujo volumétrico de 2,85 litros por minuto. A nivel operacional, se logró observar que este tiempo medio de residencia permitía un adecuado flujo a la salida de las columnas de adsorción, suficiente para garantizar la recirculación de la solución a la pila. Con respecto al operacional pH, se constató que este durante el tiempo de lixiviación se mantuvo dentro del rango de valores sugerido por Treybal (1985).
4. En relación a la concentración de cianuro durante el proceso de lixiviación de las colas de amalgamación, esta presenta una disminución con una tendencia claramente lineal. La disminución en la concentración de cianuro en la pila de lixiviación, posiblemente se deba al contacto de la solución de cianuro con un medio fuertemente ácido (HCl) presente en lecho de carbón activado.
5. Finalmente, el cálculo del porcentaje de recuperación de oro obtenido en la pila de lixiviación que fue ensamblada al prototipo del sistema de columnas de adsorción, muestra un incremento del 12.44% en relación a los porcentajes de recuperación obtenidos mediante el método artesanal empleado en el Plantel.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

5.2. Recomendaciones

Basados a los resultados obtenidos durante el proceso de investigación, se presentan las siguientes recomendaciones para futuras generaciones:

1. Probar otros prototipos con diferentes orígenes de carbones activados, mayores dimensiones en las columnas y cantidades de columnas con el propósito de verificar un mayor porcentaje de recuperación.
2. Incluir otras adaptaciones tecnológicas en las diferentes etapas del proceso de extracción.
3. Mejorar los controles de variables durante el proceso para asegurar una mayor optimización del proceso de extracción de oro, por ejemplo, en el control de la concentración de cianuro puesto que es una variable de vital importancia durante la lixiviación en las colas de amalgamación y control de las temperaturas.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

5.3. Bibliografía

- Canales, Alvarado, & Pineda. (1996). *Metodología de la investigación, Manual para el Desarrollo de personal de Salud*. OPS. Recuperado el 10 de Abril de 2019
- Capac, R. (2016). *Recuperación de oro de la solución barren proveniente del proceso CIP mediante un sistema de columnas*. Tesis para optar al título de Ingeniero Metalurgista, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa. Recuperado el 12 de Abril de 2021, de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2623/IMcaalrc.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castelló, L. (2017). *Diseño de un sistema de adsorción para la eliminación de colorantes presentes en disolución acuosa*. Tesis para optar al Grado de Ingeniería Química, Universidad Politécnica de Valencia, Campus Dalcoi, Valencia. Recuperado el 15 de Abril de 2021, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/93468/CASTELL%C3%93%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20sistema%20de%20adsorci%C3%B3n%20para%20la%20eliminaci%C3%B3n%20de%20colorantes%20presentes%20en%20disol...pdf?sequence=1>
- Cielo. (enero de 2011). *Cielo.net*. Obtenido de <http://cienticielo15.colom.com>
- Duda, W. (1977). *Cement Data Book*. Barcelona, España: Reverte S.A. Recuperado el 19 de Abril de 2020, de <https://books.google.com/nl/books?id=pt20-8Ey56YC&pg=PA71&dq=molinos+de+bolas&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjzK2ex8HpAhVikeAKHUjpDiUQ6AEILTAB#v=onepage&q=molinos%20de%20bolas&f=false>
- García, R., & Granillo, Y. (2016). *Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cascara de naranja valencia (Citrus Sinensis Linn Osbeck), Laboratorios de Química, UNAN-Managua, II Semestre 2016*.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Monografía para optar al título de Licenciado en Química Industrial , Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Química , Managua. Recuperado el 7 de Agosto de 2020, de <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/4275>

GEA. (2021). GEA. Recuperado el 15 de Abril de 2021, de <https://www.gea.com/es/products/emission-control/gas-scrubbers/absorption-columns.jsp>

Huidobro, P. (2008). *El Uso de Mercurio en la minería de oro artesanal y en pequeña escala.* Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. Recuperado el 05 de Agosto de 2020, de https://ige.org/archivos/IGE/mercurio_en_la_Mineria_de_Au.pdf

Ichavautis, A. (2014). *Recuperación de mercurio y oro de las colas de amalgamación en la minería .* Tesis para optar al título de Ingeniero Metalurgista y de Materiales, Instituto Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales , Huancayo. Recuperado el 21 de Marzo de 2021, de http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/561/TIMM_09.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Joyal. (04 de Marzo de 2020). Obtenido de Shanghai Joyal Machinery Global Site: https://www.joyalcrusher.com/es/products/Grinding/Ball-Mill.html?gclid=CjwKCAjwh472BRAGEiwAvHVfGmVxW3kKDBkR1CvGPDzq5sSJ7i4Dc5g9Hc3HI1OMTsAEvdVRHCI9jxoCcJgQAvD_BwE

Lanuz, A. (2007). *LA MINERÍA EN NICARAGUA (1821-1875).* Tesis para optar al grado de Licenciado en Sociología, Heredia. Recuperado el 20 de Agosto de 2020

(2016). *Manual del Carbón Activado.* Manual de Máster en Ingeniería del Agua , Universidad de Sevilla , Escuela Universitaria de Politécnica , Sevilla. Recuperado el 29 de Agosto de 2020, de <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>

Maquera, G. (2018). *Estudio de instalación de una planta de Cianuración de relaves auríferos por el método CIP en la compañía minera Virgen del Rosario S.A.* Tesis para optar al título de Ingeniero Metalurgista, Universidad Nacional del Altiplano,



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, Puno. Recuperado el 8 de Abril de 2021, de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9308/Maquera_Vidangos_Guber_Anibal.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Máxima, J. (9 de Marzo de 2020). *Caracteristicas.co*. Recuperado el 10 de Marzo de 2020, de <https://www.caracteristicas.co/oro/>.

Ministerio de Energías y Minas. (2020). *MEM*. Recuperado el 20 de Abril de 2021, de http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2021/02/PRESENTACION-DGM-2020_020221.pdf

ORO INTERNACIONAL S.A. (Noviembre de 2014). *WWW.orointernacional/imagen/google.com.ecu*. Obtenido de <http://orointernacional.com.ecu>

Paredes, H. (2018). *Operaciones de la planta de cianuración de oro - minera Yanaquihua y optimización del proceso de filtrado*. Servicios profesionales para optar al título profesional de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa. Recuperado el 15 de Abril de 2021, de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7629>

Poblete, R. (2019). *Lixiviación cianurada de mineral de oro en columnas a nivel de planta piloto*. Memoria de titulación para optar al título de Ingeniero Civil de Minas, Universidad Técnica Federico Santa María, Ingeniería Metalúrgica y de Materiales., Santiago. Recuperado el 12 de Abril de 2021, de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47948/3560902038864UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SACC Ingenieros SRL. (2004). *Módulos de capacitación técnico-metalúrgico-ambiental*. Lima. Recuperado el 12 de Marzo de 2021

Severo, P., & Gallego, E. (2004). *Workshop Práctico del Oro* (Primera ed.). Peru: INEA. Recuperado el 21 de Febrero de 2021



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

textoscientificos.com. (25 de Junio de 2006). Recuperado el 21 de Abril de 2021, de <https://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/columnas-adsorcion>

Torres, L. (2018). *Estudio de la cianuración con remolienda para mejorar la recuperación del oro en la planta cascajal de la minera cascaminas s.a.c*. Tesis para optar al título profesional de Ingeniería Metalurgista, Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa. Recuperado el 18 de Abril de 2021, de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6949>

Treybal, R. (1985). *Operaciones con Transferencia de Masa* (Primera ed.). Cuba: Revolucionaria. Recuperado el 21 de Febrero de 2021

Uriarte, J. (27 de Abril de 2020). *Caracteristicas.co*. Recuperado el 20 de Abril de 2021, de <https://www.caracteristicas.co/mineria/#ixzz6u0qQuL1y>

Anexos





Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Anexo 1. Memoria fotográfica del proceso de extracción de oro en el Plantel el Barreno de oro.



Fotografía del Molino de bolas, y su colcho de retorno, el cual es utilizado para la reducción de tamaño.



Deslamador o amalgamador, donde se forma la amalgama oro-mercurio.

Fuente: Autores.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



Fotografía de la pila de recolección de sedimentación de colas de amalgamación.



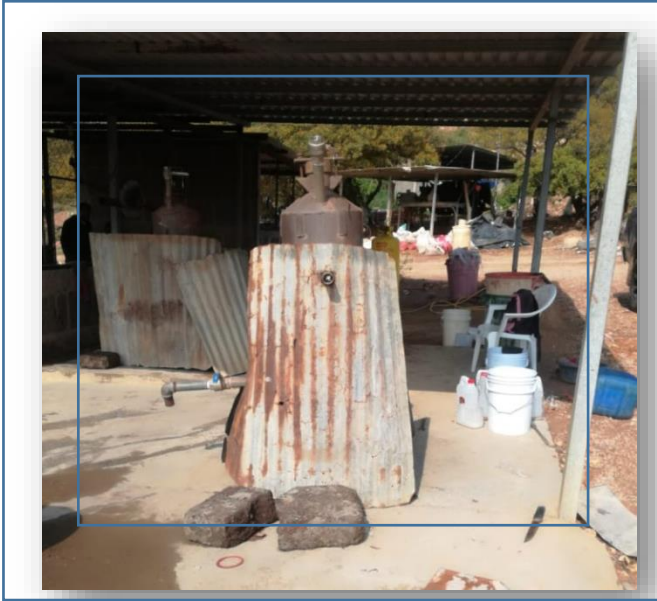
Patios de secado, donde se lleva a cabo la reducción de tamaño del mineral sedimentado y preparación del mismo.

Fuente: Autores.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

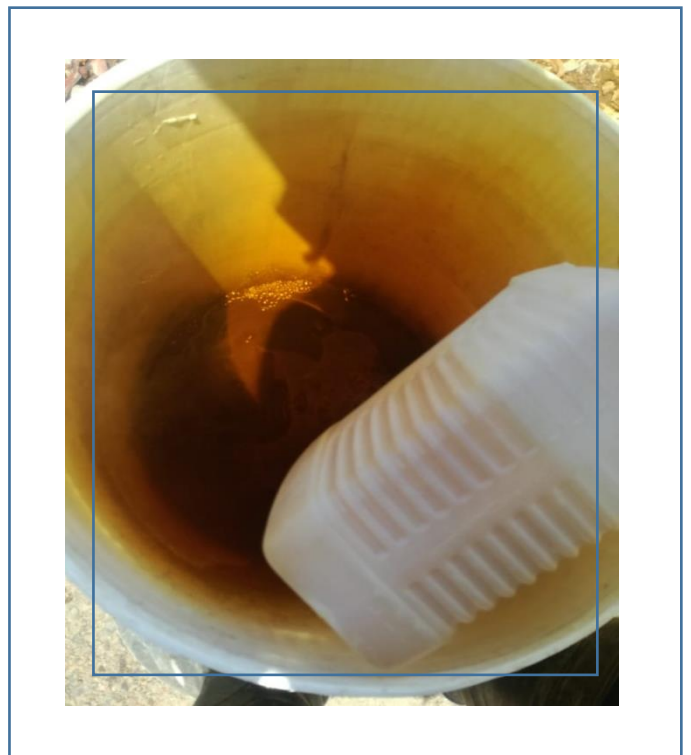
Proceso de Refinación



Fuente: Autores.



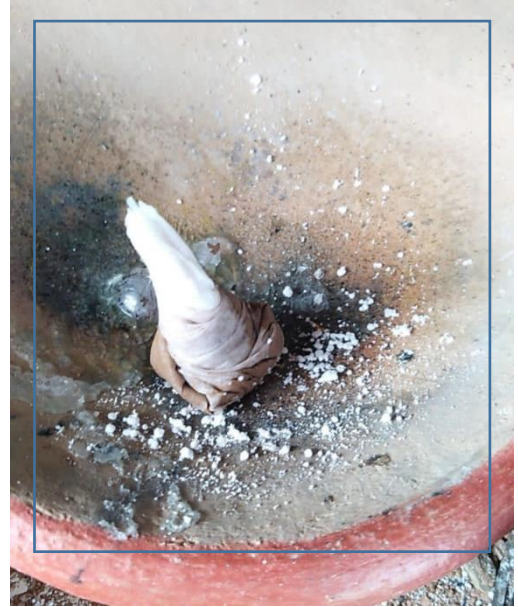
Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



Fuente: Autores.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

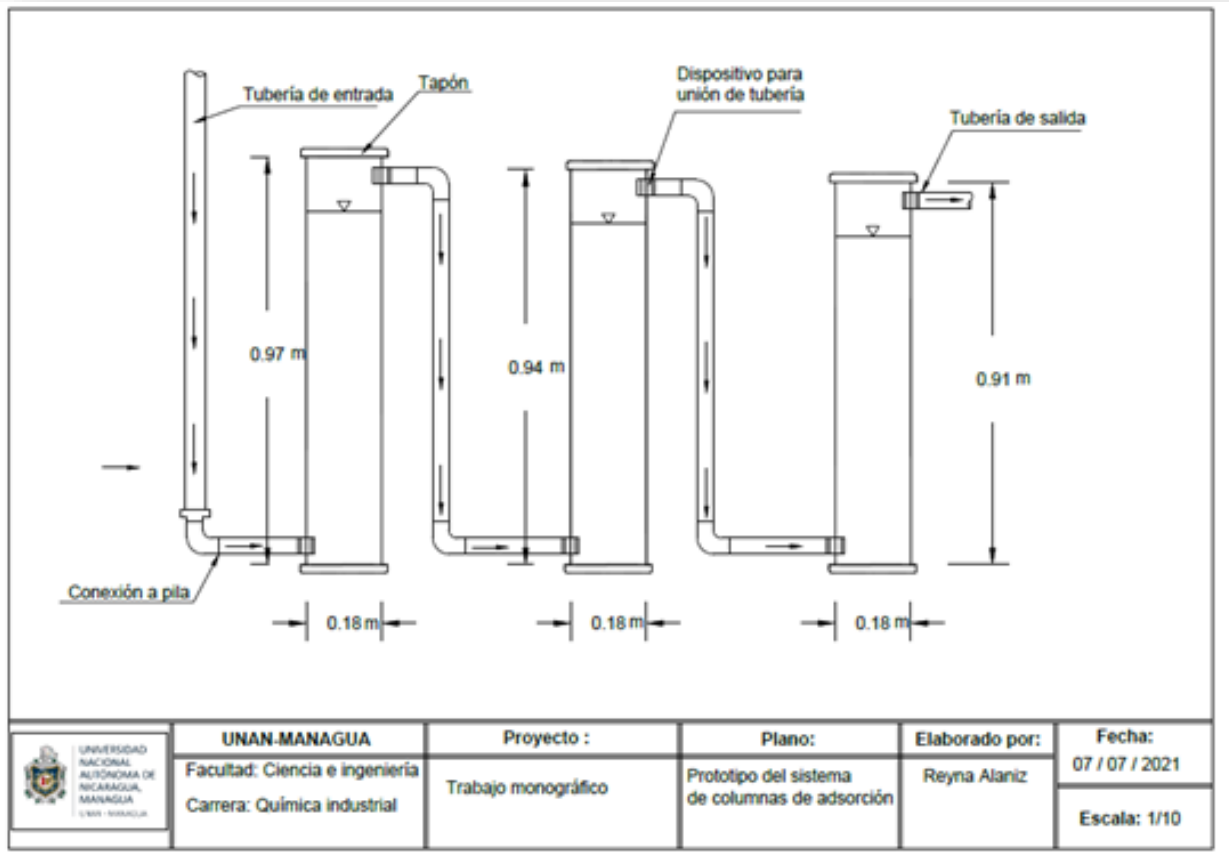


Fuente: Autores.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Anexo 2. Esquema del prototipo del sistema de columnas 2D.



Fuente: Autores.



Construcción del prototipo.





Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Ensamblaje del Prototipo de columnas de adsorción



Fuente: Autores.



Fuente: Autores.

Esquema en 3D de cómo se ensambla el prototipo de columnas de adsorción en la pila de lixiviación.



Fuente: Autores.



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.

Anexo 4. Resultados de las muestras, emitidos por el laboratorio de biotecnología.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
(UNAN - Managua)
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2020-0067

Cliente / Proyecto: Br. Levis Josué López
Teléfono de contacto: (505) 8441 6903
Correo: levisjosue710@gmail.com

Matriz / Fuente: Material geológico / Compuesto

Identificación de la muestra: Muestra 1

Localidad/Municipio/Departamento: El barreno de Oro / San Isidro / Matagalpa

Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2020-04-27

Hora de muestreo: 17 h 00

Fecha del reporte: 2020-07-21

Código de laboratorio: LQ-2005-0041

No.	Parámetro	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	Oro	3,784	0,359	mg.kg ⁻¹
2	Hierro*	6,056	0,001	g.kg ^{-1**}

Claves:

NR: No reportado

1 mg.kg⁻¹ es equivalente a 1 g.ton⁻¹

* Parámetros no solicitado pero analizado por cortesía y expresado como elemento

** 1 ppmil (g.kg⁻¹) es equivalente a 1000 ppm (mg.kg⁻¹)

La muestra fue analizada por ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente), previa pulverización y digestión con agua regia. El método utilizado es una modificación del descrito en el reporte 01-139 del Geological Survey of los Estados Unidos (USGS), 2001.

La muestra fue colectada y transportada al Laboratorio por el cliente.

Observaciones: La muestra ingresó al laboratorio triturada y húmeda.

Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
(UNAN - Managua)
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2020-0068

Cliente / Proyecto: Br. Levis Josué López
Teléfono de contacto: (505) 8441 6903
Correo: levisjosue710@gmail.com

Matriz / Fuente: Material geológico / Compuesto

Identificación de la muestra: Muestra 2

Localidad/Municipio/Departamento: El barreno de oro / San Isidro / Matagalpa

Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2020-05-02

Hora de muestreo: 07 h 00

Fecha del reporte: 2020-07-21

Código de laboratorio: LQ-2005-0042

No.	Parámetro	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	Oro	2,681	0,359	mg.kg ⁻¹
2	Hierro*	8,721	0,001	g.kg ^{-1**}

Claves:

NR: No reportado

1 mg.kg⁻¹ es equivalente a 1 g.ton⁻¹

* Parámetros no solicitado pero analizado por cortesía y expresado como elemento

** 1 ppmil (g.kg⁻¹) es equivalente a 1000 ppm (mg.kg⁻¹)

La muestra fue analizada por ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente), previa pulverización y digestión con agua regia. El método utilizado es una modificación del descrito en el reporte 01-139 del Geological Survey de los Estados Unidos (USGS), 2001.

La muestra fue colectada y transportada al Laboratorio por el cliente.

Observaciones: La muestra ingresó al laboratorio triturada y húmeda.



Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte,
Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22786769 ext.8023, 8227 biotecnologia@unan.edu.ni



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
(UNAN - Managua)
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2020-0077

Cliente / Proyecto: Br. Levis Josué López
Teléfono de contacto: (505) 8441 6903
Correo: levisjosue710@gmail.com

Matriz / Fuente: Material geológico / Puntual
Identificación de la muestra: Muestra 4 sólido, desecho de lama
Localidad/Municipio/Departamento: El barreno de oror/ San Isidro / Matagalpa
Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2020-06-04
Hora de muestreo: 07 h 50
Fecha del reporte: 2020-07-21
Código de laboratorio: LQ-2006-0069

No.	Parámetro	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	Oro	0,875	0,359	mg.kg ⁻¹
2	Hierro*	8,697	0,001	g.kg ^{-1**}

Claves:

NR: No reportado

1 mg.kg⁻¹ es equivalente a 1 g.ton⁻¹

* Parámetros no solicitado pero analizado por cortesía y expresado como elemento

** 1 ppmil (g.kg⁻¹) es equivalente a 1000 ppm (mg.kg⁻¹)

La muestra fue analizada por ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente), previa pulverización y digestión con agua regia. El método utilizado es una modificación del descrito en el reporte 01-139 del Geological Survey de los Estados Unidos (USGS), 2001.

La muestra fue colectada y transportada al Laboratorio por el cliente.

Observaciones: La muestra ingresó al laboratorio triturada y húmeda.

Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
UNAN - MANAGUA
Laboratorio de Biotecnología



RESULTADOS ANALÍTICOS
 BIOTECR-2020-0095

Cliente/Proyecto: Br. Levis Josué López
Teléfono de contacto: (505) 84416903
Correo electrónico: levisjosue710@gmail.com

Matriz / Fuente: Agua residual / Industrial
Identificación de la muestra: Muestra 1 (líquida), Rebose
Localidad/Municipio/Departamento: El barreno de oro/ San Isidro / Matagalpa
Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2020-05-22
Hora de muestreo: 09 h 40
Fecha del reporte: 2020-07-24
Código de laboratorio: LQ-2006-0062

No.	Parámetro	Método	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	Oro	3030.F+3120.B	1,365	0,011	mg.l ⁻¹
2	Hierro	3030.F+3120.B	1,078	0,022	mg.l ⁻¹

Claves:
 NR: No reportado

Los resultados corresponden a metales recuperables en agua por digestión con ácidos nítrico y clorhídrico 1+1, seguido del análisis por ICP-OES (Espectrometría de Emisión óptica por Plasma Acoplado Inductivamente).

La muestra fue analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición, 2012.

La muestra fue colectada, preservada y transportada al Laboratorio por el cliente.


Dra. Martha Lacayo Romero
 Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte, Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22786769 ext.6023, 6227 biotecnologia@unan.edu.ni



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
(UNAN - Managua)
Laboratorio de Biotecnología**



**RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2020-0096**

Cliente/Proyecto: Br. Levis Josué López
Teléfono de contacto: (505) 84416903
Correo electrónico: levisjosue710@gmail.com

Matriz / Fuente: Agua residual / Industrial
Identificación de la muestra: Muestra 2 (líquida), Rebose
Localidad/Municipio/Departamento: El barreno de oro/ San Isidro / Matagalpa
Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2020-05-24
Hora de muestreo: 09 h 40
Fecha del reporte: 2020-07-24
Código de laboratorio: LQ-2006-0063

No.	Parámetro	Método	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	Oro	3030.F+3120.B	0,638	0,011	mg.l ⁻¹
2	Hierro	3030.F+3120.B	1,189	0,022	mg.l ⁻¹

Claves:
NR: No reportado

Los resultados corresponden a metales recuperables en agua por digestión con ácidos nítrico y clorhídrico 1+1, seguido del análisis por ICP-OES (Espectrometría de Emisión óptica por Plasma Acoplado Inductivamente).

La muestra fue analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición, 2012.

La muestra fue colectada, preservada y transportada al Laboratorio por el cliente.


Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte, Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22788789 ext.6023, 6227 biotecnologia@unan.edu.ni



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
(UNAN - Managua)
Laboratorio de Biotecnología**



**RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2020-0097**

Cliente/Proyecto: Br. Levis Josué López
Teléfono de contacto: (505) 84416903
Correo electrónico: levisjosue710@gmail.com

Matriz / Fuente: Agua residual / Industrial
Identificación de la muestra: Muestra 3 (líquida), Rebose
Localidad/Municipio/Departamento: El barreno de oro/ San Isidro / Matagalpa
Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2020-05-26
Hora de muestreo: 09 h 40
Fecha del reporte: 2020-07-24
Código de laboratorio: LQ-2006-0064

No.	Parámetro	Método	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	Oro	3030.F+3120.B	0,676	0,011	mg.l ⁻¹
2	Hierro	3030.F+3120.B	1,490	0,022	mg.l ⁻¹

Claves:
NR: No reportado

Los resultados corresponden a metales recuperables en agua por digestión con ácidos nítrico y clorhídrico 1+1, seguido del análisis por ICP-OES (Espectrometría de Emisión óptica por Plasma Acoplado Inductivamente).

La muestra fue analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición, 2012.

La muestra fue colectada, preservada y transportada al Laboratorio por el cliente.


Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte, Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22786789 ext.6023, 6227 biotecnologia@unan.edu.ni



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
(UNAN - Managua)
Laboratorio de Biotecnología**



**RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2020-0098**

Cliente/Proyecto: Br. Levis Josué López
Teléfono de contacto: (505) 84416903
Correo electrónico: levisjosue710@gmail.com

Matriz / Fuente: Agua residual / Industrial
Identificación de la muestra: Muestra 4 (líquida), Rebose
Localidad/Municipio/Departamento: El barreno de oro/ San Isidro / Matagalpa
Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2020-05-28
Hora de muestreo: 09 h 50
Fecha del reporte: 2020-07-24
Código de laboratorio: LQ-2006-0065

No.	Parámetro	Método	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	Oro	3030.F+3120.B	0,662	0,011	mg.l ⁻¹
2	Hierro	3030.F+3120.B	1,581	0,022	mg.l ⁻¹

Claves:
NR: No reportado

Los resultados corresponden a metales recuperables en agua por digestión con ácidos nítrico y clorhídrico 1+1, seguido del análisis por ICP-OES (Espectrometría de Emisión óptica por Plasma Acoplado Inductivamente).
La muestra fue analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición, 2012.

La muestra fue colectada, preservada y transportada al Laboratorio por el cliente.


Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte, Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22786789 ext.6023, 6227 biotecnologia@unan.edu.ni



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
(UNAN - Managua)
Laboratorio de Biotecnología**



**RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2020-0099**

Cliente/Proyecto: Br. Levis Josué López
Teléfono de contacto: (505) 84416903
Correo electrónico: levisjosue710@gmail.com

Matriz / Fuente: Agua residual / Industrial
Identificación de la muestra: Muestra 5 (líquida), Rebose
Localidad/Municipio/Departamento: El barreno de oro/ San Isidro / Matagalpa
Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2020-05-30
Hora de muestreo: 09 h 38
Fecha del reporte: 2020-07-24
Código de laboratorio: LQ-2006-0066

No.	Parámetro	Método	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	Oro	3030.F+3120.B	0,656	0,011	mg.l ⁻¹
2	Hierro	3030.F+3120.B	1,613	0,022	mg.l ⁻¹

Claves:
NR: No reportado

Los resultados corresponden a metales recuperables en agua por digestión con ácidos nítrico y clorhídrico 1+1, seguido del análisis por ICP-OES (Espectrometría de Emisión óptica por Plasma Acoplado Inductivamente).

La muestra fue analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición, 2012.

La muestra fue colectada, preservada y transportada al Laboratorio por el cliente.


Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte, Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22786789 ext.6023, 6227 biotecnologia@unan.edu.ni



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
(UNAN - Managua)
Laboratorio de Biotecnología**



**RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2020-0100**

Cliente/Proyecto: Br. Levis Josué López
Teléfono de contacto: (505) 84416903
Correo electrónico: levisjosue710@gmail.com

Matriz / Fuente: Agua residual / Industrial
Identificación de la muestra: Muestra 6 (líquida), Rebose
Localidad/Municipio/Departamento: El barreno de oro/ San Isidro / Matagalpa
Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2020-06-01
Hora de muestreo: 09 h 45
Fecha del reporte: 2020-07-24
Código de laboratorio: LQ-2006-0067

No.	Parámetro	Método	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	Oro	3030.F+3120.B	0,659	0,011	mg.l ⁻¹
2	Hierro	3030.F+3120.B	1,527	0,022	mg.l ⁻¹

Claves:
NR: No reportado

Los resultados corresponden a metales recuperables en agua por digestión con ácidos nítrico y clorhídrico 1+1, seguido del análisis por ICP-OES (Espectrometría de Emisión óptica por Plasma Acoplado Inductivamente).

La muestra fue analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición, 2012.

La muestra fue colectada, preservada y transportada al Laboratorio por el cliente.


Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte, Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22786769 ext.8023, 6227 biotecnologia@unan.edu.ni



Implementación de un prototipo de columnas de adsorción a base de carbón activado en pilas de lixiviados de colas de amalgamación, sobre el porcentaje de recuperación de oro, en el plantel el Barreno de Oro, San Isidro, Matagalpa-Nicaragua, enero 2020 – abril 2021.



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
(UNAN - Managua)
Laboratorio de Biotecnología**



**RESULTADOS ANALÍTICOS
BIOTECR-2020-0094**

Cliente/Proyecto: Br. Levis Josué López
Teléfono de contacto: (505) 84416903
Correo electrónico: levisjosue710@gmail.com

Matriz / Fuente: Agua residual / Industrial
Identificación de la muestra: Muestra 7 (líquida), Rebose
Localidad/Municipio/Departamento: El barreno de oro/ San Isidro / Matagalpa
Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2020-05-03
Hora de muestreo: 09 h 50
Fecha del reporte: 2020-07-24
Código de laboratorio: LQ-2006-0061

No.	Parámetro	Método	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	Oro	3030.F+3120.B	0,676	0,011	mg.l ⁻¹
2	Hierro	3030.F+3120.B	1,399	0,022	mg.l ⁻¹

Claves:
NR: No reportado

Los resultados corresponden a metales recuperables en agua por digestión con ácidos nítrico y clorhídrico 1+1, seguido del análisis por ICP-OES (Espectrometría de Emisión óptica por Plasma Acoplado Inductivamente).

La muestra fue analizada siguiendo las recomendaciones y procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW) 22va. Edición, 2012.

La muestra fue colectada, preservada y transportada al Laboratorio por el cliente.


Dra. Martha Lacayo Romero
Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte, Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22786789 ext.6023, 6227 biotecnologia@unan.edu.ni