

**EVALUACIÓN METALÚRGICA DE MINERALES AURÍFEROS PROVENIENTES
DEL YACIMIENTO ANGOSTURA (CALIFORNIA - SANTANDER).**

JAIRO RAMÍREZ PIMIENTO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2008**

**EVALUACIÓN METALÚRGICA DE MINERALES AURÍFEROS PROVENIENTES
DEL YACIMIENTO ANGOSTURA (CALIFORNIA - SANTANDER).**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Metalúrgico**

JAIRO RAMÍREZ PIMIENTO

**Tutor:
Ing. EDWIN RESTREPO URREGO
Gerente General GREYSTAR RESOURCES LTD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2008**

DEDICATORIA

Este trabajo, esta dedicado a las personas más importantes de mi vida que con sus bendiciones y apoyo, han hecho posible el alcance de este nuevo logro para la consecución de mis sueños.

A mi Mamá por ser ese Ángel de la guarda que Dios me regalo para que cuidara cada paso que diera y me ayudara a levantar en cada tropiezo de mi vida.

A mi Papá por ser mi ejemplo de verraquera y pasión a la familia y al trabajo.

A Sergio y Sabina por atravesar junto a mí tantos momentos difíciles de nuestras vidas.

A Leonardo y Kelly por su amistad incondicional y acompañarme en tantas travesías buenas y malas.

A Carolin por su amor, apoyo y compañía durante todos estos años.

A Angie que desde el cielo nos acompaña, y nos da fortaleza para seguir luchando en esta vida llena de obstáculos.

Por ellos y para ellos la culminación de este logro, que Dios los bendiga.

Jairo

AGRADECIMIENTOS

Como autor de este trabajo quiero expresar mis sinceros agradecimientos a:

Dios que en todas las instancias de mi vida me ha protegido y me ha mostrado el camino correcto para superar cada tropiezo.

Greystar Resources Ltd. y todo su equipo de trabajo por darme la oportunidad de realizarme como profesional y brindarme toda la ayuda necesaria para el desarrollo de este trabajo.

Al Ingeniero Edwin Restrepo Urrego, tutor de mi proyecto, por transmitirme todo su conocimiento y experiencia.

Al profesor Gustavo Neira Arenas por creer en mí para la realización de este trabajo en tan prestigiosa compañía.

Mi familia por estar conmigo en las buenas y en las malas y por todo el esfuerzo que han hecho para brindarme un mejor futuro.

A mis buenos amigos, que siempre me han acompañando en cada etapa de mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	6
1. MARCO TEÓRICO	7
1.1 MINERALES DE ORO	7
1.1.1 Clasificación de los minerales de oro	7
1.1.2 Principales procesos de tratamiento de minerales de oro	12
1.1.3 Lixiviación de minerales de oro.	12
1.1.4 Lixiviación Rápida	13
1.1.5 Cinética de la disolución de oro (Cianuración)	14
1.2 LOCALIZACION DEL YACIMIENTO ANGOSTURA	17
1.2.1 Fisiografía y clima	17
1.3 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO ANGOSTURA	19
1.4 MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO ANGOSTURA	20
1.5 PLANIFICACIÓN GEOMETALURGICA DE LA EXPLORACIÓN	21
1.6 PROCESO DE EXPLORACIÓN MINERA LLEVADO A CABO POR GREYSTAR RESOURCES LTD	23
1.6.1 Trabajo de Campo	23
1.6.2 Perforaciones	24
1.6.3 Registro “Logging”	25

1.6.4 Corte	26
1.6.5 Triturado	27
1.6.6 Interpretación y Análisis de los Resultados	28
1.7 SOFTWARE “DATAMINE”	29
2. METODOLOGIA	31
3. CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS DE DIFERENTES TIPOS DE MENAS	33
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN RÁPIDA	35
4.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN RÁPIDA PARA LOS CUATRO SECTORES ESTUDIADOS EN EL YACIMIENTO ANGOSTURA	35
4.1.1 La Alta (AL)	37
4.1.2 Quebrada El Pozo (QPO)	40
4.1.3 El Silencio (SI)	41
4.1.4 Veta de Barro Este (VBE)	47
4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS CUATRO SECTORES DE ESTUDIO	49
4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LIXIVIACIÓN RÁPIDA PARA LAS MUESTRAS DE CONTROL.	51
5. CONCLUSIONES	54
6. RECOMENDACIONES	57
7. BIBLIOGRAFIA	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Diferentes tipos de asociación de oro con sulfuros minerales.	18
FIGURA 2. Protocolo para la prueba de lixiviación rápida.	23
FIGURA 3. Esquema de Localización Geográfica del Proyecto Angostura.	27
FIGURA 4. Panorámica General Proyecto Angostura.	28
FIGURA 5. Muestra de sedimentos de la Quebrada Angostura. Paso 1.	32
FIGURA 6. Muestra de sedimentos de la Quebrada Angostura. Paso 2.	32
FIGURA 7. Muestras de canal Túnel la Perezosa	33
FIGURA 8. Muestras de canal Zona Las Ánimas	33
FIGURA 9. Perforadora para Extracción de Núcleo HAGBY 1000.	34
FIGURA 10. Análisis, descripción e interpretación de las muestras de núcleo de roca.	35
FIGURA 11. Proceso de corte de las muestras de núcleo.	36
FIGURA 12. Trituradora de Quijada TM RHINO 1AL.	37
FIGURA 13. Modelo de bloques del yacimiento de Angostura creado por DATAMINE	39
FIGURA 14. Veta seleccionada con cuatro perforaciones y diferente mineralización.	39
FIGURA 15. Recuperación de oro vs. Contenido de azufre para el sector de LA ALTA	48
FIGURA 16. Recuperación de oro vs. Contenido de azufre para el sector de QUEBRADA EL POZO	49
FIGURA 17. Recuperación de oro vs. Contenido de azufre para el sector EL SILENCIO	55

FIGURA 18. Recuperación de oro vs. Contenido de azufre para el sector VETA DE BARRO ESTE	57
FIGURA 19. Comportamiento de los elementos (Al, Fe y K) con respecto a la recuperación de oro en los diferentes sectores estudiados	59
FIGURA 20. Recuperación de Oro vs. Contenido de Azufre de los resultados obtenidos para las muestras de control.	62

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Clasificación minerales de oro	16
TABLA 2. Resultados del ensayo de lixiviación rápida para el sector de LA ALTA, utilizados para la elaboración de la Figura 15.	47
TABLA 3. Resultados del ensayo de lixiviación rápida para el sector de QUEBRADA EL POZO, utilizados para la elaboración de la Figura 16	49
TABLA 4. Resultados del ensayo de lixiviación rápida para el sector de EL SILENCIO, utilizados para la elaboración de la Figura 17.	50
TABLA 5. Resultados del ensayo de lixiviación rápida para el sector de VETA DE BARRO ESTE, utilizados para la elaboración de la Figura 18.	56
TABLA 6. Promedio de los resultados obtenidos del ensayo de lixiviación rápida para cada sector de mineralización, utilizados para la elaboración de la Figura 19.	58
TABLA 7. Resultados de los ensayos de Lixiviación Rápida para las muestras de control, utilizados para la elaboración de la Figura 20.	61

TÍTULO: EVALUACIÓN METALÚRGICA DE MINERALES AURÍFEROS PROVENIENTES DEL YACIMIENTO ANGOSTURA (CALIFORNIA - SANTANDER).*

AUTOR: Jairo Ramírez Pimiento**

PALABRAS CLAVE: Lixiviación rápida, Auríferos, Angostura, California, Greystar, Veta de Barro, Oro, Pirita, Cianicidas, Cianuración, Datamine.

RESUMEN: En este trabajo se evaluó el comportamiento hacia la cianuración que presentaron minerales auríferos provenientes de diferentes sectores del yacimiento de Angostura en California (Santander), lugar donde realiza exploración la empresa canadiense Greystar Resources Ltd.

Debido al gran porcentaje de minerales asociados con sulfuros existentes en el yacimiento, solo se seleccionaron muestras de esta zona de mineralización con la ayuda del software utilizado por la empresa para el modelamiento del yacimiento de Angostura (Datamine Studio).

Los ensayos de cianuración se realizaron mediante pruebas de lixiviación rápida en donde se ponía el mineral en contacto con la solución lixivante por una hora y con los resultados se observó la tendencia del mineral hacia la recuperación de oro a medida que aumentaba el contenido de azufre en las muestras.

Los cuatro sectores de mineralización analizados presentaron alta refractariedad, influenciada principalmente por los altos contenidos de elementos cianicidas como el hierro que se encuentra no solo en la pirita si no posiblemente en las arcillas presentes en el yacimiento.

Los ensayos de lixiviación rápida mostraron una tendencia del mineral hacia la cianuración que no es suficiente para concluir una caracterización definitiva del yacimiento, por lo cual es necesario que dichas pruebas sean respaldadas por un estudio metalúrgico más detallado que incluya ensayos de cianuración para evaluar otras variables, tales como tiempo de contacto y concentración de la solución lixivante, para así poder establecer con más certeza el comportamiento de cada sector de mineralización de Angostura.

* Practica Empresarial

** Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de materiales - Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.
Tutor: Ing. Edwin Restrepo Urrego.

TITLE: METALLURGICAL EVALUATION OF GOLD ORES FROM THE ANGOSTURA DEPOSIT (CALIFORNIA - SANTANDER).*

AUTOR: Jairo Ramírez Pimiento**

KEY WORDS: Quick leaching, Gold, Angostura, California, Greystar, Veta de Barro, Pyrite, Cianicidas, Cyanidation, Datamine.

ABSTRACT: This study evaluated the behavior toward cyanidation presenting gold ores from different sectors of the Angostura deposit in California (Santander), where the Canadian company conducts exploration Greystar Resources Ltd.

Because of the large percentage of minerals associated with sulphides in the reservoir, only selected samples of this zone of mineralization with the help of software used by the company for the modeling of deposit Angostura (Datamine Studio).

The tests were performed using quick leaching tests where the ore is placed in contact with the solution lixivante for an hour and the results observed the trend towards recovery of the mineral gold as increased sulphur samples.

The four areas of mineralization analyzed had high refractoriness, influenced mainly by the high content of elements such as iron cianicidas which is not only in the pyrite if not possibly clay present in the reservoir.

The leaching tests showed a rapid trend toward ore cyanidation that is not enough to conclude a definitive characterization of the reservoir, so it is necessary that these tests are backed by a more detailed study that includes metallurgical testing to assess other variables cyanidation such as contact time and concentration of the solution lixivante, in order to establish with more certainty the behavior of each sector of Angostura mineralization.

* Business Practice.

** Metallurgical Enginery. Physical-chemical engineering faculty. Tutor: Eng. Edwin Restrepo Urrego.

INTRODUCCIÓN

La fase de exploración en un depósito de minerales, con frecuencia no es suficientemente validada por pruebas metalúrgicas, que apoyen la toma de decisiones respecto a la conveniencia económica de su posterior etapa de explotación. Por esta razón, las compañías mineras, especialmente las dedicadas a la exploración, realizan pruebas metalúrgicas que complementan la información de caracterización de los yacimientos a ser explotados.

La exploración y descubrimiento de nuevos yacimientos minerales de valor económico es una etapa de la actividad minera que no garantiza el alcance del éxito. El razonable riesgo asociado a esta etapa exige que el nuevo depósito sea desarrollado siguiendo una adecuada planificación geometalúrgica [1].

El objetivo de este informe es reportar el comportamiento a la cianuración que tuvieron las muestras de minerales auríferos asociados con sulfuros, provenientes de diferentes sectores del yacimiento Angostura (California – Santander) y sus respectivos análisis y conclusiones; pero antes de esto es necesario mostrar el proceso que se lleva a cabo paso a paso, desde el trabajo de campo, hasta el análisis de los resultados obtenidos, y la importancia de las pruebas y análisis metalúrgicos dentro de la fase de exploración de un proyecto minero, en este caso del que se esta llevando a cabo por la compañía GREYSTAR RESOURCES LTD. en Angostura (California – Santander).

Debido a que un 77% de los recursos valorados en el yacimiento de Angostura corresponde a mineral asociado con sulfuros, se hace necesario realizar un estudio detallado de estos minerales. Según su mineralogía estudiada por DIAZ SALAZAR, L y GUERRERO ARIAS, M [5], el principal sulfuro de hierro encontrado es la pirita, con un tamaño de oro predominante entre 1.4 y 20 μm y presentando también oro de tamaño submicroscópico. Adicionalmente, la presencia de elementos cianicidas tales como el hierro (Fe) y el cobre (Cu), hace que estos minerales sean altamente refractarios y por lo tanto la cianuración convencional no permite altas recuperaciones de Oro.

Para liberar los metales preciosos (en este caso el oro), presentes en este tipo de minerales, se hace necesario realizar un tratamiento previo de oxidación de la matriz sulfurosa que permita el contacto directo de los metales con el reactivo de lixiviación. Este trabajo pretende evaluar de manera metalúrgica el mineral asociado con sulfuros, proveniente de cuatro sectores del yacimiento de Angostura, para determinar su respuesta a la cianuración y establecer la relación entre la cantidad de azufre y el porcentaje de oro recuperado.

La prueba Metalúrgica que se llevó a cabo para la realización de este trabajo es la Lixiviación Rápida o "Quick Leaching", ensayo importante para analizar la tendencia del mineral hacia la cianuración y la recuperación que este pueda tener, durante una hora de lixiviación, con respecto al contenido de azufre.

OBJETIVOS

GENERAL

Establecer el comportamiento a la cianuración de muestras de minerales auríferos asociados con sulfuros, provenientes de diferentes sectores del yacimiento Angostura (California – Santander).

ESPECÍFICOS

- Seleccionar y clasificar de acuerdo con su tenor de oro las muestras de diferentes tipos de mena, que se envían a diferentes laboratorios para las pruebas de lixiviación rápida, utilizando el modelo de bloques desarrollado por “DATAMINE” y la base de datos de la empresa.
- Realizar pruebas de lixiviación rápida en muestras seleccionadas de sulfuros provenientes del yacimiento Angostura, para determinar su respuesta a la cianuración y establecer la relación entre la cantidad de azufre y el porcentaje de oro recuperado.
- Mantener un registro detallado de los análisis efectuados y de los resultados obtenidos mediante pruebas de lixiviación rápida en los diferentes laboratorios y establecer comparaciones entre ellas.
- Brindar soporte técnico en las pruebas metalúrgicas realizadas al mineral aurífero del yacimiento de Angostura.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 MINERALES DE ORO

1.1.1 Clasificación de los minerales de oro. Generalmente, los minerales dentro del grupo de un metal, suelen clasificarse por su abundancia en la naturaleza, por su composición mineralógica o por su proceso de tratamiento. Para el caso de los minerales de oro, su clasificación se ha hecho con base en la estrecha relación existente entre mineralogía y proceso de tratamiento. La Tabla 1, presenta una forma de clasificación de los minerales de oro, basado en la forma en que el oro se encuentra presente en el mineral [8].

Tabla 1. **CLASIFICACION MINERALES DE ORO**

I)	ORO LIBRE. Placeres (aluviales, eluviales o fluviales)
II)	ORO COMBINADO. Teluros
III)	ORO ASOCIADO CON:
	– Sulfuros de hierro (pirita, marcasita y pirrotina)
	– Sulfuros de arsénico y antimonio (arsenopirita y estibinita)
	– Sulfuros de cobre (principalmente, calcopirita)
	– Otros sulfuros (galena y blenda) y sulfosales
	– Oxidos de hierro
	– Minerales de uranio
	– Minerales carbonáceos y grafiticos
	– Silicatos y carbonatos
	– Minerales micáceos
	– Minerales de manganeso

NOTA: Lógicamente, la amplia gama puede abarcar combinaciones de uno o más de los minerales citados

Fuente: Instituto tecnológico geominero de España. Minería química. 1991. Pg: 154

El oro puede también presentarse en una serie de asociaciones complejas que requieren pretratamiento de estos minerales, generalmente procesos oxidativos debido a que el tratamiento directo de cianuración es ineficiente o antieconómico.

Las principales asociaciones suceden cuando el oro se encuentra ligado a sulfuros, minerales consumidores de reactivos (pirrotita, arsenopirita, etc.), minerales carbonáceos o combinaciones de los anteriores.

Oro Libre: Una de las formas comunes de encontrar el oro en la naturaleza es como oro libre o nativo, variando su pureza y granulometría desde centímetros hasta micras. Se define como “oro libre”, a aquellas partículas de oro que pueden ser liberadas totalmente de la mena mediante molienda. El oro fino se encuentra en yacimientos tipo sedimentario, pero muy frecuentemente en yacimientos hidrotermales, por ejemplo epitermales.

Algunas veces, el oro se encuentra aleado con plata (15 – 35 % Ag), aleación que se conoce como oro “electrum” y algunas veces aleado con mercurio formando amalgama (Au_2Hg_3) aunque en muy raras ocasiones.

Otra de las formas de encontrar oro es como trazas en el carbón, agua de mar y en cenizas de materias vegetales y animales.

Oro Combinado: Las principales especies de oro combinado son los telurios, conteniendo pequeñas cantidades de otros elementos como antimonio, plomo y mercurio. Estos compuestos son difíciles de cianurar y requieren pretratamientos, dando lugar a procesos especiales. Entre estos compuestos tenemos: calaverita, krenesita, silvanita, petzita y hesita (Ag_2Te con hasta 4,7 % de Au).

Oro Asociado: El “oro asociado” se presenta cuando las partículas de oro están unidas a los límites de grano después de molienda, pero quedan expuestas a la acción de los reactivos (cianuro), “oro ocluido o encapsulado” aquel en que las partículas de oro están completamente encerradas dentro de las partículas minerales y como “oro submicroscópico o diseminado” cuando las partículas están incluidas en sulfuros o diseminadas en la matriz o están por debajo de los límites de detección de la microscopía óptica. Una ilustración gráfica de estos conceptos, se muestra en la Figura 1 [8].

Figura 1. Diferentes tipos de asociación de oro con sulfuros minerales



Fuente: López, María esperanza. La mineralogía de procesos y su aplicación en la cianuración de minerales auroargentíferos. Tesis de maestría en ingeniería metalúrgica, UIS, 1999. Bucaramanga.

El oro asociado se clasifica de la siguiente manera [8]:

- *Sulfuros de hierro*: la pirita es el mineral más común que puede llevar el oro asociado. Dependiendo de las condiciones de formación del yacimiento, este oro puede ser liberado por molienda más o menos fina, o estar diseminado como inclusiones en el tamaño de micras, haciendo al mineral refractario a los procesos de tratamiento normales.

De gran importancia es el contenido de azufre, el cual aumenta la dificultad de tratamiento con su incremento y pudiendo estar asociado el oro a la pirita y/o ganga.

Un caso particular es el de la pirrotita, $Fe_{1-x}S$ (x entre 0 y 2), requiriendo proceso previo de tratamiento de oxidación y posterior cianuración.

- *Sulfuros de arsénico y antimonio*: Normalmente se presentan como especies mixtas de pirita y arsenopirita, donde el oro está asociado a los granos de sulfuro de forma finísima, a veces menor a una micra, imposible de detectar por los métodos normales de microscopía.
- *Sulfuros de cobre*: En la mayoría de yacimientos, la calcopirita se encuentra asociada con mayor o menor contenido de pirita, y el oro, muy fino, puede estar bordeando o algunas veces incluido en ambas especies. Muchos de los yacimientos de sulfuros de cobre contienen pequeñas cantidades de oro en el orden de partes por millón (ppm).
- *Otros sulfuros*: Algunos de los otros sulfuros con los cuales podemos encontrar el oro asociado de manera similar a como se encuentra asociado con pirita, arsenopirita y calcopirita, se presenta con compuestos con minerales como galena, blenda, calcosita, covelina, niquelita, etc.

- *Óxidos de hierro:* la magnetita y otros óxidos de hierro secundarios (hematita, goethita, limonita y jarosita) pueden llevar asociaciones de oro. En el caso de óxidos secundarios es normal que el oro se encuentre finamente diseminado (micras) y recubierto por finas partículas de arcillas y lamas naturales. En el tratamiento de estos minerales, las pérdidas de metal pueden ser debidas más al recubrimiento de las partículas por material arcilloso que a su grado de liberación.
- *Minerales de uranio:* este tipo de asociaciones entre el oro y los minerales de uranio es frecuente en Sudáfrica. Generalmente los granos de oro son muy finos y ocluidos en el mineral (uraninita) y en la ganga silíceo, aunque algunas veces pueden ocurrir asociaciones más complejas.
- *Minerales carbonáceos y grafíticos:* Se conoce como materiales carbonáceos, aquellas menas que contienen carbono, carbón activado o carbón en forma de grafito o compuestos de cadena larga como los ácidos húmicos. La dificultad en el tratamiento de estas menas está en la adsorción del oro disuelto por el material carbonaceo, originando una precipitación prematura y pérdidas en el proceso de lixiviación.
- *Silicatos y carbonatos:* En estos minerales el oro puede estar ocluido o bordeando los granos, la presencia de sulfuros es escasa y por esta razón, aunque el oro se encuentre finamente diseminado, se obtienen buenas recuperaciones por lixiviación convencional. Otro caso es el de oro en rocas tipo magmático epitermales, donde el oro puede estar encapsulado en la sílice y dificultar su extracción.

1.1.2 Principales procesos de tratamiento de minerales de oro. Desde el punto de vista de su tratamiento, las menas de oro, se pueden clasificar en diferentes grupos, como los siguientes:

- a. Placeres con oro libre (aluvial, eluvial o fluvial).
- b. Menas de oro libre, que requieren reducción de tamaño para su liberación y posterior recuperación.
- c. Menas refractarias que dificultan su recuperación y requieren procesos especiales de pretratamiento.

Los procesos de pretratamiento principales son oxidación, calcinación y tostación. Así mismo, ha adquirido importancia la biolixiviación de menas auríferas mediante oxidación bacteriana. Todos estos procesos buscan eliminar o disminuir la refractariedad del mineral a la cianuración a través del rompimiento o modificación química de la matriz que atrapa la partícula de oro.

En general, el conocimiento mineralógico de las menas, sus características físicas, el grado de liberación del oro y la evaluación de las reservas del yacimiento son los principales factores que definen el proceso de tratamiento que se ha de seguir en la recuperación de la mena, también son de importancia las condiciones de la localidad de explotación y las características medioambientales.

1.1.3 Lixiviación de minerales de oro.

Se considera como proceso de lixiviación, aquel realizado siempre en presencia de soluciones acuosas y en el cual hay suficiente solubilidad o disolución de los minerales o compuestos presentes en el material a tratar, de forma que se obtenga una concentración aceptable del metal de interés en la solución.

En este tipo de procesos es muy importante, que se produzca un rechazo o poco consumo de los reactivos por los minerales o compuestos no útiles, considerados ganga; de forma que se faciliten los procesos posteriores de separación, y se obtengan soluciones de lixiviación de aceptable pureza en cuanto al metal deseado [8].

Los procesos de lixiviación generalmente involucran diferentes tipos de reacciones de disolución. Entre los de mayor importancia se encuentran las reacciones de disolución con oxidación o reducción, entre las cuales se incluye la cianuración de minerales auríferos.

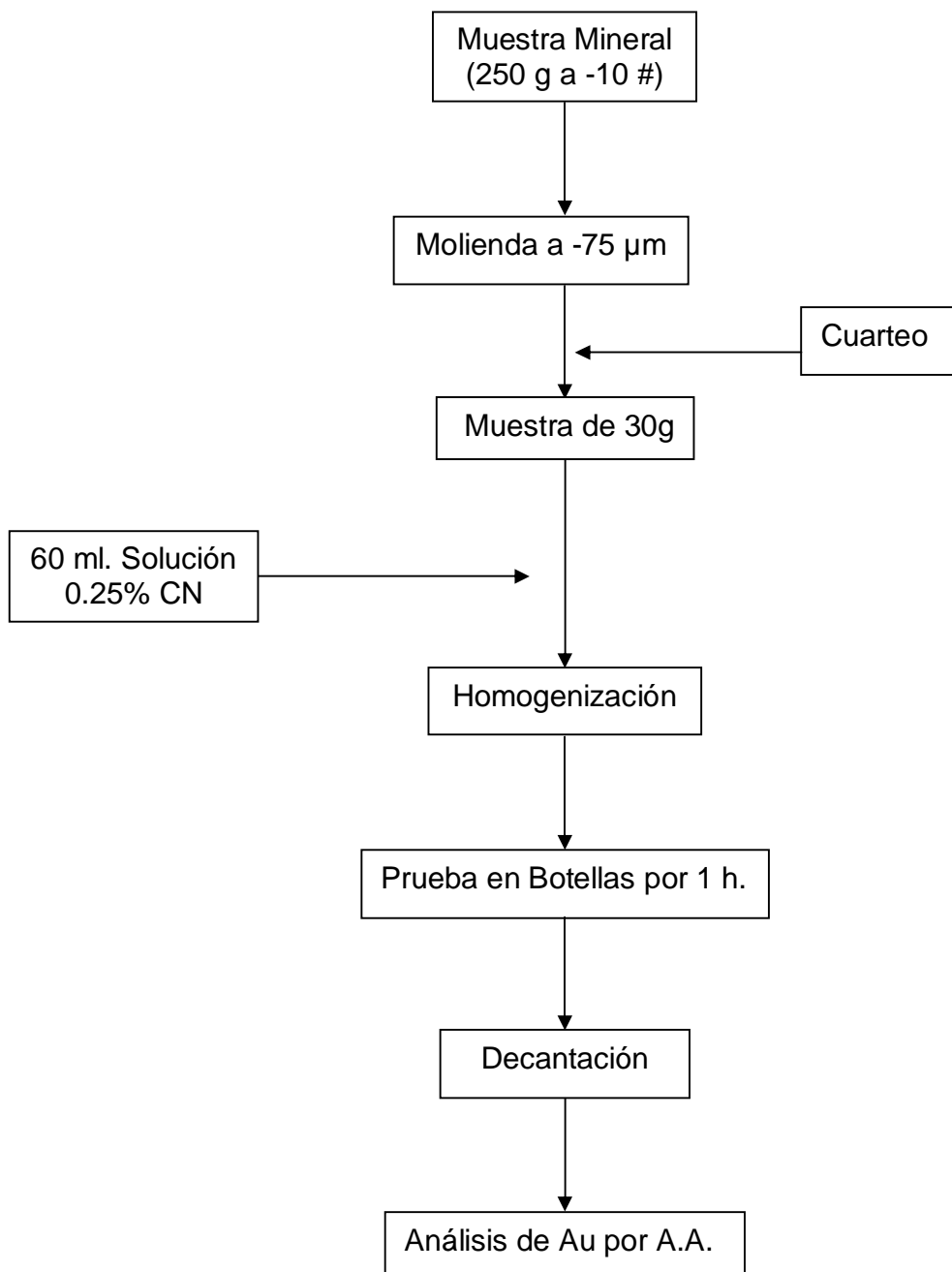
Las reacciones de disolución con oxidación o reducción, son de mucha importancia en metalurgia, y suceden cuando un metal (o elemento no metálico) en la solución tiene un estado de oxidación diferente de aquel que tenía en el mineral. Para que se produzcan este tipo de reacciones durante la lixiviación, el sistema debe contener un agente oxidante o reductor, así la solubilidad del metal será función de la concentración de este agente en equilibrio con el mineral o compuesto que se esté lixivando.

1.1.4 Lixiviación Rápida

La Lixiviación Rápida o QUICK LEACHING es una prueba que se realiza en el laboratorio, mediante un protocolo determinado que se ilustra en la Figura 2. La muestra llega al laboratorio con una granulometría de -10#, es necesario realizarle una molienda a 75 μm y obtener una muestra de 30 gr por medio de cuarteo, luego se homogeniza con 60 ml de solución a 0.25% CN (peso/volumen), y se agrega a una botella que posteriormente va a girar sobre dos rodillos por una hora, manteniéndose las revoluciones constantes. Por último se decanta la solución y se realiza un análisis de Au por absorción atómica.

Este tipo de pruebas son necesarias para un estudio metalúrgico, ya que permiten caracterizar adecuadamente las diferentes zonas de mineralización que existen en un yacimiento, como en el caso del yacimiento Angostura.

Figura 2. PROTOCOLO PARA LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN RÁPIDA

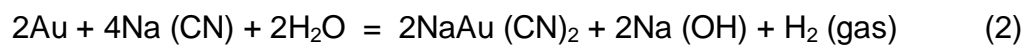


1.1.5 Cinética de la disolución de oro (Cianuración). Para poder explicar la cinética de disolución de oro en soluciones acuosas cianuradas, existen tres ecuaciones clásicas, estas son:

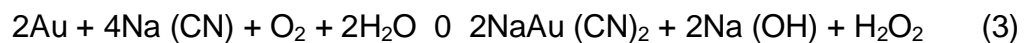
- Ecuación de Elsner (1846):



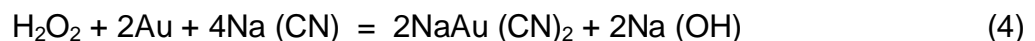
- Ecuación de Janin (1892):



- Ecuación de Bodlaender (1896):



El peróxido de hidrógeno, vuelve a reaccionar:



Esta última ecuación es similar a la ecuación de Elsner, donde el peróxido de hidrógeno desaparece en un balance total.

En 1934, Barsky, Swaison y Hedley, determinaron las energías de formación de los complejos aurocianurados, obteniéndose estos resultados:

Elsner: -90 Kcal/mol

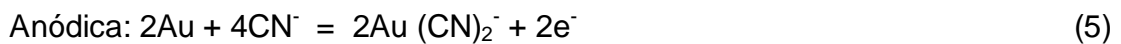
Janin: +13.5 Kcal/mol

Bodlaender: -22.5 Kcal/mol

Según estos resultados, la ecuación de Elsner es la que mejor describe la disolución del oro mediante cianuración, por tener mayor cambio de energía libre negativa. Se demostró que esta reacción sucede hasta que todo el cianuro se ha consumido o todo el metal se ha disuelto [8].

Con el paso del tiempo y de forma muy gradual, se ha establecido que la lixiviación de oro es básicamente un proceso de corrosión electroquímico, con la velocidad controlada por difusión del cianuro (CN⁻) y oxígeno (O₂) o por la reducción del oxígeno sobre el mineral.

La velocidad de disolución, no se puede aumentar significativamente porque el oro es pasivado por el cianuro o por la formación de capas de óxidos. Hacia 1980, Nicol aclara que en el proceso, el mineral presenta dos áreas adyacentes: catódica y anódica, con el siguiente mecanismo de lixiviación:



Aparte de la reacción química, la cianuración de oro está regida por procesos físicos de difusión con varias etapas; entre ellas: Disolución de cianuro y oxígeno, transporte de estos reactivos a la superficie de mineral, adsorción del cianuro y oxígeno, la reacción electroquímica y la formación del complejo cianurado y al final la desorción y transporte de este complejo a la solución.

El proceso de cianuración obedece a parámetros químicos como la concentración de cianuro y oxígeno, así como a la influencia de la agitación, que afecta la difusión, y la temperatura, que afecta la velocidad de reacción química. Además, la alcalinidad actúa como agente protector evitando la hidrólisis del cianuro.

Cuando el proceso se presenta en condiciones normales de agitación, temperatura y oxígeno disuelto, la disolución de oro es controlada por la difusión de CN⁻, pero si la concentración de CN⁻ se aumenta hasta que sea mayor que la concentración de O₂, ésta regirá la disolución [8].

1.2 LOCALIZACION DEL YACIMIENTO ANGOSTURA

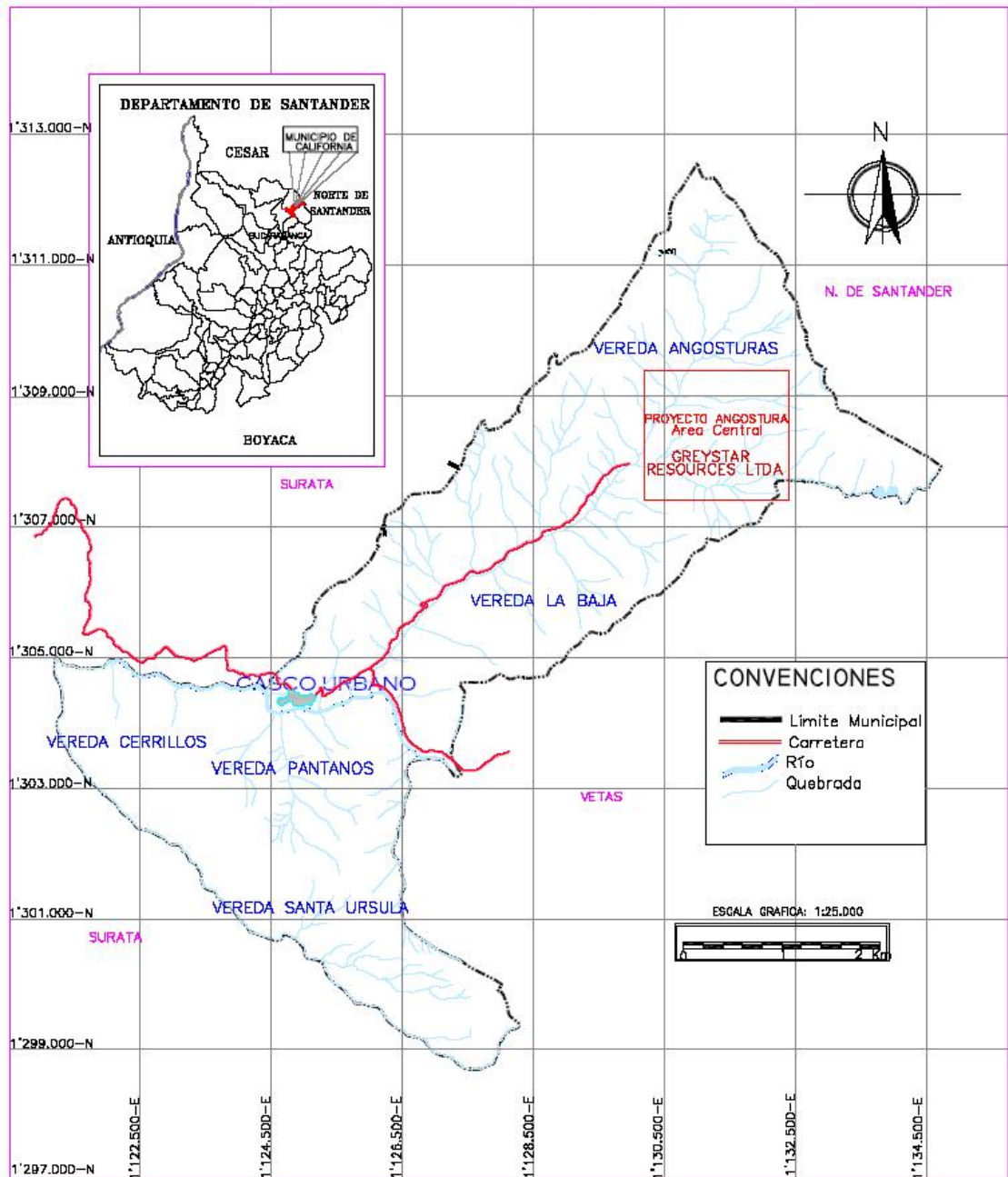
El proyecto Angostura se encuentra ubicado en la parte nororiental del departamento de Santander, cerca de los límites de este departamento con Norte de Santander, en el municipio de California a unos 50 Km. de la ciudad de Bucaramanga, cuyo acceso se hace por vía terrestre (carretera sin pavimentar), pasando por los municipios de Matanza y Suratá, llegando al casco urbano del municipio de California y de allí a 11 Km. adicionales siguiendo la vía que conduce a las veredas La Baja y Angostura y que finaliza en el área del proyecto.

Geográficamente el yacimiento se encuentra a 7°23' norte y 72°54' este, cuya área esta contenida en la plancha 110-1-C a escala 1:25000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi; y que forma parte del cuadrángulo H-13 Pamplona. Geológicamente, el proyecto Angostura se sitúa en la parte central del Macizo de Santander de la Cordillera Oriental de Colombia [5].

1.2.1 Fisiografía y clima. El área del proyecto Angostura se caracteriza por presentar un relieve montañoso, empinado, relativamente accidentado con alternancia de valles profundos. Las alturas donde se ubica el proyecto oscilan en un rango de 2600 a 3400 m.s.n.m. El patrón general de drenaje es paralelo a subparalelo controlado estructuralmente. Las principales corrientes son las quebradas Angostura, Páez, El Pozo y La Perezosa, la intersección entre la quebrada Angostura y Páez es el inicio de la quebrada la Baja, quien constituye uno de los principales drenajes de la subcuenca del río Suratá, y que pertenece a la cuenca del río Lebrija.

El clima es de templado a páramo con temperaturas que oscilan entre los 8°C Y 15°C, la precipitación media promedio es de 1300 mm. La vegetación puede ser descrita como de tipo "Alpino", consistiendo de frailejones y escasos pastizales en las partes mas altas, arbustos en las partes medias y boscosa a lo largo de las quebradas [5].

Figura 3. Esquema de Localización Geográfica del Proyecto Angostura.



Modificado del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), California.

Figura 4. Panorámica General Proyecto Angostura.



Modificado de Technical Report, Project Angostura, 2004

1.3 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO ANGOSTURA

El área del Proyecto Angostura forma parte del Macizo de Santander, en su parte central, conformado por un complejo de rocas metamórficas predevónicas y rocas ígneas mesozoicas. Las rocas metamórficas aflorantes en el yacimiento de Angostura, pertenecen a la unidad Neis Bucaramanga, consideradas como las más antiguas, están formadas por neises mineralógicamente formados por cuarzo, feldespatos, hornblenda y biotita y producto de la alteración hidrotermal, arcillas, sericita, clorita y epidota.

En estas rocas se hospeda la mayoría de la menas auroargentíferas del yacimiento, las cuales son consideradas la roca caja de la mineralización. La alteración hidrotermal ha enmascarado parcial y completamente las texturas iniciales de la roca huésped.

Las rocas ígneas aflorantes están formadas por unos cuerpos intrusivos, que varían entre tonalitas y granodioritas, mineralógicamente formados por cuarzo y feldespatos.

1.4 MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO ANGOSTURA

La mineralización del yacimiento Angostura consiste en un sistema de bloques tubulares llamados vetas las cuales agrupan diferentes estructuras mineralizadas que conservan características espaciales similares. Estas vetas han sido modeladas mediante el software utilizado en la empresa GREYSTAR RESOURCES Ltda. llamado DATAMINE. Estos bloques ocurren como filones de cuarzo, sericita, y arcillas con sulfuros (de cobre y cobre-hierro) y óxidos, distribuidos en toda el área del proyecto presentándose la mineralización de manera diseminada y en forma de bandas, venas, venillas, cristales aislados e hilos.

La mineralización consta de oro (nativo, electrum, silvanita), plata (hessita), y pirita como principal sulfuro de hierro; y otros sulfuros de cobre y cobre-hierro en menor proporción como la calcopirita, digenita, covelina, bornita, tetrahedrita, enargita, marcasita, arsenopirita, calcosina, pirrotina y bismutinita; óxidos como limonita, hematina, ilmenita y magnetita. El oro ocurre principalmente asociado a sulfuros y en menor proporción como oro libre, intersticial o incluido en pirita y otros sulfuros. Según DIAZ SALAZAR, L y GUERRERO ARIAS, M [5], el tamaño de oro predominante oscila entre 1.4 y 20 μm y presentando también oro de tamaño submicroscópico. La asociación del oro con otros minerales de la mena varía con la profundidad.

En las menas menos profundas, el oro esta asociado principalmente a óxidos (hematita, limonita, ilmenita y magnetita); y a medida que aumenta la profundidad el oro se encuentra asociado con pirita y otros sulfuros de cobre-hierro. Las principales alteraciones hidrotermales que acompañan la mineralización son la Silicificación, la Sericitización y la Argilización, presentándose desde bajas a altas intensidades [5].

1.5 PLANIFICACIÓN GEOMETALÚRGICA DE LA EXPLORACIÓN

El modelo de planificación geometalúrgica para un nuevo yacimiento se basa en que las pruebas metalúrgicas sean ejecutadas en forma simultánea a la exploración, de manera que la caracterización de cada muestra incluya también aspectos tales como: flotabilidad del mineral, rendimiento a la disolución con solventes, consumo de reactivos de proceso, etc. Algunos especialistas con amplia experiencia consideran a las pruebas metalúrgicas como parte de la exploración [1].

Las pruebas preliminares deben ser llevadas a cabo con suficiente cantidad y calidad de muestras litológicas que sean obtenidas por los geólogos del departamento de exploración. Estas pruebas iniciales tendrán carácter preliminar para luego pasar a una fase de mayor exactitud en donde el trabajo con muestras representativas del yacimiento es un importante requisito.

El modelo de planificación se completa con el mapeo de cada zona o sector del yacimiento, asignando valores de recuperación/extracción metalúrgica y calidad del producto metalúrgico. Ambos datos se obtienen a partir de las pruebas metalúrgicas que se ejecutan con las muestras de núcleo obtenidas de las perforaciones realizadas en el yacimiento. Augusto Millán [2] sostiene que, si un yacimiento presenta diversos sectores con características muy diferentes (leyes, tamaño de partículas mineralizadas, tipos de ganga, lamas primarias y work index) conviene hacer “mezclas” y que resulta justificado correr numerosas pruebas metalúrgicas con pequeños compósitos de muestras de núcleo.

Las muestras litológicas de exploración de un nuevo yacimiento deben ser estudiadas desde un punto de vista mineralúrgico, en donde el uso de la mineralogía aplicada al proceso de minerales será de vital importancia para la planificación geometalúrgica. El conocimiento mineralógico de los minerales de la etapa de exploración es de vital importancia para el éxito del diseño del proceso metalúrgico. El análisis químico elemental solo debe servir como referencia en esta etapa, en vista que la mineralogía aplicada al tratamiento de minerales es herramienta fundamental para el metalurgista de investigación.

Conforme avanza el programa de exploración geológica y suficientes reservas han sido determinadas, las pruebas metalúrgicas de laboratorio deben estar dirigidas a generar mayor información para la fase de optimización del proceso seleccionado.

Si las reservas de mineral son suficientemente altas, la siguiente etapa podría incluir la verificación de datos en una planta piloto, lo que será de vital importancia para llegar a conclusiones definitivas sobre la mejor opción para la explotación y beneficio del yacimiento y elaborar el estudio económico. Eventualmente, si las características mineralúrgicas de los minerales a recuperar responden fácilmente a un proceso convencional específico, en este caso, los resultados obtenidos en el laboratorio serán suficientes para la selección del proceso metalúrgico.

La selección de un proceso metalúrgico puede ser causa del fracaso del proyecto minero. La evaluación económica del proceso dará como resultado la adopción del más conveniente. Este dato conjuntamente con otros provenientes de los estudios ambientales relacionados al proceso elegido, constituyen informaciones de base para las decisiones de la alta dirección de las empresas [1].

1.6 PROCESO DE EXPLORACIÓN MINERA LLEVADO A CABO POR GREYSTAR RESOURCES LTD.

1.6.1 Trabajo de Campo. El primer paso para realizar una exploración geológica, son las salidas de campo, donde se hace un reconocimiento regional, por medio de toma de muestras de sedimentos de las quebradas y de suelos, con el fin de identificar indicios de mineralización en la zona. En el segundo paso, se llevan a cabo estudios más detallados, donde el geólogo realiza muestreos de canal en la roca, sobre el terreno, y define las zonas de mayor potencial.

Una vez se termina la fase de campo, empieza la fase de interpretación de los resultados de las muestras tomadas. Se realiza una cartografía más detallada de los cuerpos de roca y de acuerdo con la geología encontrada se hace un programa de perforaciones, donde se busca atravesar la mayor parte de zonas ricas [3]. En las Figuras 5 y 6 se puede observar los pasos que se llevan a cabo para la toma de muestras de sedimentos que se realizan en una de las quebradas de la zona; dichas muestras de sedimentos son el primer paso que se da en el proceso de exploración, ya que identifican las zonas de mineralización del yacimiento.



Figura 5. Muestra de sedimentos de la Quebrada Angostura. Paso 1.



Figura 6. Muestra de sedimentos de la Quebrada Angostura. Paso 2.

En las Figuras 7 y 8 se puede observar la toma de muestras de canal en el túnel de exploración La Perezosa y en la zona Las Animas del deposito de Angostura, respectivamente. Estas muestras se toman con cortadora eléctrica o con porra y cincel, según la dureza de la roca que se va a cortar.



Figura 7. Muestras de canal Túnel la Perezosa



Figura 8. Muestras de canal Zona Las Ánimas

1.6.2 Perforaciones. Para confirmar o desmentir las interpretaciones hechas a través del trabajo de campo, se hace uso de una herramienta vital dentro del proceso de exploración minera: las perforaciones subterráneas con recuperación de núcleo, que obtienen muestras del subsuelo a profundidades variables.

Según la estructura y mineralización que se encuentre en la zona a perforar se define la orientación e inclinación de la máquina, y la profundidad del pozo varía en un promedio entre 350 y 400 metros según la mineralización que presentan las muestras [3].

Los núcleos recuperados son muestras cilíndricas de roca que se extraen con la ayuda de las máquinas de perforación. Cada núcleo se coloca dentro de una caja de madera, con unos tacos que indican la profundidad a la cual fue extraída esa roca.

En ocasiones, las muestras o núcleos no se recuperan completamente, debido a que existen pérdidas durante la perforación o la extracción. Además, la mineralización puede haber sido cortada en un punto con alta o baja ley de oro.

En la Figura 9 se puede observar una máquina de perforación utilizada para la extracción de muestras de núcleo en el túnel de exploración “La Perezosa”.



Figura 9. Perforadora para Extracción de Núcleo HAGBY 1000.

1.6.3 Registro “Logging”. Una vez recuperado el núcleo, las cajas son enviadas y medidas en la sala de “Logging”, para conocer el avance del proceso, determinar la pérdida y la cantidad de núcleo recuperado. Además se realiza una descripción de la roca teniendo en cuenta los parámetros geológicos definidos de acuerdo con el tipo de roca y la alteración que se presenta. Se tienen en cuenta el tamaño de grano, los minerales, estructuras mineralizadas, etc., que determinan el tipo de depósito que se está estudiando [3].

Esta información ingresa a una base de datos central, en Postgres SQL, y para el modelamiento y cálculo de recursos se usa el software DATAMINE. Finalizado el muestreo, las cajas se fotografían para dejar un registro de todo el núcleo recuperado. En la Figura 10 se puede observar la organización de los núcleos muestreados y al geólogo realizando el análisis, descripción e interpretación correspondiente de las muestras.



Figura 10. Análisis, descripción e interpretación de las muestras de núcleo de roca.

1.6.4 Corte. Después del “Logging”, las muestras pasan a la sala de corte donde los núcleos son cortados longitudinalmente por mitad. La mitad del núcleo se coloca en una bolsa marcada que pasa a la siguiente fase: triturado. La otra mitad se almacena en bodega, quedando como muestra testigo en caso de que se quiera verificar de donde vienen los resultados. En la Figura 11 se puede observar como se lleva a cabo el corte de las muestras de núcleo.



Figura 11. Proceso de corte de las muestras de núcleo.

1.6.5 Triturado. El núcleo escogido pasa al laboratorio de preparación de muestras o laboratorio de triturado. Antes de pasar las muestras a la trituradora de mandíbula son secadas en hornos a temperaturas entre 60°C y 80°C. El núcleo se tritura al tamaño requerido para su análisis, en este caso el 80% a 1,7mm (-10 mallas), y se cuartea hasta obtener muestras de 250 g aproximadamente [3].

Estas muestras son enviadas a los diferentes laboratorios donde se realizan ensayos químicos y metalúrgicos para obtener las propiedades y características que se necesitan de cada muestra. En la Figura 12 se puede observar la trituradora utilizada en el laboratorio de preparación de muestras.



Figura 12. Trituradora de Quijada TM RHINO 1AL.

1.6.6 Interpretación y Análisis de los Resultados. Según lo descrito hasta el momento, el proceso de exploración minera consiste en una toma continua de datos que se interpretan sobre la marcha. Así, cada decisión que se toma, de continuar o no con las etapas siguientes, está fundamentada en datos que apoyan la interpretación preliminar.

Cada etapa de la investigación que se desarrolla está encaminada a apoyar o desmentir las interpretaciones hechas en pasos anteriores, mediante nuevos datos que supongan una mejora de la interpretación.

Toda esta información se almacena en una base de datos en Bucaramanga y en este punto es donde se hace importante la utilización de un software especializado en el manejo de datos de exploración que permita relacionar toda la información generada, en el caso de GREYSTAR, como se dijo anteriormente, se utiliza DATAMINE.

1.7 SOFTWARE “DATAMINE”

Es el software integrado más utilizado en la industria de los recursos naturales. Los usos más comunes del sistema son: la captura y análisis de la información, Exploración, Geología, Geoquímica, Mecánica de rocas, Topografía, Modelamiento geológico, diseño de mina a Cielo Abierto y Subterráneas, Planeamiento Minero y áreas relacionadas con los estudios ambientales.

En GREYSTAR RESOURCES Ltd. este software ha sido utilizado para diversas actividades como el modelamiento de vetas, cálculo de recursos por el sistema de bloques, geoestadística, geología; entre otras, y en la parte metalúrgica es utilizado para obtener la información necesaria de cada muestra y seleccionar los compósitos para las pruebas de lixiviación.

Con la ayuda de DATAMINE se puede obtener información acerca de la mineralogía y composición química de cada uno de los sectores muestreados, y con base en los criterios establecidos por la compañía (los criterios se mostraran mas adelante), se seleccionan las muestras y compósitos que se les realiza el ensayo de “QUICK LEACHING”.

En la Figura 13 se puede observar el modelo de bloques utilizado por DATAMINE en 3D, donde se aprecian la totalidad de vetas que tiene el yacimiento de Angostura. En la Figura 14 se puede observar una veta en estudio con cuatro puntos de perforación donde se tienen diferentes tipos de mineralización. Una misma veta puede tener diversos tipos de mineralización, ya que tiene zonas de oxidación, transición y de sulfuros.

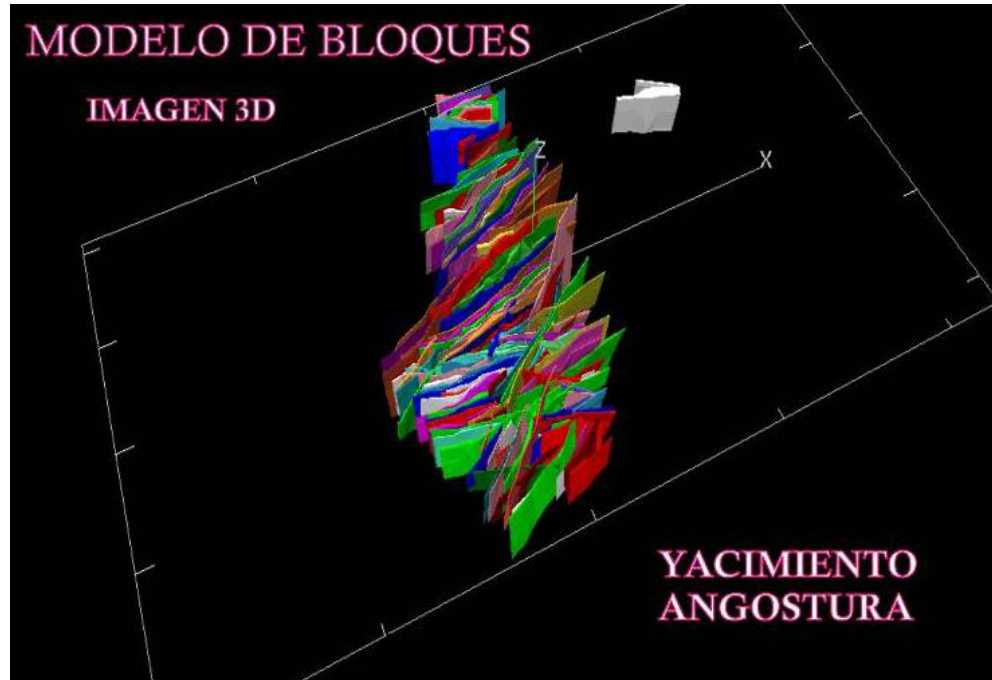


Figura 13. Modelo de bloques del yacimiento de Angostura creado por DATAMINE



Figura 14. Veta seleccionada con cuatro perforaciones y diferente mineralización.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo del trabajo se realizó en etapas sucesivas de la siguiente manera:

ETAPA 1: Revisión Bibliográfica.

Se realizó revisión bibliográfica, en base de datos y programas utilizados por la empresa, libros especializados, revistas, artículos y tesis, que sirvieron como base para la elaboración del trabajo.

Dentro de esta revisión bibliográfica se destaca la capacitación del autor en el programa utilizado por la compañía para el modelamiento del yacimiento de Angostura, DATAMINE Studio, el cual fue de gran importancia para la selección de muestras de mineral enviadas para los ensayos de lixiviación rápida.

ETAPA 2: Clasificación de Muestras de Diferentes Tipos de Menas

En esta etapa se seleccionaron y clasificaron las muestras que fueron enviadas para la realización de los ensayos de lixiviación rápida. La selección se realizó de acuerdo con la caracterización mineralógica y química de cada tipo de mena, mediante la utilización del software DATAMINE, y la base de datos de la empresa.

Esta etapa se explica más detalladamente en el numeral 2 (CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS DE DIFERENTES TIPOS DE MENAS).

ETAPA 3: Lixiviación de Muestras de Mineral Aurífero.

ACTIVIDAD 1: Ensayos de Lixiviación Rápida

Se realizaron los ensayos de lixiviación rápida a las muestras seleccionadas, para observar su respuesta a la cianuración.

Las muestras se sometieron a la técnica de lixiviación rápida, y los ensayos fueron realizados en los laboratorios de Chemex (Canadá) y al Grupo de Investigación en Minerales Biohidrometalurgia y Ambiente de la UIS.

ACTIVIDAD 2: Análisis de Resultados de Lixiviación Rápida

Se realizaron los respectivos análisis de los resultados de la lixiviación rápida y se analizó la posible tendencia de los minerales sulfurados hacia la cianuración con respecto a la cantidad de azufre presente y teniendo en cuenta la presencia de otros elementos.

GREYSTAR decidió realizar una correlación logarítmica entre el porcentaje de recuperación de oro y la cantidad de azufre contenido en las muestras para observar su comportamiento.

ETAPA 4: Análisis de Resultados y Conclusiones

Se llevó cabo el análisis de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados, a través de gráficos y curvas de comportamiento de los datos de cianuración, contenidos de azufre y demás elementos en el mineral.

3. CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS DE DIFERENTES TIPOS DE MENAS

Las muestras que se utilizaron para la realización del ensayo de Lixiviación Rápida fueron tomadas de cuatro sectores importantes del proyecto de Angostura, en cuanto a mineralización: Quebrada El Pozo (QPO), Veta de Barro Este (VBE), La Alta (AL) y El Silencio (SI). Estas muestras fueron obtenidas siguiendo todos los pasos que se llevan a cabo por la empresa, para el proceso de exploración minera mencionado anteriormente, y los resultados finales fueron incluidos en la base de datos de DATAMINE, de donde fueron seleccionadas bajo los siguientes criterios:

- **Tenor de Oro:** 0,5 a 1,5 → Bajo
1,5 a 3,0 → Medio
3,0 en adelante → Alto
- **Cantidad de muestra:** La “cantidad de muestra” se tomo como criterio de selección debido a que las muestras tomadas para los ensayos de lixiviación ya se encontraban en la bodega de la empresa y su contenido debía ser suficiente para disponer de la cantidad necesaria de mineral para la realización del ensayo (en este caso \approx 250g), y dejar una “muestra testigo” de base.

Cuando se asocian varias muestras para formar un compósito, se debe tener en cuenta la relación entre tenor de oro y cantidad de muestra, para obtener el peso adecuado de cada unade estas. Estos compósitos se realizan por medio del programa DATAMINE donde se tiene el modelo de bloques y los pozos de perforación ejecutados en todos los sectores del yacimiento.

En el laboratorio de “Muestreo Metalúrgico” de la compañía, se seleccionaron 381 muestras en total por medio de cuarteo, que fueron enviadas al laboratorio CHEMEX en Canadá para la realización del ensayo de Lixiviación Rápida, y además se seleccionaron 27 muestras de control, que fueron enviadas al laboratorio de la UIS (Grupo de Investigación en Minerales Biohidrometalurgia y Ambiente), para la realización del mismo ensayo.

Para la selección de las muestras de control se tuvo en cuenta, que tanto el tenor de oro como el contenido de Azufre, variaran considerablemente con el propósito de realizar un análisis más amplio y detallado, y abarcar todas las zonas de mineralización, ya que se tienen muestras de Sulfuros “S”, Transición “TR” y Óxidos “OX”.

En el modelamiento de vetas realizado por la compañía, para el yacimiento de Angostura por medio de DATAMINE, se establecieron tres zonas de mineralización que varían según la profundidad de la mena, las menas menos profundas son denominadas la Zona de Oxidación “OX”, donde se encuentran los minerales asociados principalmente a Óxidos, seguidos por la Zona de Transición “TR” que contiene minerales asociados a Óxidos y a Sulfuros pero con menor proporción, y la Zona de Sulfuros “S” principalmente con minerales asociados a Sulfuros.

Las muestras que se enviaron a CHEMEX, además del ensayo de lixiviación Rápida, también se les realizó el análisis químico por absorción atómica a diferentes elementos como el Cobre (Cu), Hierro (Fe), Aluminio (Al) y Potasio (K), con el fin de observar su comportamiento.

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN RÁPIDA

4.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN RÁPIDA PARA LOS CUATRO SECTORES ESTUDIADOS EN EL YACIMIENTO ANGOSTURA

Debido a que las 381 muestras enviadas a CHEMEX para la realización del ensayo de Lixiviación Rápida fueron tomadas de cuatro sectores diferentes del yacimiento de Angostura, se realizó un análisis independiente de las muestras de cada sector para observar el comportamiento del mineral hacia la cianuración y comparar los índices de recuperación de oro de dichos sectores.

Para este análisis se clasificaron las muestras según el sector de donde provenían con el fin de realizar las gráficas de recuperación de oro vs. contenido de azufre, para cada uno de los sectores. Los cuatro sectores que se analizaron fueron:

- a. La Alta: AL
- b. Quebrada El Pozo: QPO
- c. El Silencio: SI
- d. Veta de Barro Este: VBE

En las Tablas 2, 3, 4 y 5 se pueden observar los resultados de los ensayos realizados a las muestras enviadas a CHEMEX, cada una contiene 10 columnas donde se observa el "POZO" que se refiere al pozo de perforación de donde proviene cada muestra, el "# MUESTRA" que es la identificación que la empresa le asigna internamente a cada muestra, el "Au(gT)" que es el oro que contiene cada muestra en gramos por tonelada, el "Au-AA(gT)" que es el oro leído después del ensayo de lixiviación rápida por medio de absorción atómica, el "%REC" que es el porcentaje de recuperación de oro obtenido después del ensayo de lixiviación rápida y las columnas restantes muestran los porcentajes de azufre (S), cobre (Cu), aluminio (Al), hierro (Fe) y potasio (K) que contiene cada una de las muestras.

Las filas de las Tablas 2, 3, 4 y 5 se encuentran en orden ascendente según el porcentaje de azufre que contiene cada una de las muestras. Con estos resultados se realizaron las gráficas de Recuperación de Oro vs. Contenido de Azufre de los sectores de LA ALTA, QUEBRADA EL POZO, EL SILENCIO y VETA DE BARRO ESTE respectivamente. En las Figuras 15, 16, 17 y 18 se muestra su respuesta a la cianuración y la relación que existe entre la cantidad de Azufre y el porcentaje de oro recuperado para cada sector.

El porcentaje de recuperación de las muestras se calculo con los datos de “Au (gT)” y “Au-AA (gT)” de la siguiente forma:

$\%REC = Au-AA (gT) * 100 / Au (gT)$, para cada una de las muestras analizadas.

Las Figuras 15, 16, 17 y 18 muestran las graficas de recuperación de oro vs. contenido de azufre, comparado con el contenido de hierro de cada muestra, para analizar el efecto que este elemento pueda causar en el porcentaje de recuperación de oro. Por razones internas de la GREYSTAR RESOURCES LTD. en la serie de recuperación de oro se traza una tendencia logarítmica para analizar su comportamiento con respecto al contenido de azufre de cada muestra.

4.1.1 La Alta (AL)

Tabla 2. Resultados del ensayo de lixiviación rápida para el sector de LA ALTA, utilizados para la elaboración de la Figura 15.

POZO	# MUESTRA	Au(gT)	Au-AA (gT)	%REC	% S	% Cu	% Al	% Fe	% K
AL06-06	B691433	0,92	0,07	7,58	0,74	0,00	68,50	12,70	41,70
AL06-05	B691428	2,63	2,11	80,23	0,75	0,02	77,10	43,30	51,90
AL05-25	B691374	0,77	0,18	23,38	0,84	0,00	78,50	21,10	48,80
AL05-25	B691384	0,57	0,13	22,93	1,20	0,01	69,07	20,53	40,56
AL05-25	B691387	1,29	0,41	31,91	1,42	0,00	62,50	21,20	30,30
AL06-06	B691434	0,62	0,22	35,52	1,44	0,00	72,77	20,36	36,54
AL05-25	B691383	0,62	0,18	28,94	1,55	0,01	65,10	21,00	36,15
AL06-05	B284107	0,64	0,03	4,69	1,56	0,01	45,20	20,70	19,60
AL05-25	B691376	0,57	0,1	17,67	1,61	0,01	86,00	25,30	44,20
AL06-07	B691446	1,14	0,31	27,30	1,66	0,00	71,93	21,71	37,00
AL06-09	B691470	0,74	0,21	28,30	1,71	0,00	73,90	22,80	48,90
AL05-25	B691394	1,61	0,39	24,30	1,76	0,00	67,40	21,50	39,50
AL05-25	B691395	0,74	0,08	10,80	1,78	0,00	71,10	21,60	33,80
AL06-06	B691431	9,30	0,7	7,53	1,97	0,02	59,60	20,70	37,00
AL05-25	B691389	1,10	0,32	29,09	1,98	0,00	65,80	17,40	31,80
AL06-07	B691456	0,54	0,25	46,64	1,98	0,03	74,20	23,80	40,60
AL06-07	B691457	0,52	0,14	27,13	2,05	0,00	71,50	25,10	36,80
AL05-25	B691375	2,39	0,14	5,86	2,09	0,00	80,40	28,70	39,20
AL05-25	B691370	0,59	0,46	78,23	2,10	0,02	88,00	30,70	46,40
AL06-09	B691461	0,76	0,53	69,46	2,16	0,01	72,70	25,30	54,60
AL05-25	B691373	0,82	0,15	18,20	2,18	0,00	80,53	20,67	36,83
AL06-04	B691425	0,51	0,15	29,39	2,23	0,00	74,86	24,69	34,54
AL06-04	B691418	0,60	0,24	39,72	2,33	0,00	71,73	26,63	45,28
AL06-07	B691447	3,55	0,59	16,62	2,41	0,01	53,80	26,70	24,70
AL05-25	B691385	1,00	0,18	18,05	2,45	0,01	67,60	25,10	32,20
AL06-04	B284083	2,15	0,39	18,14	2,46	0,37	46,30	72,00	12,90
AL05-25	B691371	7,57	0,65	8,59	2,59	0,00	73,50	29,60	35,20
AL05-25	B691399	0,64	0,21	32,85	2,61	0,03	75,50	30,10	37,43
AL05-25	B691393	0,65	0,27	41,80	2,74	0,01	79,60	28,60	43,30
AL06-07	B691453	9,46	3,77	39,85	2,79	0,19	70,50	30,80	33,30
AL05-25	B691369	2,13	0,44	20,66	2,87	0,01	66,90	32,00	35,80
AL05-25	B691670	1,29	0,1	7,78	2,95	0,02	67,00	20,15	33,05
AL05-25	B691402	0,65	0,4	61,35	2,98	0,04	68,90	30,90	32,60
AL06-07	B691442	1,17	0,71	60,94	3,02	0,01	50,30	17,00	21,50
AL06-03	B691410	0,66	0,2	30,35	3,07	0,01	60,60	33,60	28,10
AL05-25	B691391	1,31	0,36	27,53	3,11	0,01	70,91	20,69	31,54
AL06-07	B691449	4,33	0,65	15,01	3,12	0,00	59,00	30,30	27,20
AL06-04	B691473	1,02	0,51	50,25	3,15	0,00	76,70	36,20	40,90
AL06-07	B691441	0,95	0,26	27,40	3,16	0,01	43,96	26,44	20,25
AL06-04	B691423	0,51	0,17	33,60	3,28	0,00	82,90	36,00	41,10

AL05-25	B691377	0,98	0,09	9,14	3,32	0,01	77,60	36,67	37,90
AL05-25	B691379	1,09	0,23	21,16	3,34	0,02	80,50	38,45	42,05
AL05-25	B691368	0,86	0,15	17,52	3,34	0,01	71,00	35,20	37,50
AL06-09	B691417	1,02	0,26	25,62	3,37	0,00	78,40	33,40	36,40
AL06-09	B691465	2,38	0,26	10,92	3,40	0,02	64,40	23,50	24,80
AL05-25	B691380	2,26	0,34	15,02	3,41	0,00	43,32	21,57	17,39
AL06-07	B691452	2,30	0,43	18,74	3,50	0,01	63,20	35,35	31,55
AL06-09	B691463	1,16	0,1	8,66	3,54	0,00	71,60	34,50	34,40
AL05-25	B691404	0,69	0,31	45,14	3,56	0,02	70,30	36,43	33,13
AL06-09	B691472	1,62	0,71	43,83	3,57	0,00	64,50	36,40	30,50
AL06-01	B691406	0,94	0,5	52,97	3,62	0,01	70,50	38,90	39,20
AL05-25	B691403	1,62	0,64	39,51	3,79	0,04	52,80	38,90	26,10
AL06-04	B691424	2,33	0,39	16,74	3,79	0,70	52,90	33,10	23,50
AL06-04	B691416	0,54	0,14	26,10	3,88	0,01	78,30	39,05	37,85
AL06-07	B691445	2,96	0,54	18,24	4,06	0,00	66,00	33,10	37,80
AL06-04	B691426	2,86	0,76	26,57	4,27	0,08	59,70	41,30	26,30
AL05-25	B691516	3,13	0,57	18,21	4,29	0,02	57,80	19,80	24,70
AL06-07	B691454	2,31	0,92	39,83	4,56	0,04	60,50	43,50	28,90
AL06-07	B691448	17,25	3,54	20,52	4,59	0,05	53,60	42,60	24,60
AL06-09	B691468	0,61	0,16	26,38	4,83	0,02	60,03	35,44	28,16
AL06-04	B691415	1,05	0,23	22,01	4,92	0,01	66,20	39,30	26,70
AL06-04	B691421	1,69	0,11	6,53	5,00	0,00	64,90	46,30	27,70
AL05-25	B284057	0,67	0,03	4,48	5,04	0,06	63,99	22,05	29,39
AL06-09	B691467	0,52	0,14	27,13	5,07	0,01	56,70	49,60	26,50
AL05-25	B691392	8,04	2,49	30,97	5,10	0,21	54,00	36,80	23,10
AL05-25	B691378	15,65	1,28	8,18	5,31	0,68	57,20	47,40	26,00
AL06-07	B691443	2,90	0,94	32,41	5,70	0,02	65,60	52,40	31,70
AL05-25	B691398	5,06	2,17	42,89	5,73	0,20	59,70	43,30	26,80
AL05-25	B691381	2,26	0,58	25,66	5,84	0,01	37,10	36,30	13,80
AL05-25	B691401	1,81	0,7	38,67	5,88	0,02	77,40	57,50	34,70
AL06-04	B691427	3,34	1,38	41,32	6,06	0,01	59,90	53,90	25,30
AL05-25	B691396	3,15	0,69	21,90	6,45	0,05	66,30	38,00	28,70
AL06-09	B691471	9,37	1	10,67	6,61	0,02	58,60	50,80	25,70
AL06-07	B691451	7,03	0,82	11,66	6,97	0,01	43,30	39,40	15,20
AL06-09	B691464	7,27	0,38	5,23	7,12	0,01	39,30	54,20	10,80
AL06-01	B691407	0,70	0,28	40,17	8,31	0,01	70,60	82,70	34,10
AL06-07	B691455	3,80	2,04	53,68	8,60	0,03	43,40	79,10	18,40
AL06-03	B691408	8,72	0,61	7,00	8,75	0,58	55,00	79,70	21,30
AL05-25	B691388	13,30	2,24	16,84	9,56	0,04	53,60	90,70	20,70
AL06-04	B691422	7,95	1,44	18,11	9,69	0,02	35,30	73,60	10,80
AL06-09	B691466	8,74	3,27	37,41	10,00	0,37	51,50	93,90	21,50

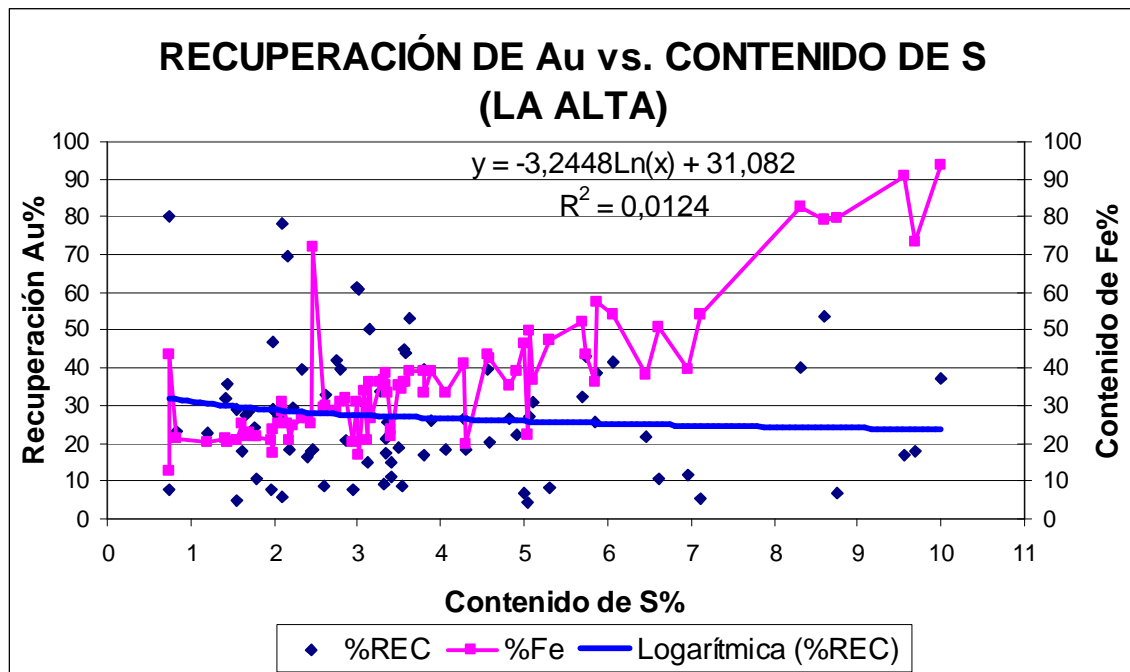


Figura 15. Recuperación de oro vs. Contenido de azufre para el sector de LA ALTA

En la Figura 15 se puede observar que los datos de recuperación de oro se encuentran muy dispersos y por lo tanto la línea de tendencia logarítmica tiene un coeficiente de correlación prácticamente nulo, $R^2 = 0,0124$ lo que indica que no existe una tendencia clara en la recuperación de oro a medida que aumenta la cantidad de azufre, sin embargo las muestras que obtuvieron mas altos resultados de recuperación de oro tenían porcentajes de azufre menores a 4%.

El porcentaje de hierro aumenta en la misma medida que lo hace el contenido de azufre en cada una de las muestras, marcando una tendencia creciente, esto concuerda con los estudios realizados por DIAZ SALAZAR, L y GUERRERO ARIAS, M [5], quienes encontraron que la pirita es el principal sulfuro de hierro existente en el yacimiento lo que lo hace altamente refractario.

Solo el 10% de las muestras analizadas del sector de LA ALTA superan el 50% de recuperación de oro, lo que indica una alta refractariedad.

4.1.2 Quebrada El Pozo (QPO)

Tabla 3. Resultados del ensayo de lixiviación rápida para el sector de QUEBRADA EL POZO, utilizados para la elaboración de la Figura 16

POZO	# MUESTRA	Au(gT)	Au-AA (gT)	%REC	% S	% Cu	% Al	% Fe	% K
QPO06-03	B691216	0,57	0,58	100,00	1,11	0,01	10,70	35,30	0,31
QPO06-01	B691204	0,51	0,33	65,09	1,15	0,01	71,00	25,80	44,20
QPO06-02	B691210	0,53	0,18	34,05	1,54	0,00	77,13	22,53	51,77
QPO06-02	B691211	0,52	0,14	26,89	1,86	0,02	73,57	24,10	40,00
QPO06-02	B691215	0,67	0,20	30,01	2,12	0,00	69,31	25,29	36,90
QPO06-02	B691214	0,55	0,16	29,13	2,51	0,01	76,26	28,01	43,71
QPO06-05	B691219	0,53	0,21	39,87	2,51	0,00	65,27	12,20	28,07
QPO06-05	B691224	0,70	0,43	61,74	2,75	0,01	70,48	28,85	33,67
QPO06-02	B691209	0,68	0,28	41,42	2,82	0,01	81,20	32,70	52,10
QPO06-05	B691223	1,45	0,52	35,99	2,94	0,00	71,20	24,30	31,50
QPO06-02	B691212	1,00	0,19	18,94	3,14	0,01	68,93	24,23	34,92
QPO06-01	B691202	0,86	0,10	11,64	3,35	0,02	56,60	30,50	22,80
QPO06-01	B691203	2,62	1,09	41,62	3,68	0,01	80,10	39,51	34,29
QPO06-03	B691217	1,78	1,14	63,94	3,81	0,00	73,19	41,73	40,25
QPO06-02	B691208	0,77	0,20	25,84	3,91	0,08	64,20	42,10	30,40
QPO06-01	B691201	39,80	29,90	75,13	4,21	0,00	29,70	41,50	13,70
QPO06-05	B691221	0,85	0,18	21,13	4,84	0,01	57,38	20,34	23,94
QPO06-05	B691222	3,40	0,85	25,00	7,23	0,03	57,65	45,16	21,22

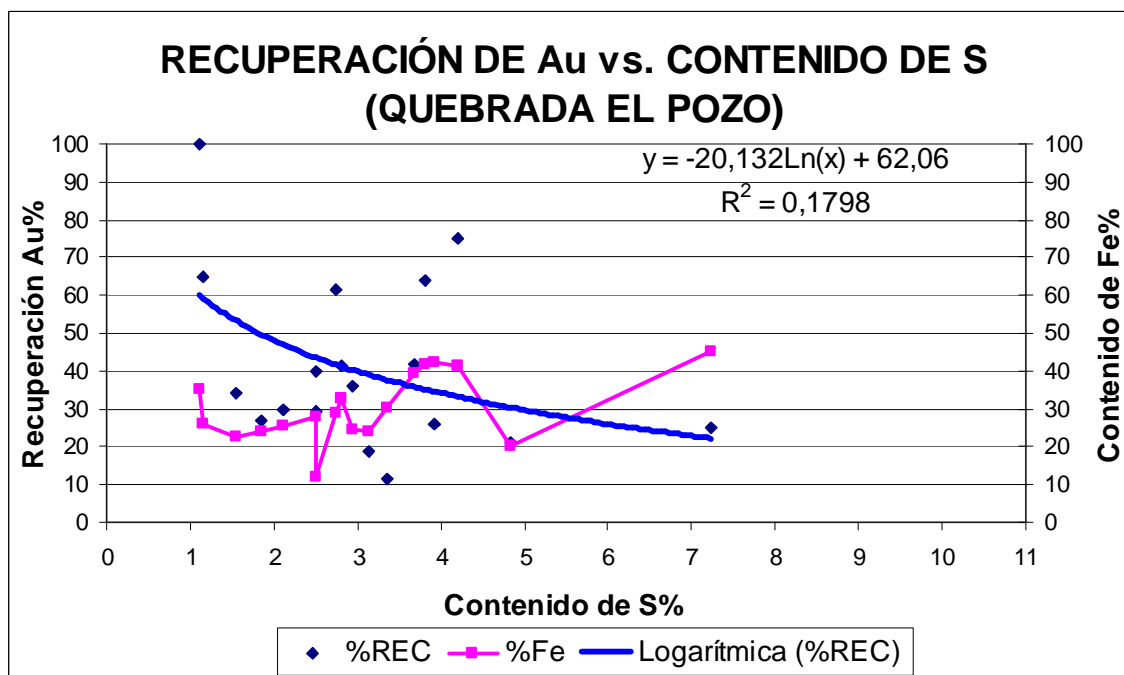


Figura 16. Recuperación de oro vs. Contenido de azufre para el sector de QUEBRADA EL POZO

En la Figura 16 se puede observar que los datos de recuperación de oro se encuentran muy dispersos y por lo tanto la línea de tendencia logarítmica tiene un coeficiente de correlación prácticamente nulo, $R^2 = 0,1798$ lo que indica que no existe una tendencia clara en la recuperación de oro a medida que aumenta la cantidad de azufre, sin embargo las muestras que obtuvieron mas altos resultados de recuperación de oro tenían porcentajes de azufre menores a 4%.

El porcentaje de hierro no supera el 50% en ninguna muestra de QUEBRADA EL POZO y no describe una tendencia clara al aumentar el contenido de azufre, por lo tanto la presencia de pirita y de sulfuros de hierro podría ser menor que en LA ALTA. EL 25% de las muestras analizadas del sector de QUEBRADA EL POZO superan el 50% de recuperación de oro.

4.1.3 El Silencio (SI)

Tabla 4. Resultados del ensayo de lixiviación rápida para el sector de EL SILENCIO, utilizados para la elaboración de la Figura 17.

POZO	# MUESTRA	Au(gT)	Au-AA (gT)	%REC	% S	% Cu	% Al	% Fe	% K
SI05-19	B284067	0,70	0,08	11,44	0,66	0,00	75,50	0,98	61,90
SI05-21	B284068	0,70	0,13	18,54	0,79	0,01	56,50	30,40	25,50
SI05-10	B691557	0,54	0,22	40,74	0,80	0,02	72,10	11,60	51,10
SI05-19	B284058	0,65	0,51	78,46	0,84	0,01	59,60	15,60	33,10
SI05-07	B691533	0,70	0,38	54,29	0,88	0,01	90,00	23,50	47,40
SI05-16	B691627	0,65	0,71	100,00	0,89	0,01	0,94	11,70	0,25
SI05-21	B284066	2,03	0,14	6,90	0,89	0,01	78,50	39,20	39,80
SI05-17	B691652	2,36	0,34	14,41	0,94	0,00	64,00	11,10	53,70
SI05-20	B284095	0,32	0,03	9,49	0,97	0,01	62,89	13,60	39,31
SI05-10	B691555	0,57	0,24	42,11	1,12	0,01	80,75	24,25	43,35
SI05-17	B691656	0,93	0,15	16,13	1,14	0,01	71,40	14,20	48,90
SI05-10	B691558	1,24	0,19	15,32	1,20	0,01	68,80	14,30	44,80
SI05-07	B691531	0,67	0,32	47,76	1,29	0,03	78,60	21,90	46,90
SI05-10	B691556	0,60	0,10	16,67	1,34	0,02	71,90	16,30	43,90
SI05-10	B691559	0,71	0,21	29,68	1,35	0,00	71,53	15,90	42,08
SI05-20	B284097	0,93	0,13	13,92	1,37	0,01	73,27	19,42	39,38
SI05-19	B284064	0,63	0,09	14,35	1,40	0,01	71,27	16,70	34,62
SI05-16	B691618	0,87	0,09	10,39	1,41	0,02	77,40	17,35	43,10
SI05-18	B691695	0,71	0,10	14,00	1,44	0,03	60,47	15,30	37,83

SI05-17	B691651	1,08	0,08	7,41	1,48	0,01	63,10	17,00	51,00
SI05-12	B691591	1,82	0,14	7,69	1,52	0,04	72,60	17,10	36,00
SI05-07	B691537	0,67	0,32	47,76	1,56	0,01	78,10	18,60	46,30
SI05-17	B691650	2,19	0,14	6,39	1,60	0,01	73,40	18,50	49,50
SI05-16	B691625	0,50	0,10	20,00	1,62	0,00	68,40	18,60	32,90
SI05-16	B691614	0,63	0,16	25,40	1,66	0,01	80,80	22,50	49,50
SI05-04	B691504	0,95	0,39	41,05	1,69	0,09	67,90	18,60	29,10
SI05-16	B691617	0,84	0,17	20,36	1,71	0,01	85,95	21,40	41,30
SI05-04	B691506	0,81	0,15	18,47	1,71	0,01	68,25	18,42	32,27
SI05-03	B284089	1,01	0,12	11,88	1,73	0,08	72,94	64,28	40,76
SI05-16	B691615	0,61	0,11	18,03	1,82	0,02	75,80	20,20	48,30
SI05-20	B284093	0,66	0,05	7,54	1,87	0,01	61,90	19,30	29,40
SI05-20	B691429	0,64	0,21	32,86	1,89	0,00	68,60	18,00	35,70
SI05-16	B691622	3,71	0,33	8,89	1,90	0,05	61,45	20,60	29,40
SI05-18	B691694	1,01	0,14	13,93	1,91	0,02	58,60	20,70	28,40
SI05-18	B691691	1,02	0,27	26,47	1,92	0,01	106,50	31,90	40,30
SI05-18	B691386	1,29	0,40	31,13	1,92	0,01	66,90	27,10	41,30
SI05-19	B284060	0,72	0,22	30,53	2,07	0,06	81,84	25,67	49,06
SI05-03	B691499	0,92	0,40	43,48	2,10	0,01	56,10	23,57	29,23
SI05-17	B691660	1,12	0,15	13,39	2,19	0,02	64,00	21,90	58,60
SI05-12	B691574	0,81	0,09	11,11	2,21	0,01	62,74	25,04	24,60
SI05-20	B284084	1,24	0,31	25,10	2,24	0,12	69,60	27,70	36,70
SI05-04	B691515	0,50	0,32	63,85	2,36	0,01	57,45	23,26	28,80
SI05-12	B691588	2,92	0,35	11,99	2,36	0,02	70,90	24,70	36,20
SI05-20	B284101	0,74	0,12	16,28	2,36	0,02	63,40	27,00	36,90
SI05-12	B691503	1,23	0,24	19,51	2,37	0,12	91,60	51,60	40,70
SI05-20	B284091	1,32	0,25	18,92	2,37	0,10	68,97	26,02	40,28
SI05-17	B691643	0,81	0,06	7,41	2,39	0,05	84,10	31,40	53,00
SI05-20	B284105	1,38	0,10	7,23	2,40	0,03	64,35	21,80	42,40
SI05-07	B691536	1,89	1,40	74,07	2,41	0,01	76,00	30,50	49,43
SI05-20	B284103	0,55	0,05	9,07	2,41	0,00	69,80	35,70	40,80
SI05-20	B284085	0,67	0,11	16,39	2,42	0,09	69,20	27,15	38,35
SI05-17	B691639	0,54	0,19	35,07	2,42	0,06	71,09	33,58	38,66
SI05-16	B691620	7,72	1,21	15,67	2,47	0,01	80,50	34,00	44,00
SI05-21	B284116	2,14	0,31	14,49	2,48	0,01	72,10	28,20	47,60
SI05-12	B691572	1,07	0,10	9,39	2,54	0,00	53,90	27,25	20,50
SI05-17	B691647	0,64	0,06	9,38	2,57	0,01	77,20	31,50	49,50
SI05-16	B691613	1,94	0,87	44,85	2,59	0,02	94,00	28,10	30,40
SI05-16	B691621	1,20	0,11	9,16	2,59	0,07	69,69	29,56	36,05
SI05-20	B284082	1,03	0,35	34,15	2,60	0,12	68,40	28,10	32,70
SI05-20	B284087	0,83	0,26	31,16	2,62	0,09	66,93	28,57	32,33
SI05-16	B691611	0,67	0,15	22,41	2,74	0,03	67,69	29,77	32,65
SI05-16	B691623	2,74	0,38	13,87	2,75	0,02	50,30	27,50	23,20
SI05-20	B284104	1,05	0,30	28,57	2,75	0,01	73,00	36,50	41,00
SI05-20	B284099	1,25	0,20	15,97	2,75	0,01	70,98	35,82	39,29
SI05-20	B284094	6,52	0,37	5,67	2,82	0,02	53,20	29,80	26,40
SI05-20	B284088	2,11	0,61	28,91	2,85	0,16	70,90	31,70	38,50
SI05-20	B284092	1,70	0,25	14,71	2,89	0,04	45,40	29,60	21,90
SI05-12	B691583	0,76	0,12	15,70	2,91	0,04	77,12	31,95	49,37

SI05-17	B691655	2,59	0,20	7,72	2,92	0,02	62,20	27,85	32,75
SI05-21	B284114	1,71	0,29	17,01	2,92	0,02	75,60	30,40	42,30
SI05-07	B691532	0,93	0,25	26,88	2,94	0,06	83,70	36,30	43,70
SI05-17	B691641	6,06	1,09	17,99	2,99	0,18	59,30	35,50	30,40
SI05-12	B691573	2,91	0,15	5,15	3,00	0,01	50,40	33,40	17,00
SI05-04	B691514	1,30	0,27	20,77	3,01	0,02	47,70	27,30	22,40
SI05-12	B691582	0,80	0,33	41,25	3,01	0,03	119,50	36,90	36,60
SI05-04	B691511	0,59	0,24	40,57	3,05	0,01	61,31	30,15	28,56
SI05-04	B691390	3,13	0,81	25,88	3,06	0,00	75,30	38,20	27,50
SI05-19	B284117	0,70	0,17	24,25	3,06	0,01	73,70	11,20	60,60
SI05-03	B691534	0,64	0,27	42,19	3,09	0,02	64,00	46,00	32,90
SI05-03	B691500	0,67	0,40	59,70	3,09	0,02	66,37	48,97	34,37
SI05-10	B691564	0,82	0,17	20,82	3,11	0,02	69,72	32,09	37,91
SI05-12	B691568	1,12	0,13	11,59	3,14	0,04	48,45	29,86	14,40
SI05-12	B691575	1,80	0,34	18,89	3,14	0,01	64,80	33,20	30,80
SI05-20	B284090	13,75	1,49	10,84	3,15	0,15	72,10	34,80	39,50
SI05-10	B691560	0,61	0,24	39,34	3,18	0,01	71,90	33,80	40,90
SI05-20	B284086	2,42	0,53	21,90	3,19	0,33	45,30	29,90	20,20
SI05-19	B284065	7,01	0,63	8,99	3,22	0,19	66,53	31,90	30,65
SI05-04	B691520	15,60	9,65	61,86	3,31	0,00	66,70	31,30	37,80
SI05-12	B691593	1,47	0,55	37,41	3,33	0,01	75,70	36,45	39,75
SI05-18	B691686	0,68	0,12	17,62	3,37	0,00	72,90	30,70	36,60
SI05-17	B691644	1,20	0,11	9,17	3,38	0,05	71,80	34,80	37,20
SI05-18	B691669	5,87	1,20	20,44	3,40	0,13	48,20	26,00	20,40
SI05-20	B284081	0,94	0,27	28,82	3,42	0,13	65,35	34,23	31,92
SI05-17	B691653	2,43	0,09	3,70	3,48	0,02	79,80	40,20	41,00
SI05-19	B284059	12,35	6,29	50,93	3,48	0,01	49,00	43,40	27,30
SI05-04	B691510	0,80	0,17	21,32	3,53	0,03	68,99	32,50	32,40
SI05-04	B691507	0,90	0,13	14,52	3,55	0,02	71,85	34,03	35,98
SI05-04	B691508	2,44	0,64	26,23	3,57	0,01	71,60	31,80	37,80
SI05-18	B691687	8,14	2,39	29,36	3,57	0,02	63,10	33,70	33,00
SI05-17	B691640	3,79	0,83	21,93	3,58	0,26	60,12	38,23	31,00
SI05-10	B691561	0,75	0,22	29,26	3,59	0,01	69,66	33,43	37,09
SI05-19	B284113	2,03	0,57	28,08	3,65	0,03	72,20	12,20	59,60
SI05-12	B691586	0,79	0,13	16,52	3,68	0,03	77,76	41,05	45,68
SI05-18	B691693	1,00	0,17	16,94	3,70	0,02	55,95	35,00	23,05
SI05-16	B691626	3,55	2,48	69,81	3,74	0,02	0,61	33,40	0,26
SI05-18	B691668	1,28	0,48	37,50	3,76	0,01	45,80	30,40	19,80
SI05-04	B691517	0,95	0,23	24,21	3,80	0,02	63,00	35,40	32,40
SI05-09	B691545	1,15	0,56	48,53	3,84	0,01	65,88	35,34	35,92
SI05-04	B691519	0,65	0,25	38,44	3,86	0,01	77,24	37,61	42,38
SI05-17	B691645	3,04	0,66	21,71	3,86	0,33	63,90	37,20	31,50
SI05-12	B691579	0,63	0,12	19,14	3,87	0,05	65,30	33,72	28,77
SI05-10	B691554	0,72	0,28	38,83	3,89	0,01	68,95	40,76	33,95
SI05-07	B691535	0,61	0,25	40,98	3,89	0,02	73,20	39,60	37,40
SI05-12	B691594	0,61	0,15	24,57	3,90	0,03	69,76	43,39	42,68
SI05-18	B691684	0,73	0,09	12,31	3,93	0,02	67,40	39,00	39,50
SI05-18	B691672	2,12	0,44	20,75	3,93	0,01	56,70	26,70	23,40
SI05-18	B691681	0,81	0,09	11,14	3,98	0,01	91,70	40,80	50,20

SI05-09	B691543	0,51	0,28	54,90	4,00	0,01	73,30	40,20	40,60
SI05-03	B691478	0,81	0,29	35,73	4,07	0,01	70,17	44,27	35,00
SI05-12	B691291	0,98	0,34	34,69	4,09	0,07	106,00	50,20	43,10
SI05-03	B691493	0,60	0,32	53,33	4,13	0,01	77,85	57,05	40,55
SI05-12	B691570	0,86	0,09	10,47	4,14	0,05	90,20	36,80	25,20
SI05-12	B691578	1,43	0,23	16,13	4,19	0,04	55,22	37,08	19,68
SI05-07	B691487	0,64	0,34	53,13	4,25	0,03	72,40	35,80	37,80
SI05-12	B691569	5,63	0,45	7,99	4,31	0,01	60,60	44,50	23,70
SI05-10	B691563	2,60	0,46	17,69	4,34	0,03	75,00	38,40	31,80
SI05-03	B691482	0,67	0,42	62,69	4,35	0,02	56,80	31,50	27,80
SI05-18	B691679	1,37	0,03	2,20	4,36	0,00	57,70	27,90	20,50
SI05-12	B691577	2,83	0,54	19,08	4,41	0,01	33,40	40,40	12,40
SI05-16	B691612	3,60	0,70	19,44	4,43	0,71	75,30	44,50	35,70
SI05-18	B691680	1,79	0,14	7,83	4,46	0,01	70,48	41,19	32,37
SI05-04	B691505	0,69	0,23	33,15	4,51	0,02	69,77	44,71	33,16
SI05-16	B691616	2,79	0,25	8,96	4,55	0,05	67,20	46,20	32,10
SI05-16	B691604	0,63	0,14	22,22	4,58	0,22	71,80	42,80	45,90
SI05-12	B691659	0,75	0,12	16,00	4,63	0,04	64,00	35,90	34,10
SI05-18	B691683	2,20	0,69	31,36	4,65	0,01	53,90	41,40	26,50
SI05-04	B691509	0,71	0,11	15,49	4,68	0,07	67,20	40,50	31,40
SI05-04	B691597	1,23	0,79	64,23	4,68	0,00	55,90	25,30	23,60
SI05-18	B691673	5,82	0,12	2,06	4,74	0,00	52,20	41,80	23,70
SI05-04	B691523	0,97	0,41	42,27	4,77	0,01	76,10	46,55	41,75
SI05-12	B691587	5,44	0,47	8,64	4,82	0,18	60,20	45,50	30,40
SI05-18	B691682	1,15	0,11	9,53	4,89	0,02	69,26	43,42	35,82
SI05-12	B691596	0,58	0,21	36,24	4,92	0,01	81,20	51,21	50,05
SI05-17	B691340	1,88	0,24	12,77	4,94	0,02	63,00	20,10	32,20
SI05-04	B691502	0,89	0,16	18,06	4,97	0,10	49,69	48,03	18,66
SI05-12	B691571	7,05	0,65	9,22	4,98	0,07	57,60	47,73	18,88
SI05-16	B691619	0,81	0,09	11,12	4,98	0,02	85,99	58,97	47,13
SI05-18	B691677	0,62	0,07	11,33	5,02	0,01	60,40	38,10	22,40
SI05-18	B691674	1,10	0,03	2,74	5,07	0,00	55,80	46,70	27,00
SI05-19	B284061	1,18	0,29	24,68	5,08	0,03	104,50	47,40	42,40
SI05-12	B691592	0,55	0,11	20,00	5,09	0,00	70,50	49,30	34,70
SI05-03	B691498	2,49	1,09	43,78	5,18	0,01	82,40	55,10	42,30
SI05-16	B691607	0,67	0,24	35,82	5,18	0,03	66,30	51,00	31,80
SI05-03	B691492	3,92	1,66	42,35	5,19	0,02	74,80	59,60	38,20
SI05-03	B691477	0,57	0,09	15,79	5,27	0,03	93,20	54,20	51,80
SI05-17	B691654	6,26	0,42	6,71	5,27	0,02	87,00	40,80	31,60
SI05-20	B284098	7,78	0,48	6,17	5,31	0,07	60,77	57,23	29,15
SI05-20	B284100	3,32	0,29	8,73	5,32	0,17	64,50	55,30	34,40
SI05-17	B691649	0,63	0,08	12,70	5,34	0,01	68,50	54,80	37,90
SI05-12	B691581	0,69	0,12	17,50	5,50	0,02	75,15	49,73	37,12
SI05-04	B691518	20,11	8,47	42,12	5,60	0,01	55,10	50,45	26,80
SI05-09	B691542	0,68	0,21	30,81	5,60	0,14	67,75	53,69	34,27
SI05-12	B691585	2,56	0,18	7,03	5,64	0,07	76,80	55,00	40,80
SI05-12	B691589	10,00	1,61	16,10	5,68	0,02	58,30	52,80	26,90
SI05-20	B284106	9,20	0,49	5,33	5,69	0,04	54,20	53,50	30,80
SI05-20	B691481	1,01	0,64	63,37	5,69	0,01	84,10	24,10	41,70

SI05-03	B691483	1,18	0,68	57,63	5,77	0,02	69,70	58,90	34,30
SI05-03	B691485	1,14	0,63	55,38	5,82	0,02	72,38	78,05	47,43
SI05-12	B691580	1,32	0,22	16,65	5,83	0,30	76,29	52,84	36,67
SI05-12	B691567	4,76	0,45	9,45	5,89	0,14	63,00	60,37	28,76
SI05-16	B691608	0,82	0,19	23,17	5,96	0,10	72,30	60,30	41,20
SI05-10	B691562	9,85	1,03	10,46	5,99	0,01	71,50	55,90	28,70
SI05-03	B691501	0,93	0,39	41,94	6,10	0,06	67,10	57,80	38,10
SI05-03	B691497	0,69	0,22	32,12	6,11	0,01	66,60	62,45	33,25
SI05-04	B691524	1,02	0,29	28,43	6,19	0,08	59,60	54,60	32,60
SI05-03	B691480	0,92	0,43	46,81	6,22	0,03	70,45	68,37	39,89
SI05-18	B691690	2,94	0,38	12,93	6,24	0,01	81,70	59,10	41,00
SI05-18	B691671	1,15	0,24	20,78	6,29	0,21	59,32	53,16	27,30
SI05-19	B284062	0,57	0,16	27,87	6,31	0,01	83,50	65,60	43,70
SI05-03	B691484	1,83	0,98	53,55	6,36	0,02	76,98	67,25	44,30
SI05-18	B691678	2,25	0,05	2,22	6,37	0,00	53,90	46,00	18,10
SI05-18	B691676	1,68	0,16	9,55	6,47	0,01	33,40	56,40	11,60
SI05-17	B691648	4,66	0,68	14,59	6,70	0,01	54,70	64,10	26,70
SI05-03	B691475	0,80	0,23	28,75	6,88	0,01	68,50	66,20	38,50
SI05-21	B284119	2,26	0,62	27,46	6,96	0,02	37,01	63,96	15,88
SI05-09	B691540	0,55	0,18	32,81	7,01	0,14	52,54	68,10	25,43
SI05-09	B691544	6,32	1,89	29,89	7,42	0,02	44,91	56,93	15,53
SI05-17	B691657	8,52	1,17	13,73	7,65	0,02	54,00	69,20	26,80
SI05-03	B691474	0,93	0,25	26,82	7,71	0,10	79,79	76,48	56,72
SI05-16	B691628	0,83	0,11	13,20	7,80	0,01	56,97	74,36	29,18
SI05-18	B691675	0,55	0,07	12,73	7,82	0,02	36,70	67,80	13,00
SI05-21	B284118	6,47	1,20	18,54	8,03	0,03	35,38	81,32	15,74
SI05-03	B691486	8,43	5,18	61,45	8,14	0,00	69,20	84,60	37,00
SI05-03	B691495	0,80	0,32	40,25	8,16	0,02	68,20	81,65	33,00
SI05-09	B691541	4,49	0,73	16,27	8,21	0,24	35,10	76,63	15,85
SI05-12	B691595	1,39	0,58	41,73	8,28	0,00	84,30	85,00	43,60
SI05-03	B691490	3,58	1,64	45,77	8,83	0,13	58,46	85,91	28,47
SI05-03	B691494	2,79	0,94	33,72	8,91	0,01	74,78	97,12	38,96
SI05-16	B691610	0,52	0,06	11,54	9,02	0,02	91,20	88,60	43,10
SI05-17	B691646	2,53	0,66	26,09	9,11	0,11	60,90	88,60	30,80
SI05-16	B691606	0,58	0,06	10,34	9,16	0,07	78,20	89,10	28,90
SI05-03	B691496	4,57	0,92	20,14	9,21	0,18	57,78	100,05	26,13
SI05-21	B284120	5,71	0,58	10,16	9,25	0,04	57,10	85,50	25,60
SI05-03	B691489	0,67	0,32	47,76	9,26	0,04	66,30	89,40	32,50
SI05-21	B284115	1,14	0,13	11,40	9,38	0,06	88,00	82,80	56,80
SI05-03	B691491	1,53	1,01	66,16	9,48	0,03	67,97	98,80	34,17
SI05-18	B691689	1,03	0,17	16,49	9,69	0,04	89,31	116,20	40,88
SI05-04	B691521	2,82	0,64	22,70	9,94	0,03	46,60	85,70	22,20
SI05-03	B691476	3,27	0,60	18,35	10,00	0,07	63,50	110,00	31,90
SI05-12	B691598	2,56	0,86	33,59	10,00	0,02	66,30	88,70	33,40
SI05-16	B691605	0,65	0,09	13,85	10,00	0,02	69,00	109,50	31,60
SI05-16	B691603	0,60	0,26	43,33	10,00	2,67	60,40	92,90	40,40
SI05-18	B691688	4,10	0,12	2,93	10,00	0,06	60,40	114,50	16,60
SI05-19	B284063	19,05	2,18	11,44	10,00	0,13	35,80	107,50	16,00

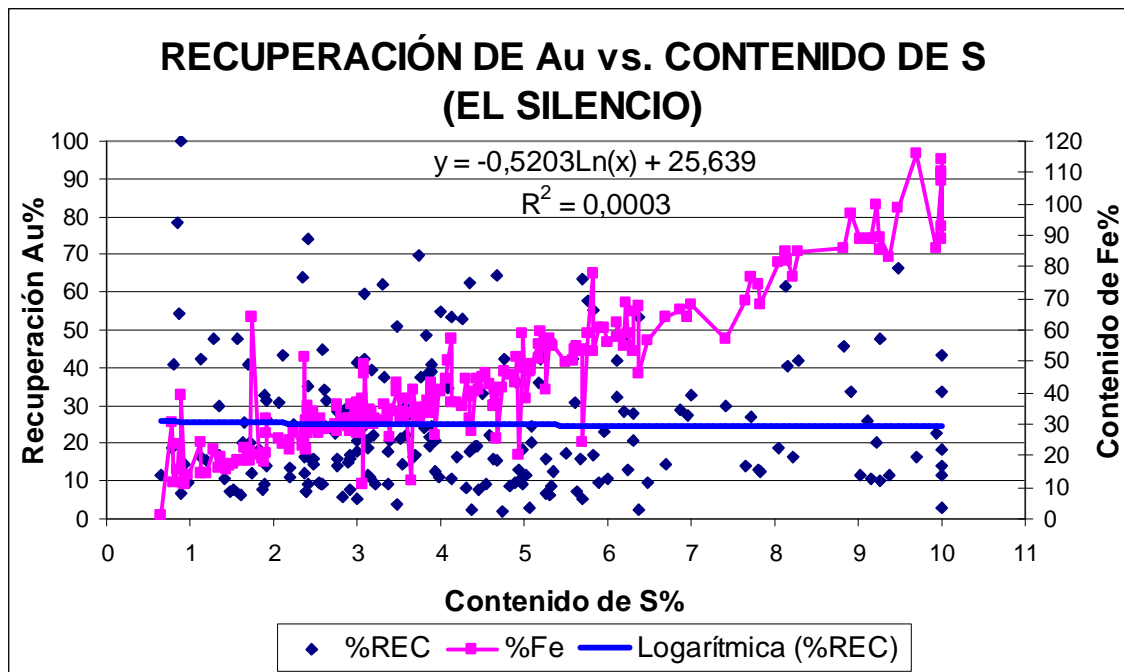


Figura 17. Recuperación de oro vs. Contenido de azufre para el sector EL SILENCIO

El sector de mineralización EL SILENCIO contiene el mayor número de muestras utilizadas para este trabajo, debido a que se tienen suficientes pozos de perforación que pueden ser empleados para este muestreo.

En la Figura 17 se puede observar que los datos de recuperación de oro se encuentran muy dispersos y por lo tanto la línea de tendencia logarítmica tiene un coeficiente de correlación igual a cero, $R^2 = 0,0003$ lo que indica que no existe ninguna tendencia en la recuperación de oro a medida que aumenta la cantidad de azufre.

En la Figura 17 se pueden observar muestras que obtuvieron recuperaciones de oro por encima del 50% con contenidos de azufre mayores al 9% y contenidos de hierro superiores al 70%. Se observan muestras con contenidos de hierro superiores al 100% lo que indica que es el sector con más presencia de pirita analizada hasta el momento y lo cual conlleva a una alta refractariedad [8].

El porcentaje de hierro aumenta en la misma medida que lo hace el contenido de azufre en cada una de las muestras, marcando una tendencia creciente, esto concuerda con los estudios realizados por DIAZ SALAZAR, L y GUERRERO ARIAS, M [5], donde encontraron que la pirita es el principal sulfuro de hierro existente en el yacimiento lo que lo hace altamente refractario.

4.1.4 Veta de Barro Este (VBE)

Tabla 5. Resultados del ensayo de lixiviación rápida para el sector de VETA DE BARRO ESTE, utilizados para la elaboración de la Figura 18.

POZO	# MUESTRA	Au(gT)	Au-AA (gT)	%REC	% S	% Cu	% Al	% Fe	% K
VBE06-07	B691317	0,52	0,13	25,05	0,93	0,00	67,50	18,90	32,60
VBE06-13	B691350	0,62	0,14	22,47	1,32	0,04	72,20	22,40	44,40
VBE06-07	B691309	0,60	0,06	10,00	1,34	0,02	71,70	21,20	35,50
VBE06-01	B691252	0,73	0,30	41,32	1,73	0,01	82,60	21,80	41,50
VBE06-11	B691642	1,88	0,81	43,09	1,74	0,14	65,00	39,70	23,10
VBE06-02	B691269	1,04	0,28	26,92	1,76	0,03	69,40	23,40	53,50
VBE06-01	B691262	0,60	0,29	48,66	1,77	0,00	76,40	23,60	45,50
VBE06-01	B691259	1,69	0,21	12,39	1,78	0,01	67,25	18,05	29,05
VBE06-01	B691251	0,74	0,18	24,42	1,78	0,00	70,41	23,14	39,13
VBE05-02	B691246	1,21	0,24	19,76	1,79	0,00	49,45	18,60	22,85
VBE06-02	B691266	0,76	0,23	30,32	1,84	0,01	69,90	22,55	40,15
VBE06-01	B691255	0,89	0,46	51,76	1,90	0,01	61,60	20,67	27,50
VBE05-01	B691230	0,72	0,16	22,07	1,91	0,00	68,37	20,67	29,82
VBE06-10	B691338	0,63	0,18	28,50	1,96	0,01	37,46	16,66	13,11
VBE06-03	B691296	0,50	0,18	36,07	2,10	0,00	70,20	13,80	31,10
VBE05-01	B691228	3,69	1,09	29,54	2,11	0,00	69,95	17,41	30,64
VBE06-10	B691337	7,71	0,65	8,43	2,18	0,00	35,58	20,20	11,46
VBE06-03	B691300	0,77	0,21	27,17	2,22	0,01	82,10	29,40	38,80
VBE06-10	B691333	2,34	0,46	19,69	2,28	0,01	49,74	23,26	21,85
VBE05-01	B691235	0,66	0,15	22,60	2,29	0,16	67,71	30,55	37,23
VBE06-01	B691258	1,19	0,42	35,44	2,34	0,01	75,20	19,80	32,10
VBE05-01	B691225	3,11	1,12	35,96	2,37	0,01	68,02	28,97	33,86
VBE06-01	B691248	0,85	0,22	25,76	2,39	0,01	71,12	27,65	36,65
VBE06-01	B691254	0,71	0,22	31,12	2,46	0,01	61,40	25,30	27,40
VBE05-01	B691232	1,00	0,19	19,02	2,46	0,00	70,75	26,65	39,65
VBE06-01	B691256	1,78	0,38	21,33	2,47	0,01	57,06	22,15	24,11
VBE05-01	B691226	0,61	0,17	27,88	2,57	0,00	78,66	28,81	36,76
VBE06-07	B691308	0,84	0,15	17,77	2,58	0,14	60,60	28,60	29,60
VBE06-01	B691253	0,61	0,18	29,70	2,63	0,00	51,90	25,50	22,30
VBE06-03	B691299	1,03	0,34	33,12	2,73	0,06	33,82	25,43	13,48
VBE05-01	B691229	6,03	2,15	35,66	2,75	0,00	70,40	27,70	32,30
VBE06-11	B691342	1,57	0,23	14,65	2,92	0,13	54,10	32,30	22,10

VBE06-02	B691273	0,71	0,24	33,61	3,02	0,01	59,46	27,88	26,42
VBE05-02	B691244	0,67	0,23	34,17	3,13	0,01	69,85	32,92	44,87
VBE05-01	B691237	1,25	0,24	19,28	3,17	0,12	72,30	39,20	38,00
VBE06-01	B691250	21,70	7,48	34,47	3,19	0,01	66,20	33,80	31,30
VBE06-02	B691270	3,12	0,98	31,41	3,19	0,04	54,40	32,80	26,50
VBE05-01	B691236	2,09	0,45	21,56	3,25	0,02	56,83	26,77	24,84
VBE06-03	B691294	0,70	0,14	20,03	3,28	0,02	83,86	33,89	41,20
VBE05-01	B691231	2,28	0,96	42,08	3,51	0,02	61,19	34,23	27,41
VBE05-01	B691234	2,14	0,69	32,28	3,69	0,14	62,18	36,83	28,39
VBE06-09	B691325	0,81	0,12	14,80	3,70	0,00	77,80	38,90	41,00
VBE05-02	B691245	0,56	0,15	26,74	3,72	0,02	88,40	42,70	54,00
VBE06-01	B691260	1,40	0,47	33,59	3,74	0,02	79,06	36,07	35,63
VBE06-08	B691320	0,52	0,07	13,57	3,81	0,00	83,10	35,40	41,50
VBE06-14	B691352	0,71	0,17	23,88	3,88	0,00	31,40	30,50	12,20
VBE06-08	B691319	2,60	0,71	27,30	4,06	0,02	72,27	48,91	37,21
VBE06-01	B691261	5,24	2,71	51,72	4,23	0,01	44,30	40,90	18,80
VBE06-07	B691306	3,02	0,86	28,50	4,28	0,49	54,51	36,87	23,15
VBE06-02	B691268	8,87	1,62	18,26	4,56	0,03	63,80	46,90	28,40
VBE06-07	B691312	2,08	0,70	33,65	4,64	0,28	65,10	45,30	31,20
VBE06-02	B691267	0,65	0,15	23,15	4,85	0,02	55,68	46,11	25,33
VBE06-03	B691584	0,98	0,22	22,45	5,07	0,01	67,30	32,00	31,10
VBE06-07	B691305	5,23	0,68	13,00	5,09	0,59	48,10	47,70	22,50
VBE06-02	B691272	9,46	1,08	11,42	5,12	0,05	36,90	40,93	14,08
VBE06-07	B691307	3,50	0,96	27,43	6,54	0,30	55,19	56,18	21,65
VBE05-01	B691227	5,42	2,76	50,90	6,70	0,02	62,47	49,07	26,13
VBE06-08	B691318	3,30	0,31	9,39	7,29	0,49	86,00	67,40	39,75

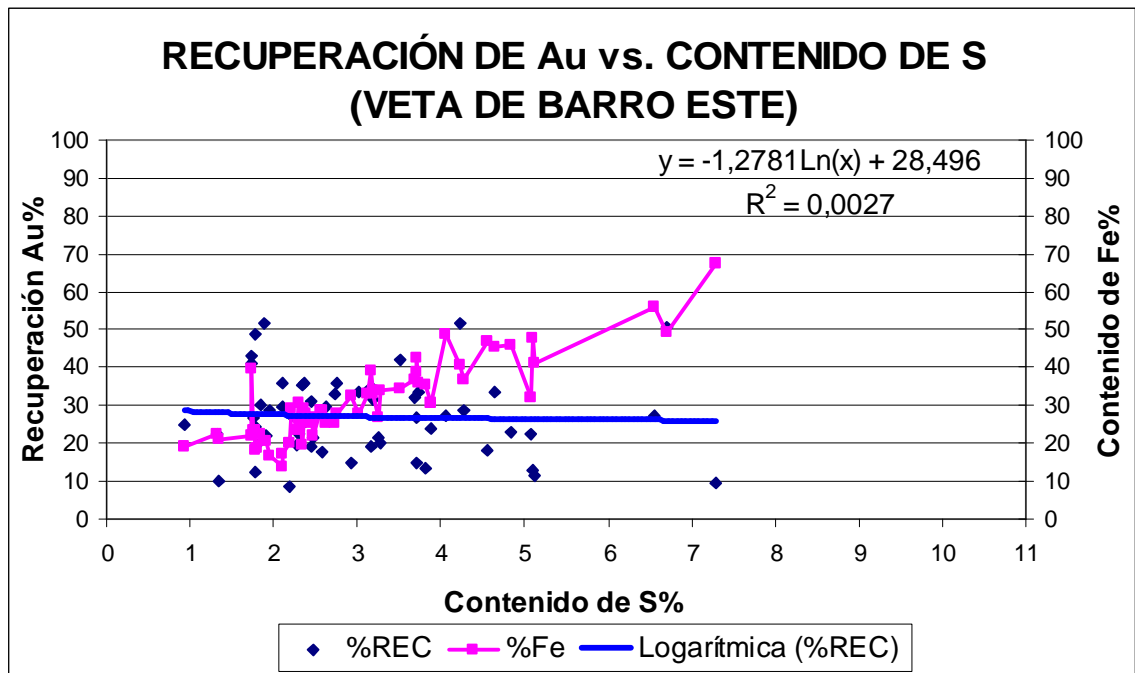


Figura 18. Recuperación de oro vs. Contenido de azufre para el sector VETA DE BARRO ESTE

En la Figura 18 se puede observar que los datos de recuperación de oro se encuentran muy dispersos y por lo tanto la línea de tendencia logarítmica tiene un coeficiente de correlación prácticamente nulo, $R^2 = 0,0027$ lo que indica que no existe una tendencia clara en la recuperación de oro a medida que aumenta la cantidad de azufre, y tan solo 3 muestras de 58 tuvieron un porcentaje de recuperación de oro por encima del 50%.

El porcentaje de hierro presenta una leve tendencia creciente a medida que aumenta el contenido de azufre en cada una de las muestras, sin embargo más del 90% de las muestras presentan contenidos de hierro inferiores al 50%.

Solo 3 de las muestras analizadas del sector QUEBRADA EL POZO superan el 50% de recuperación de oro, lo que indica una alta refractariedad, con respecto a los otros sectores de estudio.

4.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS CUATRO SECTORES DE ESTUDIO

En la Tabla 6 se pueden observar los promedios de los resultados de los ensayos de lixiviación rápida y análisis químico para los diferentes sectores de mineralización del yacimiento, con el fin de evaluar el comportamiento general de cada sector y realizar un análisis comparativo entre ellos.

Tabla 6. Promedio de los resultados obtenidos del ensayo de lixiviación rápida para cada sector de mineralización, utilizados para la elaboración de la Figura 19.

SECTOR	Au(gT)	Au-AA (gT)	%REC	% S	% Cu	% Al	% Fe	% K
La Alta	2,85	0,63	27,28	3,77	0,05	64,68	36,15	31,66
QPO	3,21	2,04	41,52	3,08	0,01	64,10	30,23	32,43
El Silencio	2,73	0,55	24,62	4,44	0,09	66,12	47,23	34,04
VBE	2,36	0,64	27,18	3,07	0,06	64,05	31,12	30,89

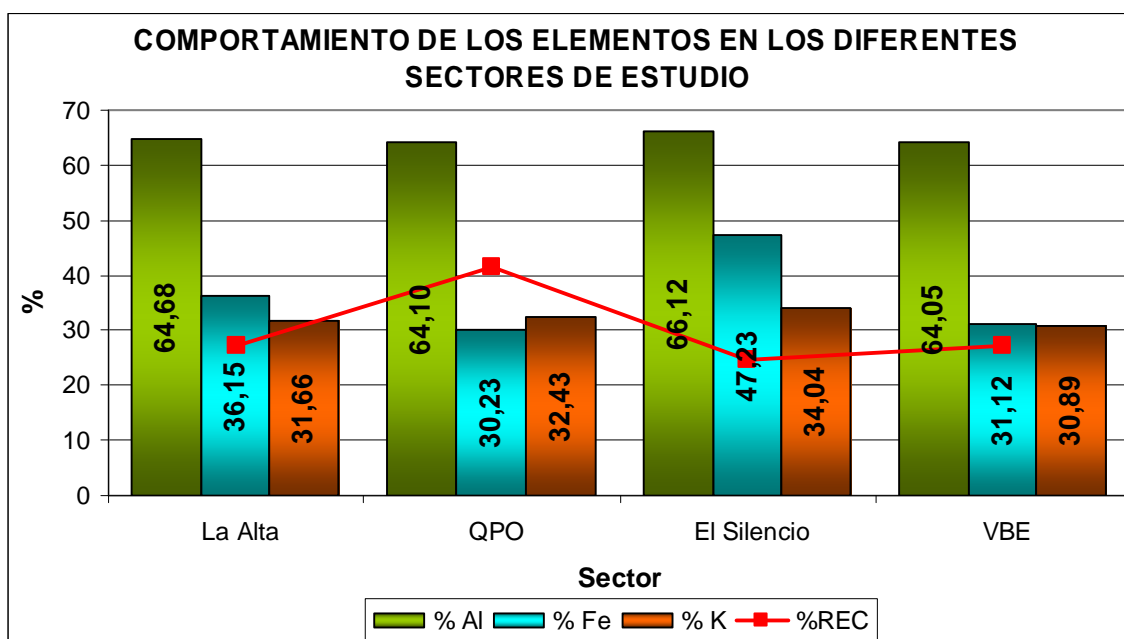


Figura 19. Comportamiento de los elementos (Al, Fe y K) con respecto a la recuperación de oro en los diferentes sectores estudiados

Teniendo en cuenta los datos de la Tabla 6 y las Figuras 15 a 19 se observa lo siguiente:

- Los sectores de mineralización donde existe mayor presencia de hierro (Fe), coincide con un alto contenido de azufre, y afecta directamente la recuperación de oro, lo anterior asociado con la mineralogía del yacimiento [5], confirma la presencia de pirita (FeS_2) como el principal compuesto refractario de estos sectores.
- Teniendo en cuenta los porcentajes de recuperación, el contenido de azufre y de hierro de cada sector estudiado, se puede decir que el sector mas refractario es EL SILENCIO, con un porcentaje de recuperación de 24.62%, seguido por LA ALTA y VETA DE BARRO ESTE con porcentajes de recuperación de oro y contenido de hierro muy similares, quedando QUEBRADA EL POZO como el sector con menor refractariedad, su recuperación promedio fue de 41.52%.

- En los cuatro sectores de mineralización estudiados el contenido de cobre (Cu), se encuentra por debajo del 0.1%, el cual no mostró una influencia clara sobre la recuperación de oro, como la presentada por el hierro (Fe). Esto concuerda con la mineralización del yacimiento [5], teniendo en cuenta la poca presencia de sulfuros de cobre comparados con los de hierro.
- Los cuatro sectores de mineralización presentan porcentajes de aluminio (Al) por encima del 64% y de potasio (K) mayores al 30%, que si bien no muestran una influencia directa en la recuperación de oro, indica una presencia considerable de arcillas y otros compuestos que posiblemente afecten el proceso de beneficio del yacimiento de Angostura.
- El alto contenido de hierro (Fe) presente alrededor de todos los sectores de mineralización estudiados que posiblemente provenga no solo de la pirita si no también de las arcillas y de los óxidos de Fe presentes en el deposito mineral, influye en la recuperación de oro ya que actúa como un elemento cianicida afectando directamente el proceso de lixiviación.
- Es recomendable la utilización de compósitos, que representen diferentes tipos de roca, de alteración y mineralogía, debido a que permite un análisis mas profundo, obteniendo una amplia caracterización en busca de un diseño adecuado para la planta de beneficio [1].

4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LIXIVIACIÓN RÁPIDA PARA LAS MUESTRAS DE CONTROL.

En la Tabla 7 se muestran los resultados de los ensayos de lixiviación rápida realizados a las muestras de control enviadas a los laboratorios del Grupo de Investigación en Minerales Biohidrometalurgia y Ambiente de la UIS

Estas 27 muestras de control fueron tomadas de los cuatro sectores del yacimiento de Angostura utilizados para este trabajo y de las diferentes zonas de mineralización, zona de óxidos, zona de transición y zona de sulfuros, pero solo se realizó la grafica de Recuperación de oro vs. Contenido de azufre para las muestras que se encontraban en la “zona de sulfuros” ya que el estudio se enfocó en este tipo de mineralización.

Tabla 7. Resultados de los ensayos de Lixiviación Rápida para las muestras de control, utilizados para la elaboración de la Figura 20.

POZO	# MUESTRA	ZONA	Au (gT)	Au-AA (gT)	REC%	% S
VBE06-03	B691278	OX	0,74	0,83	100,00	0,12
AL06-04	B691411	OX	0,75	0,67	88,62	0,28
VBE05-02	B691240	TR	7,90	5,47	69,23	0,72
VBE06-03	B691293	S1	1,19	0,60	50,28	1,68
VBE06-07	B691310	S1	3,62	2,20	60,72	1,69
AL06-07	B691444	S2	0,68	0,33	48,83	1,85
VBE06-01	B691249	S1	1,18	0,53	45,32	1,87
AL06-06	B691432	S1	4,79	2,73	57,08	1,94
VBE06-10	B691332	TR	0,98	0,53	54,24	2,23
AL06-09	B691462	S2	4,05	0,87	21,38	2,33
AL05-25	B691366	OX	1,45	1,20	82,53	2,53
AL05-25	B691400	S3	0,81	0,20	24,61	2,88
QPO06-02	B691213	S3	3,42	1,13	33,01	2,91
AL06-09	B691469	S3	2,06	0,73	35,64	2,92
AL05-25	B691358	OX	2,34	1,10	47,00	3,09
AL06-04	B691419	S2	0,76	0,23	30,66	3,17
VBE06-02	B691271	S3	2,85	1,47	51,41	3,53
VBE06-08	B691321	S1	0,62	0,33	53,53	3,64
VBE06-11	B691341	TR	1,27	0,47	36,79	4,08
VBE05-01	B691233	S2	3,77	1,83	48,56	4,56
AL06-07	B691450	S3	2,07	0,60	28,98	5,22
VBE06-04	B691301	TR	1,39	0,67	47,90	5,89
AL05-25	B691382	S2	11,00	4,73	43,05	6,18
AL05-25	B691372	S1	5,57	1,33	23,97	6,86
QPO06-05	B691220	S2	3,92	0,97	24,75	6,90
VBE06-01	B691257	S2	17,26	7,53	43,65	8,10
VBE06-14	B691351	S1	1,71	0,43	25,32	8,18

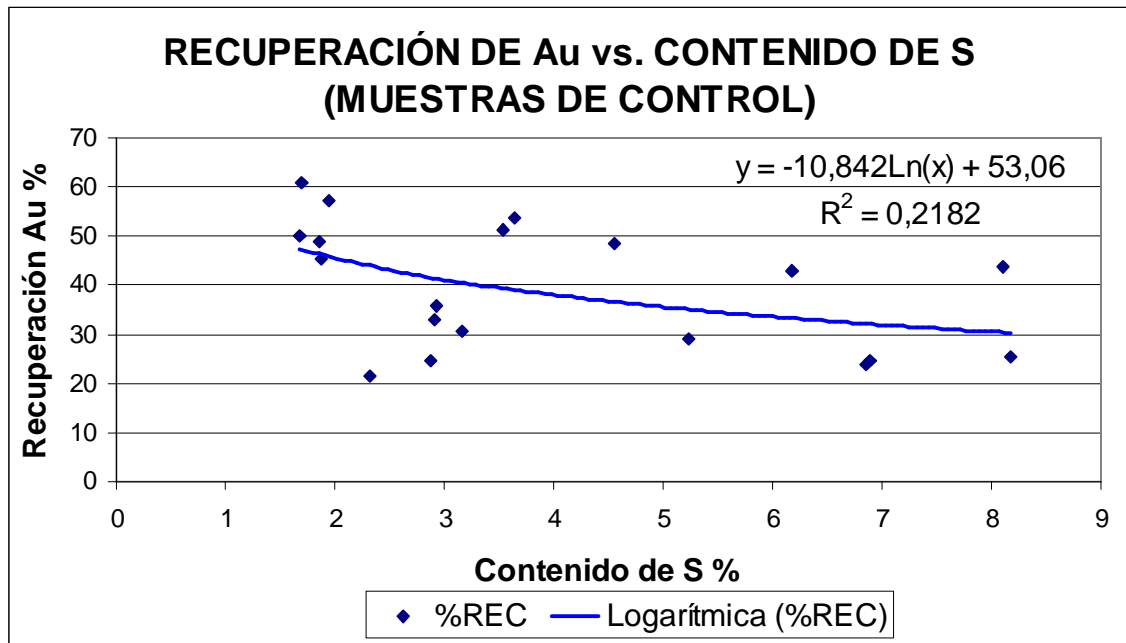


Figura 20. Recuperación de Oro vs. Contenido de Azufre de los resultados obtenidos para las muestras de control.

En la Figura 20 se puede observar menor dispersión entre los datos de recuperación de oro, con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,2182$, mayor que los presentados por los sectores individualmente en las graficas anteriores, sin embargo este valor no indica una tendencia logarítmica clara para las muestras analizadas.

Al mezclar las diferentes zonas de mineralización del yacimiento, se destacan los altos porcentajes de recuperación de oro obtenidos por las muestras que se encuentran en zonas de Óxidos y Transición, confirmando la poca refractariedad que tienen estas zonas de mineralización hacia la cianuración.

Teniendo en cuenta lo anterior es necesario realizar pruebas metalúrgicas de lixiviación con el mineral proveniente de la zona de sulfuros, donde se exponga el material con más variables como el tiempo de contacto y concentración de la solución lixivante, entre otras, para ampliar su caracterización hacia la cianuración y poder obtener un análisis mas profundo acerca de esta zona mineralizada del yacimiento de Angostura.

5. CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo de grado en GREYSTAR se obtuvieron los siguientes resultados:

- a. Se estableció un programa de muestreo netamente metalúrgico, y enfocado explícitamente a la obtención de resultados que permitan observar el comportamiento del mineral hacia la cianuración, con miras hacia los posibles procesos de beneficio del yacimiento de Angostura.
- b. Se fijaron los criterios de selección de muestras para la realización de ensayos de cianuración que serán utilizados en análisis posteriores a este trabajo.
- c. Se llevó un registro detallado de los análisis efectuados y de los resultados obtenidos mediante pruebas de lixiviación rápida, brindando de esta manera soporte técnico a las necesidades de la empresa.
- d. Empleando el software DATAMINE y la base de datos de la empresa, se realizó la selección y clasificación, según los criterios establecidos por GREYSTAR RESOURCES LTD (Tenor de Oro y cantidad de muestra), de 408 muestras de los sectores de La Alta, Quebrada El Pozo, El Silencio y Veta de Barro Este, para la realización de ensayos de lixiviación rápida, de las cuales 381 fueron analizadas en el laboratorio CHEMEX, y 27 muestras de control que fueron enviadas al laboratorio de la UIS (Grupo de Investigación en Minerales Biohidrometalurgia y Ambiente), para la realización del mismo ensayo.

- e. Se analizaron los resultados de los ensayos de lixiviación llevados a cabo en los diferentes laboratorios, según el porcentaje de oro disuelto por cianuración en función del porcentaje de azufre presente en las muestras de los sectores de LA ALTA, QUEBRADA DE POZO, EL SILENCIO y BETA DE BARRO ESTE.
- Con los resultados obtenidos del ensayo de Lixiviación Rápida realizado en CHEMEX, para las 381 muestras de sulfuros, se obtuvieron las siguientes conclusiones:
 - a. Los cuatro sectores de mineralización estudiados tuvieron coeficientes de correlación casi nulos, ($R^2 < 0.2$), lo que indica que no existe una tendencia clara en la recuperación de oro a medida que aumenta el contenido de azufre para la zona de sulfuros del yacimiento de Angostura.
 - b. Los sectores estudiados tienen altos contenidos de hierro ($Fe > 30\%$), asociados con sulfuros, lo que concuerda con el estudio mineralógico realizado en esta zona de mineralización (zona de sulfuros) del yacimiento [5], que confirma la presencia de pirita (FeS_2) como el principal compuesto refractario, afectando directamente el proceso de cianuración y por ende la recuperación de oro.
 - c. Teniendo en cuenta los porcentajes de recuperación, el contenido de azufre y de hierro de cada sector estudiado, el sector que presentó mayor refractariedad ante la cianuración fue EL SILENCIO, con un porcentaje de recuperación de 24.62%, seguido por LA ALTA y VETA DE BARRO ESTE con porcentajes de recuperación de oro y contenido de hierro muy similares, quedando QUEBRADA EL POZO como el sector con menor refractariedad, su recuperación promedio fue de 41.52%.

- d. Los altos porcentajes de aluminio ($Al > 64\%$) y potasio ($K > 30\%$) encontrados en todas las muestras analizadas, indican una presencia considerable de arcillas y otros compuestos que posiblemente afecten el proceso de beneficio del yacimiento de Angostura.
 - e. El alto contenido de hierro (Fe) presente alrededor de todos los sectores de mineralización estudiados, que posiblemente provenga no solo de la pirita si no también de las arcillas y de los óxidos de Fe presentes en el depósito mineral, influye en la recuperación de oro ya que actúa como un elemento cianicida afectando directamente el proceso de lixiviación.
 - f. La granulometría del mineral es un factor importante en el proceso de lixiviación de minerales auríferos, por esta razón dentro del protocolo del ensayo de lixiviación rápida se realizó una molienda a $-75 \mu m$, la cual permitió mayor contacto entre las partículas y la solución lixivante.
- Los resultados de las pruebas de lixiviación rápida realizadas a las muestras de control enviadas al laboratorio de la UIS (Grupo de Investigación en Minerales Biohidrometalurgia y Ambiente) presentaron un coeficiente de correlación $R^2 = 0,6092$, mayor que los presentados por los sectores individualmente, reflejando los altos porcentajes de recuperación de oro obtenidos con las muestras que se encuentran en zonas de Óxidos y Transición, confirmando la poca refractariedad que tienen estas zonas hacia la cianuración.

6. RECOMENDACIONES

- Los ensayos de lixiviación rápida muestran una tendencia del mineral hacia la cianuración que no es suficiente para concluir una caracterización definitiva del yacimiento, por lo cual es necesario que dichas pruebas sean respaldadas por un estudio metalúrgico más detallado que incluya ensayos de cianuración para evaluar otras variables, tales como tiempo de contacto y concentración de la solución lixivante, para así poder establecer con más certeza el comportamiento de cada sector de mineralización de Angostura.
- Para los futuros ensayos de lixiviación, sería recomendable la utilización de compósitos, que representen diferentes tipos de roca, de alteración y mineralogía, con el fin de hacer un análisis más extenso, y obtener una caracterización más apropiada para el un diseño adecuado de una planta de beneficio [1].
- Los criterios establecidos para la selección de muestras metalúrgicas, deben encaminar el estudio hacia todas las zonas del yacimiento y estar dirigidas a generar mayor información para la fase de optimización del proceso que fuera seleccionado.

7. BIBLIOGRAFIA

1. MARCHESE GARCIA, A. Conceptos y aplicaciones de planificación geometalurgica. Revista Minería. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. Lima, Perú. Edic. 330. 2005.
2. MILLÁN U, AUGUSTO. Evaluación y factibilidad de proyectos mineros. Texto de la Universidad de Chile. Santiago, Chile.1998.
3. GREYSTAR RESOURCES LTD. (2006). Revista Institucional Visión Minera. Edic. 3. Octubre de 2006.
4. GREYSTAR RESOURCES. (2006). Technical Report for the Angostura Project, Santander Province, Colombia. www.greystarresources.com
5. DIAZ SALAZAR, L y GUERRERO ARIAS, M. Asociaciones Mineralogicas de las Menas Auroargentíferas y su Distribución Espacial en el Yacimiento Angostura (California, Santander). Tesis de grado (Geólogo). Universidad Industrial de Santander. UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga. 2006.
6. AZANERO ORTIZ, Angel, NUNEZ JARA, Pablo, VEGA GUILLEN, Victor et al. Cómo mejorar la extracción de oro en lixiviación en montón. Rev. Inst. investig. Fac. minas metalcienc. geogr, jun. 2000, vol.3, no.5, p.15-24. ISSN 1561-0888.
7. J, LI. The influence of pyrite pre-oxidation on gold recovery by cyanidation. Elsevier Science Ltd. 2005.
8. PEÑATE ZUÑIGA, Y. Desarrollo de Correlaciones entre Mineralogía y Extracción de Oro en Minerales Auríferos Mediante Datos de Lixiviación Diagnostico. Postgrado en Ingeniería Metalúrgica. 2004.

9. YÁNES TRASLAVIÑA, J. y GARCÍA PÁEZ, H. Caracterización de los Minerales Auríferos de la Zona de San Pedro Frío (Bolívar – Colombia), Para la Selección de los Procesos de Extracción. En Revista DYNA Nro. 145. Medellín: Universidad Nacional, marzo de 2005 pp. 23 – 35.
10. AVILA, M. Evaluación de las Causas de Refractariedad de una Arena Relave de Orenas. Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Metalurgia Extractiva. Quito – Ecuador. 2005.
11. ARIAS ARCE, Vladimir, CORONADO FALCON, Rosa, PUENTE SANTIBANEZ, Luis et al. Refractariedad de Concentrados auríferos. Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr, Jul/dic. 2005, vol.8, no.16, p.5-14. ISSN 1561-0888.
12. ARAMBURU ROJAS, Vidal Sixto. Modelo de la preaireación en concentrado de oro pirítico, para la optimización del proceso de cianuración. Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr, jul/dic. 2003, vol.6, no.12, p.7-15. ISSN 1561-0888.
13. FELDER, F. et al. (2000). Angostura Project, A High Sulphidation Gold Silver Deposit located in the Santander Complex of North Eastern Colombia. Paper presented at simposio de Oro, Lima, Perú.
14. SHUKRY Z, E. Application of Quick Leaching Method to an Egyptian Zinc Silicate Ore. Institution of Mining and Metallurgy, London, ROYAUME-UNI. 1997.