

**USO DE BACTERIAS DEL GENERO *Thiobacillus* EN LA RECUPERACIÓN
DE ORO Y PLATA EN LA ZONA ANDINA DEL DEPARTAMENTO DE
NARIÑO**

**SILVIA LORENA BENAVIDES BOLAÑOS
XIMENA CLAUDIA CAMPAÑA BASTIDAS
JULIA JAZMÍN RENGIFO ROSERO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
SAN JUAN DE PASTO**

2003

**USO DE BACTERIAS DEL GENERO *Thiobacillus* EN LA RECUPERACIÓN
DE ORO Y PLATA EN LA ZONA ANDINA DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

SILVIA LORENA BENAVIDES BOLAÑOS

XIMENA CLAUDIA CAMPAÑA BASTIDAS

JULIA JAZMÍN RENGIFO ROSERO

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
BIÓLOGO CON ÉNFASIS EN MICROBIOLOGIA**

Director FREDDY PANTOJA TIMARAN Ph.D

Coodirector Ing. BENJAMÍN SAÑUDO SOTELO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
SAN JUAN DE PASTO**

2003

Dedicado:

A Dios

A la luz de mi vida

A mis padres por su amor apoyo y confianza

A mi tía por su cariño y dedicación

A mis hermanos y Amigos por su compañerismo y apoyo

A mi novio por su amor y comprensión

Ximena Campaña B.

Dedicado :

A Dios

A mis Padres

A mis Abuelos

A mis tíos y amigos

Jazmín Rengifo R

Dedicado :

A Dios

A mis Padres

A mis hermanas

A mis Amigos

Silvia Benavides B.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestra gratitud a las personas e instituciones que nos han brindado su confianza y colaboración durante la realización de nuestro trabajo de grado.

Doctor Freddy Pantoja T. Director de Calidad Ambiental. Corponariño. Director del trabajo. Por su valiosa colaboración y apoyo incondicional en cada una de las etapas del trabajo, y que por su dedicación, cariño y esfuerzo este trabajo es una realidad.

Ingeniero Agrónomo Benjamín Sañudo Sotelo. Docente titular de la Universidad de Nariño. Coodirector del trabajo. Por su orientación y aporte en el desarrollo del trabajo.

Profesora Martha Sofía Gonzáles. M.SC. Sistemática vegetal, Universidad de Nariño por la consecución de reactivos y vidriería.

Ingeniero Metalúrgico Carlos Córdoba Barahona. Docente titular del programa de Química. Por orientarnos, brindar muchos de sus conocimientos y facilitar material de consulta y equipos.

Ingeniero Segundo Rosero. Minercol. Por su colaboración en la recolección de muestras a las minas.

Sr. Francisco Villota. Por su paciencia y colaboración en la realización de todas las pruebas metalúrgicas.

Ingeniero Néstor Apráez. Laboratorio de aguas Corponariño. Por su orientación y colaboración en la recolección de muestras de aguas ácidas y procesos necesarios, en el desarrollo de éste trabajo

Guido Villota. Biólogo con énfasis en Microbiología Industrial Laboratorio No. 4 de Microbiología, Universidad de Nariño. Por su amistad, apoyo incondicional y colaboración

Licenciado Walter Vallejo. Laboratorio No. 1 de Biología, Universidad de Nariño. Por su colaboración en el desarrollo técnico del trabajo.

Sr. Alirio Bastidas. Auxiliar de Laboratorio de Histología, Universidad de Nariño. Por su amistad y gran colaboración

Sr. Alberto Unigarro. Laboratorio de Suelos Universidad de Nariño. Por la colaboración en el préstamo de los equipos.

Personal de la Universidad de Nariño. A todos los funcionarios que colaboraron en el desarrollo de este trabajo

Centro Minero Sotomayor. Por la colaboración de sus integrantes.

Corporación Autónoma Regional de Nariño- Corponariño. Por permitirnos realizar el trabajo mediante el convenio entre la Universidad de Nariño y esta entidad.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	26
OBJETIVOS	28
1. ANTECEDENTES	29
2. MARCO TEORICO	31
2.1 PRETRATAMIENTO BACTERIANO	31
2.1.1 Principios	31
2.1.2 El género <i>Thiobacillus</i> empleado en la lixiviación	32
2.1.3 Especies importantes	33
2.1.4 Descripción y clasificación de algunas especies del género <i>Thiobacillus</i>	35
2.1.4.1 <i>Thiobacillus novellus</i>	35
2.1.4.2 <i>Thiobacillus intermedius</i>	37
2.1.4.3 <i>Thiobacillus delicatus</i>	38

	pág.
2.1.5 Otros microorganismos de importancia	40
2.1.6 Desarrollo bacteriano	41
2.2 MECANISMOS DE LIXIVIACION	41
2.3 EL ORO Y SUS PRINCIPALES TÉCNICAS DE BENEFICIO	44
2.3.1 Distribución y formas naturales del oro	44
2.3.2 Beneficio y metalurgia del oro	44
2.3.3 Características de la mina de oro de veta “Nueva Esparta”	45
2.3.4 Método de cianuración	53
2.3.5 Precipitación del oro	54
3. METODOLOGÍA	56
3.1 ZONA DE TRABAJO Y MUESTREO	56
3.2 AISLAMIENTO Y CULTIVO DE LA BACTERIA <i>Thiobacillus</i>	57
3.2.1 Aislamiento de bacterias lixiviantes	57

	pág.
3.2.2 Purificación	60
3.2.3 Multiplicación y enriquecimiento	61
3.2.4 Conservación	62
3.3 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA BIOLIXIVIACIÓN EN LA RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA	62
3.3.1 Preparación de las muestras de mineral	62
3.3.2 Análisis granulométrico	63
3.3.3 Inoculación al mineral	65
3.3.4 Pruebas de cianuración	67
3.3.4.1 Pruebas de referencia	68
3.3.4.2 Precipitación	69
3.3.4.3 Copelación	69
3.3.4.4 Análisis de oro y plata por fusión directa (ensayos al fuego)	69
3.3.4.5 Recuperación de oro	72

	pág.
3.4 PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DEL GENERO <i>Thiobacillus</i>	72
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
4.1 AISLAMIENTO Y CULTIVO DE LA BACTERIA <i>Thiobacillus</i>	75
4.1.1 Aislamiento de bacterias lixiviantes	75
4.1.2 Purificación	76
4.2 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA BIOLIXIVIACIÓN EN LA RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA	76
4.2.1 Análisis granulométrico	76
4.2.2 Análisis de oro y plata del mineral	77
4.2.3 Inoculación al mineral	78
4.2.3.1 Evaluación del pH	78
4.2.3.2 Análisis estadístico del efecto de la biolixiviación sobre el pH del mineral inoculado	80
4.2.4 Pruebas de cianuración	85
4.2.4.1 Consumo de cianuro	85

	pág.
4.2.4.2 Recuperación de oro	90
4.3 PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DEL GENERO <i>Thiobacillus</i>	93
4.3.1 Análisis estadístico de las recuperaciones de oro	93
4.3.2 Especies identificadas	94
4.3.3 Consumos totales de cianuro	95
4.3.4 Eficacia de <i>Thiobacillus</i> en la recuperación de oro	98
5. CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	104
BIBLIOGRAFÍA	107
ANEXOS	110

LISTA DE CUADROS

	pág
Cuadro 1 Características de otras especies de importancia en cuanto a temperatura, pH y fuentes de energía	41
Cuadro 2 Formas naturales de oro	44
Cuadro 3 Análisis granulométrico en los tres tipos de mineral	77
Cuadro 4 Análisis de oro y plata de las muestras por fusión directa expresado en g/ton	78
Cuadro 5 Relación de cambios de pH observados con los diferentes aislados durante los 100 días de incubación	78
Cuadro 6 Recuperación de oro en el mineral bruto	90
Cuadro 7 Recuperación de oro en el mineral sin cianurar	91
Cuadro 8 Recuperación de oro en el mineral cianurado	92
Cuadro 9 Comparación de los porcentajes de recuperación de oro en cada uno de los aislados	98

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Planta de beneficio Mina “Nueva Esparta”	50
Figura 2 Grano mixto oro-sulfuro localizado en la veta la gruesa.	52
Figura 3 Oro acompañado con arsenopirita	53
Figura 4 Medios iniciales en el aislamiento de la bacteria previa a la incubación	59
Figura 5 Siembra en caja petri de la bacteria <i>Thiobacillus</i>	61
Figura 6 Aislados de trabajo obtenidos en el proceso de aislamiento y cultivo de la bacteria <i>Thiobacillus</i>	62
Figura 7 Inoculación de la bacteria <i>Thiobacillus</i> al mineral bruto, mineral sin cianurar y mineral cianurado en bandejas plásticas	66
Figura 8 Bandejas plásticas con el mineral inoculado por duplicado	67
Figura 9 Observación microscópica con tinción de gram. Bacilos gram negativos.	76
Figura 10 Consumo de cianuro en los testigos durante 24 horas	86
Figura 11 Consumo de cianuro en el mineral inoculado durante 24 horas	88
Figura 12 Recuperación de oro en el mineral bruto	90
Figura 13 Recuperación de oro en el mineral sin cianurar	92
Figura 14 Recuperación de oro en el mineral cianurado	93
Figura 15 Consumo de cianuro. Kg NaCN/ Kg Au en el mineral bruto	95
Figura 16 Consumo de cianuro. Kg NaCN/ Kg Au en el mineral sin cianurar	96
Figura 17 Consumo de cianuro. Kg NaCN/ Kg Au en el mineral cianurado	97
Figura 18 Promedio de recuperación de oro con los cinco aislados	99

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A Análisis estadístico. Día 10	110
Anexo B Análisis estadístico. Día 40	113
Anexo C Análisis estadístico. Día 70	116
Anexo D Análisis estadístico. Día 100	119
Anexo E Proceso de beneficio de la mina “Nueva Esparta”	122
Anexo F Análisis granulométrico	123
Anexo G Pruebas de referencia	124
Anexo H Consumo de cianuro	126
Anexo I Análisis estadístico peso del oro	128
Anexo J Equipos y materiales utilizados en las pruebas metalúrgicas	131

GLOSARIO

ACCION OXIDATIVA: proceso en el cual ciertos compuestos en unión con el oxígeno dan lugar a óxidos.

AGUAS RESIDULES: aguas que provienen del interior de la mina pueden ser drenajes ácidos con contenidos de hierro y/o azufre.

AMALGAMACION: proceso en cual el metal libre y limpio entra en contacto con el mercurio metálico.

BIOOXIDACIÓN: proceso de disolución de metal que resulta de la acción de un grupo de bacterias.

CIANURACION: solubilidad del oro en soluciones diluidas de cianuro de potasio.

CIANURACION POR PRECOLACIÓN: proceso en el cual la solución cianurada que porta los valores de oro y plata se pone en contacto con viruta de zinc.

COLAS O ESTERILES: residuos del proceso de beneficio.

CONCENTRACIÓN GRAVIMETRICA: método de beneficio que se basa en la diferencia de densidades de materiales para separarlos entre sí.

CRIBAR: tamizar para realizar un análisis granulométrico.

CUARTEO: dividir un todo en diferentes partes y tomar una muestra representativa.

ESCORIA: sustancia vítrea que sobrenada en el crisol en que se funden metales.

FUNDENTE: que facilita la fundición.

FUNDICIÓN: acción y efecto de fundir.

FUNDIR: derretir y dar forma al metal en fusión vaciándolo en moldes.

GALERIA: camino subterráneo en las minas.

GANGA: materia que acompaña a los minerales y se separa de ellos como inútil.

GRANULOMETRIA: se obtiene cribando el mineral molido por un determinado tiempo por un tamiz de luz de malla.

HETEROTROFO: organismos vivos que solo se nutren de sustancias elaboradas por otros seres vivos.

LINGOTERA: molde para vaciar los lingotes.

LIXIVIACION: acción y efecto de lixiviar.

LIXIVIAR: tratar una sustancia compleja con el disolvente adecuado para obtener su parte sólida.

LUZ DE MALLA: diámetro en milímetros del tamiz.

MEDIO ESTERIL: medio de cultivo aséptico.

METALURGIA: arte de extraer y labrar los metales.

METODO DE BENEFICIO: extracción y procesamiento del mineral que se sigue en la mina.

MINERALES AUROARGENTIFEROS: minerales que contienen oro y plata asociados a diferentes sulfuros.

MINERAL BRUTO: mineral extraído directamente de la veta.

MINERAL CIANURADO: mineral que ha pasado por un proceso de cianuración.

MINERALIZACION: acción y efecto de mineralizar o mineralizarse.

MINERALIZAR: comunicar a una sustancia en el interior de la tierra las condiciones de mineral.

MINERAL REFRACTARIO: mineral complejo compuesto de sustancias que dificulta su proceso de beneficio.

MINERAL SIN CIANURAR: mineral que ha sido sometido a un proceso de amalgamación.

MINERAL SULFURADO: mineral con compuestos azufrados como pirita, calcopirita, etc.

ORO DE ALUVION: yacimiento de tipo secundario que aparece en el pie de monte y llanura del pacífico.

ORO DE FILON O DE VETA: yacimiento de tipo primario de origen hidrotermal. Se encuentra en la zona andina de Nariño.

pH: abreviatura de potencial Hidrógeno. Coeficiente que caracteriza el grado de acidez de un medio.

PIROMETALURGIA: ciencia que utiliza el calor o altas temperaturas en la extracción de un metal de interés.

RESUMEN

En la presente investigación se estudia el pretratamiento con bacterias degradadoras de azufre del género *Thiobacillus* a fin de mejorar las condiciones minero-ambientales en el proceso de extracción de metales preciosos de filón del Departamento de Nariño. El mineral seleccionado para esta investigación proviene de una mina clásica de oro de filón denominada “Nueva Esparta” localizada en el Municipio de los Andes, Nariño. Se emplearon tres tipos de muestras: Mineral Bruto, Mineral Sin Cianurar (extraído el oro libre por amalgamación) y Mineral Cianurado (residuos de cianuración y amalgamación).

Aunque son utilizadas las bacterias del género *Thiobacillus* especies *ferrooxidans* y/o *thiooxidans* en los procesos de oxidación bacteriana, en el presente estudio se logró identificar tres especies nuevas que son *Thiobacillus novellus*, *Thiobacillus intermedius* y *Thiobacillus delicatus*, aisladas de aguas ácidas de la mina “El Cisne” en el Departamento de Nariño. El aislamiento y cultivo de *Thiobacillus* y las pruebas de cianuración se realizaron en los laboratorios de la Universidad de Nariño y la preparación del mineral, análisis granulométricos, ensayos al fuego y obtención de los botones de oro y plata se llevaron a cabo en el Centro Minero-ambiental CORPONARIÑO en Sotomayor.

Las bacterias crecieron bien en un medio que contenía azufre (2 g en 100ml), bicarbonato de sodio (1 g en 100 ml) y nitrato de potasio (0.5 g en 100ml) mas el medio base (que contenía fuente de carbono, azufre, nitrógeno más 10 ml de extracto de mina en 100 ml). Las mayores bajas de pH se obtuvieron con el aislado 10 de *Thiobacillus delicatus*, y en la muestra del aislado 2 de *Thiobacillus novellus* con pHs de 7.10 a 5.87 y de 7.07 a 6.29 respectivamente, mientras que en el testigo se registraron pequeñas variaciones que oscilaron de 7.31 a 7.29.

Una de la más importantes aportaciones de la investigación fue obtener, de manera conjunta, un incremento de la recuperación del metal precioso y una reducción del consumo de cianuro. Los mayores porcentajes de recuperación de oro y plata se dieron con el aislado 10 de *T.delicatus* con 70.63%, así mismo con los aislados 9 y 5 de *T.intermedius* con 65.72% y 61.69% respectivamente, en tanto que en los testigos la recuperación, en promedio, fue de 28.57%.

Los niveles de consumo de cianuro detectados son sustancialmente menores en los minerales con pretratamiento bacteriano que en los minerales sin inocular; en efecto, en las pruebas con mineral bruto y mineral cianurado se comprobó una reducción del consumo de cianuro en un 50% aproximadamente con respecto al consumo detectado en los testigos. En los tratamientos realizados con mineral sin cianurar, el consumo se reduce en un 30 %, un poco menos que en los casos anteriores.

SUMMARY

In the present investigation the pre-cure with degrades sulfur bacteria studies of the genus *Thiobacillus* in order to improve the mining-environmental conditions in the process of extraction of precious metals of vein of the Department of Nariño. The mineral selected for this investigation comes from gold a classic mine of denominated ‘Nueva Esparta’, located in the Municipality of the Andes, Nariño. Three types of samples were used: Gross Mineral, Mineral Without Cyaniding (extracted free gold by amalgamation) and Cyanided Mineral (cyaniding remainders and amalgamation).

Although are used the bacteria of the *Thiobacillus* sort species *ferrooxidans* and/or *thiooxidans* in the processes of bacterial oxidation, in the present study it was managed to identify three new species that are *Thiobacillus novellus*, *Thiobacillus intermedius* and *Thiobacillus delicatus*, isolated of acid waters of the mine ‘Nuena Esparta’ in the Department of Nariño. The isolation and culture of *Thiobacillus* and the cyaniding tests were made in the laboratories of the University of Nariño and the granulometrics preparation of the mineral, analysis, assays to the fire and obtaining of the gold bellboys and silver were carried out in Mining-environmental Center CORPONARIÑO in Sotomayor.

The bacteria grew well in means that contained sulfur (2 g in 100ml), bicarbonate of sodium (1 g in 100 ml) and potassium nitrate (0,5 g in 100ml) but the average base (that contained carbon source, sulfur, nitrogen more 10 ml of extract of mine in 100ml). The greater losses of pH were obtained with isolated the 10 of *Thiobacillus delicatus*, and in the sample of isolated the 2 of *Thiobacillus novellus* with pHs from 7,10 to 5,87 and from 7,07 to 6,29 respectively, whereas in the witness small variations were registered that oscillated from 7,31 to 7.29.

One of the most important contributions of the investigation was to obtain, of joint way, an increase of the recovery of the precious metal and a reduction of the cyanide consumption. The greater percentage of gold recovery and silver occurred with isolated the 10 of *T.delicatus* with 70,63%, also with isolated the 9 and 5 of *T.intermedius* with 65,72% and 61,69% respectively, whereas in the witnesses the recovery, in average, were of 28.57%.

The levels of detected cyanide consumption are substantially smaller in minerals with bacterial pre-cure that in minerals without inoculating; in effect, in the tests with cyanided gross mineral and mineral a reduction of the cyanide consumption was verified in 50 approximately % with respect to the consumption detected in the witnesses. In the treatments made with mineral without cyaniding, the consumption is reduced in 30 %, a little less than in the previous cases

INTRODUCCION

Tradicionalmente en el Departamento de Nariño se ha desarrollado la minería de los metales preciosos al lado de la agricultura, especialmente la explotación de oro de veta y de aluvión. Aproximadamente un 10% de la población de las regiones mineras depende directa o indirectamente de esta actividad.

Actualmente existen un gran número de minas de oro y plata que utilizan el método tradicional de beneficio denominado cianuración por percolación, con bajos porcentajes de recuperación debido a diferentes factores como escasa capacidad de inversión del minero, bajo nivel tecnológico y complejidad del mineral con altos porcentajes de sulfuros.

Los microorganismos juegan un papel fundamental en la dinámica del azufre, cumpliendo los procesos de mineralización, en donde los residuos inorgánicos ricos en compuestos azufrados, son objeto de la acción oxidativa de microorganismos quimioautótrofos, con la liberación de ácido sulfúrico.

Las bacterias oxidadoras del azufre del género *Thiobacillus*, que pueden contribuir naturalmente a la liberación de oro y plata, que se encuentra dentro de los sulfuros al oxidar estos a ácido sulfúrico, el cual ayuda a destruir la matriz del mineral, haciendo más fácil la separación de las partículas de los metales preciosos.

Aprovechando las características metabólicas de este género se busca reconocer las especies de *Thiobacillus* que presenten un alto porcentaje en la producción de ácido sulfúrico y la consiguiente recuperación de oro y plata.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de la bacteria *Thiobacillus* sobre la recuperación de oro y plata, en material de minas del municipio de Sotomayor, Departamento de Nariño.

Objetivos específicos

Establecer una metodología de aislamiento y purificación de la bacteria del género *Thiobacillus* de aguas ácidas de minas de oro y plata.

Lograr la identificación de las especies presentes aisladas de aguas ácidas de mina.

Evaluar la capacidad de lixiviación de las bacterias del género *Thiobacillus*, sobre material de minas correspondiente a mineral bruto (extraído directamente de la veta), mineral sin cianurar (extraído el oro libre por amalgamación), y mineral cianurado (residuos de cianuración y amalgamación) en la recuperación de oro y plata.

1. ANTECEDENTES

La biolixiviación de minerales de cobre fue practicada empíricamente muchos siglos antes del descubrimiento de las bacterias, en China fue empleada al menos 100 ó 200 años a. C, y en Europa por lo menos desde el siglo II. Durante miles de años se lixivió cobre a partir de minerales de bajo grado, sin darse cuenta que esta extracción es imposible sin la presencia de una bacteria que crece en las minas.

La lixiviación bacteriana se desarrolla como disciplina científica, aplicada a minerales desde la década de los 50, la bacteria encontrada fue denominada *Thiobacillus ferrooxidans* en virtud de su capacidad de oxidación, cuando se descubrió en 1947 que su presencia en las aguas de mina de río Tinto en Huelva, España, era responsable del gran deterioro que sufrían los equipos metálicos en las instalaciones de la mina. El microorganismo acelera el proceso de oxidación hasta un millón de veces. Las aguas del río presentan características de acidez elevada y gran concentración de metales. La bacteria fue aislada por primera vez por Colmer, 1950 y denominado *Thiobacillus ferrooxidans* y caracterizada como quimiolitotrófica por Temple y Colmer, en 1951.

En Colombia en 1986, en el Departamento de Nariño, se aplicaron pretratamientos químico-biológicos en el proceso de lixiviación por precolación y la evaluación de pretratamientos ácidos, básicos y bacterianos, sobre la penetrabilidad del cianuro disolvente del oro y plata. Se logró aislar e identificar la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans*, esta

bacteria ocasionó alteración de partículas de mineral permitiendo diferencias significativas de recuperación de oro y plata, según Castro (1986). Universidad de Nariño.

En 1996 se demostró a nivel de laboratorio que la oxidación bacteriana es aplicable para la recuperación de oro de las colas de cianuración de minas sulfuradas de la mina reina de oro (Veta Santander) la biooxidación se hizo en tres tipos de reactores con agitación mecánica, neumática y una combinada y se determinó que hay un gran beneficio de la oxidación bacteriana como pretratamiento en el sistema de agitación combinada. Se observó un incremento en la disolución de los metales preciosos a mayor grado de biooxidación según estudio realizado por Pedraza et al, en la Universidad Industrial de Santander.

En 1998 se realizó un estudio en Perú por Guerrero sobre la aplicación de los procesos biotecnológicos en la recuperación de oro y cobre, en este trabajo se reconoció la habilidad de ciertos microorganismos del género *Thiobacillus* de oxidar, bajo ciertas condiciones, compuestos inorgánicos como iones ferrosos y azufre en la recuperación de oro y plata.

2. MARCO TEORICO

2.1 PRETRATAMIENTO BACTERIANO

2.1.1 Principios

Las bacterias “tradicionales” utilizan compuestos orgánicos como azúcares, aminoácidos, etc., para obtener su energía y su materia. Pero existe otro tipo de bacterias que obtienen su energía de la oxidación de compuestos inorgánicos de azufre y su materia del dióxido de carbono atmosférico. No solo pueden vivir en condiciones de acidez intolerables para otras especies, sino que como producto de su metabolismo energético producen ácido sulfúrico, compuestos reductores y compuestos oxidantes. Estos compuestos, tradicionalmente se utilizaron para extraer metales de minerales.(Curuchet,1998)

Para el ambiente, según Cotoras (1995), el uso de bacterias aplicadas en la disolución de metales a partir de minerales sulfurados representa un importante adelanto ya que produce un impacto ambiental muchas veces inferiores a la tecnología clásica de pirometalurgia. En la disolución de minerales sulfurados participan bacterias que requieren solo de compuestos inorgánicos muy simples para multiplicarse, los mismos que se encuentran comúnmente en las aguas de los procesos hidrometalúrgicos. Otras de las características especiales de estas bacterias es su capacidad de crecer en soluciones extremadamente ácidas para el común de los microorganismos (pH entre 1.5 y 3.5).

Los microorganismos utilizados en la tecnología de la lixiviación bacteriana son organismos esencialmente autótrofos que viven en las aguas de las minas, capaces de oxidar el hierro ferroso, el azufre o sus compuestos, de donde toman la energía necesaria para su existencia. Dentro de las especies de mayor interés metalúrgico, en el año de 1940, se logró el aislamiento de *Thiobacillus ferrooxidans* y se reconoció su importancia en la extracción de metales. Desde entonces otros microorganismos, tales como el *Thiobacillus thiooxidans*, el *Ferrobacillus ferrooxidans* y el *Ferrobacillus thiooxidans* han demostrado ser útiles en los procesos de extracción.(Pedraza 1996)

Muñoz (2001), indica que la utilización de microorganismos como el *Thiobacillus ferrooxidans* no degradan diferentes compuestos nocivos en otros de menor impacto ambiental, sino que la técnica biológica comparada con las técnicas pirometalúrgicas que utilizan altas temperaturas y por lo tanto son más costosas, generan emisiones gaseosas nocivas. Con bacterias es mucho más económico tratar el oro y además no genera gases de azufre al ambiente.

2.1.2 El género *Thiobacillus* empleado en la lixiviación. En los suelos tropicales la bacteria *Thiobacillus* es la principal responsable de la oxidación del azufre. El género corresponde a bacilos gram negativos; no móviles o móviles, usualmente por medio de un simple flagelo polar, deriva su energía de la oxidación de compuestos de azufre incompletamente oxidados, principalmente azufre elemental, sulfuros, tiosulfatos politionatos y tiocianatos, dando como producto final el Ion sulfato, aunque también pueden almacenar transitoriamente sulfuros, sulfitos o politionatos. Crece bajo condiciones ácidas o alcalinas,

con un pH de 2 a 8 y una temperatura óptima de 20 a 43°C. Algunos son autótrofos obligados y otros facultativos, unas especies son anaeróbicas en presencia de nitrato. Se encuentra en el suelo, en aguas de mina, afluentes, etc. (Castro, 1986)

La oxidación biológica es un proceso sencillo, seguro y menos costoso que otras alternativas para la mayoría de las minas sedimentarias, graníticas o minas refractarias que contienen mineralizaciones secundarias de minerales piritosos con valores de oro y plata. Se ha encontrado que varias especies de bacterias oxidantes, aceleran la rapidez de la biolixiviación en forma considerable provocando la formación de ácido sulfúrico y sulfatos solubles de cobre y hierro, bacterias como *Thiobacillus ferrooxidans* obtienen su energía oxidando azufre para formar sulfatos. (Nájera et al, 1998)

2.1.3 Especies Importantes: Según el manual de bacteriología sistemática de Bergey's, se incluye una clave de clasificación de las principales especies de *Thiobacillus*.

I. Neutrofílicos

A. Estrictamente quimiolitotrófico y autotrófico.

1. Estrictamente aeróbico.

a. Temperatura optima 28-30°C.

i. pH 3.5-4.5 en un medio líquido con tiosulfato.

1. *T. thioparus*

ii. En medio líquido de tiosulfato. pH > 3.

2. *T. neapolitanus*

b. Temperatura optima 43°C

i. En medio con tiosulfato. pH 4.5-5.0

3. *T. tepidarius*

2. Anaeróbicos facultativos.

4. *T. denitrificans*

B. Quimiolitotrófico facultativo ó mixotrófico

1. Eficiencia en crecimiento. Quimiolitotrófico ó quimiorganotrófico.

Aerobios obligados.

5. *T. novellus*

Anaerobios facultativos.

6. *T. versutus*

2. Desarrollo lento y crecimiento escaso, en tiosulfato.

Móvil por un solo flagelo polar. Crecimiento escaso con tiosulfato a pH 1.9 –2.2.

7. *T. intermedius*

Móvil por un solo flagelo polar. Crecimiento escaso en medio tiosulfato suplementado con extracto de levadura o fructuosa a pH 2.8

8. *T. perometabolis*

No móvil. No puede crecer en medios con carbón a menos que sea suplementado con tiosulfato.

9. *T. delicatus*

II. Acidófilos

A. Estrictamente quimiolitotrófico y autotrófico.

1. Puede crecer en medio con pH mínimo de 1.5-3.0. Oxida hierro ferroso.

10. *T. ferrooxidans*

2. No oxida hierro ferroso.

Puede producir $\text{pH} < 1$ sobre azufre.

11. *T. thiooxidans*

Puede reducir el pH alrededor de 2 durante su crecimiento sobre azufre.

12. *T. albertis*

B. Quimiolitotrófico facultativo.

13. *T. acidophilus*

2.1.4 Descripción y Clasificación de algunas especies del género *Thiobacillus* según Bergey's 1986

2.1.4.1 *Thiobacillus novellus*. Según Starkey citado por Bergey's, es un bacilo corto, elipsoidal o cocoidal, células de un tamaño de $0.4 - 0.8 \times 0.8 - 2.0 \mu\text{m}$, puede encontrarse solo y/o ocasionalmente en parejas. Es inmóvil. Crecen en medios como agar tiosulfato (con biotina) son pequeños, planos, circulares, redondos y opalescentes, propiamente blancos con azufre. En medio líquido con sulfato se tornan turbios y precipitan azufre durante la incubación. Producen bajas de pH de 7.8 a 5.8. El desarrollo se debe a los requerimientos de biotina y se manifiesta por el tipo de alargamiento.

Es quimiolitotrófico facultativo, pero puede ser autotrófico cuando requiere biotina. Puede ser heterotrófico en su crecimiento cuando además de biotina requiere una pequeña cantidad de una fuente de azufre reducido. Este organismo es estrictamente aerobio, siendo autotrófico y heterotrófico oxidan y crecen sobre tiosulfato y tetrionato pero no sobre azufre o tiocianato, el amonio, sales, nitratos, úrea y glutamato son usados como fuente de nitrógeno.

Su temperatura óptima es de 25-30°C, el rango de crecimiento o desarrollo es de 10-37°C, el pH óptimo es de 7.0 y el rango de crecimiento y desarrollo de 5.7-9.0 aislado de suelo. Se presume que esta ampliamente distribuido.

Clasificación *T. novellus*:

I. Es neutrofílico, puede crecer inicialmente a pH 6-8 pero no puede crecer a pH 3.0.

B. Bacilo quimiolitotrófico facultativo ó mixotrófico, puede crecer en mineral con tiosulfato como fuente única de energía, además crece con glucosa en tiosulfato.

1. En cuanto a la eficiencia en crecimiento ya sea quimiolitotrófico ó quimiorganotrófico, contiene ubiquinona Q-10 pero no Q-8.

a. Aerobio obligado, las colonias sobre agar tiosulfato pueden ser blancas con azufre; capaces de crecer sobre tetrionato como única fuente de energía; son inmóviles.

(Bergey' s, 1986)

2.1.4.2 *Thiobacillus intermedius*. Según London citado por Bergey' s son bacilos delgados, cortos de un tamaño 0.6 x 1.4 μm , motil por medio de un flagelo polar. Colonias pequeñas de 1mm sobre agar con tiosulfato con centros levantados desarrollados de color amarillento opaco con un precipitado de azufre y circundado por flequillo. Estos organismos son mixotróficos facultativos, con desarrollo quimiolitotrófico y autotrófico sobre azufre, tiosulfato ó tetratioato pero no sobre tiocianato. Oxidan sulfuros, son aeróbicos, incapaces para desnitrificar y de crecer en un medio heterotrófico tal como caldo nutritivo ó con sustrato orgánico único en ausencia de tiosulfato.

Presenta deficiente crecimiento sobre extracto de levadura solamente, pero produce un crecimiento substancial (después de un retraso de 1-10 días) sobre un extracto de levadura suplementado con glucosa, fructuosa, sucrosa, maltosa, aspartato o glutamato. Es posible que un compuesto de azufre reducido estimule el desarrollo bajo estas condiciones. Un óptimo desarrollo se da en un medio mixotrófico conteniendo tiosulfato y extracto de levadura, alanina, malato, succinato, citrato, oxogutarato, serina, lactato ó la lista de suplementos.

Para un desarrollo heterotrófico, este organismo puede usar amonio, sales, nitrato, urea, glutamato ó aspartato como fuente de nitrógeno. La temperatura óptima es de 30 – 35°C, el rango de desarrollo es de 15-37°C, el pH óptimo es de 5.5-6.0 y el rango de desarrollo es pH 5.0-7.5, aunque para medio mixotrófico el pH quizás más bajo seria 2.8. Aislado de lodo en agua dulce. Se presume que están ampliamente distribuidos.

Clasificación *T. intermedius*:

I. Neutrofílico. Pueden crecer inicialmente a pH 6-8 pero no puede crecer a pH 3.

B. Bacilo quimiolitotrófico facultativo ó mixotrófico. Puede crecer en mineral con tiosulfato como fuente única de energía, además algunos crecen con glucosa en tiosulfato.

2. Su desarrollo es lento y escaso sobre tiosulfato como quimiolitótrofo: Considerable desarrollo estimulado por substratos orgánicos, mejor desarrollo como mixotrofo, en substratos orgánicos simples tiene un desarrollo escaso (puede ser posible el desarrollo después de un retraso de más de 2 semanas), contiene ubiquinona Q8 pero no Q10.

b. Motil por un flagelo polar sencillo, puede bajar el pH del medio con tiosulfato a 1.9-2.2.

Crecimiento autotrófico estimulado por glucosa pero no por pentosa. (Bergey' s, 1986)

2.1.4.3 *Thiobacillus delicatus*. Bacilos delgados rara vez en pares, de un tamaño de 0.4-a 0.6 x 0.7 - 1.6 μm . No motil, crecimiento de colonias sobre agar tiosulfato - extracto de levadura (1mm en diámetro). Son lisos y circulares y cambian de transparentes a amarillo blancuzco con azufre. Quimiolitótrofo facultativo y mixotrófico. Crecimiento autotrófico con azufre, tiosulfato o tetrionato pero no con tiocianato. tetrionato y tritionato acumulados durante el crecimiento sobre tiosulfato. (Bergey' s, 1986)

Incapaz de crecer heterotróficamente en compuestos carbonados simples. Crecimiento mixotrófico en un medio con tiosulfato suplementado con ácido tricarbóxico. Un crecimiento óptimo requiere ambas sustancias orgánicas (tiosulfato o azufre).

Anaerobio Facultativo: reduce nitrato y produce nitrito en un medio mixotrófico y autotrófico con tiosulfato o tetrionato. Sales amoniacales, nitrato, urea, glutamato o aspartato pueden usarse como fuentes de nitrógeno. La temperatura óptima es de 30-35°C y el rango de desarrollo es de 15-42°C. (no crecen a 10 ó 45°C). El pH óptimo es de 5.5-6.0 el rango de desarrollo es de 5.0 –7.0. Aislado de agua de mina. Distribución desconocida. (Bergey' s, 1986)

Clasificación *T.delicatus*

- I. Neutrofilico. Puede crecer inicialmente a pH 6-8 pero no puede crecer a pH 3.
- B. Bacilo quimiolitotrófico facultativo o mixotrófico. Puede crecer en mineral con tiosulfato como fuente única de energía. Además algunos crecen con glucosa en tiosulfato.
 - 1. Desarrollo lento, desarrollo escaso sobre tiosulfato como quimiolitótrofo: Considerable desarrollo estimulado por substratos orgánicos: mejor desarrollo como mixotrofo: Crecimiento escaso con substratos orgánicos simples (puede ser posible el desarrollo después de un retraso de más de dos semanas) a menos que este igualmente presente el tiosulfato: contiene ubiquinona Q8 pero no Q10.
 - c. No Móvil. Puede crecer sobre un medio con substratos carbonados sencillos a menos que sea suplementado con Tiosulfato. (Bergey' s, 1986)

2.1.5 Otros microorganismos de importancia: Según Gutiérrez et al (1999) dentro de este grupo y estrechamente asociados a *T. ferrooxidans* encontramos a:

- *Thiobacillus thiooxidans*: Se lo puede encontrar en depósitos de azufre y sulfurosos, desde donde es fácil aislarlos. Se caracteriza porque sólo es capaz de oxidar azufre. Desarrollan a temperatura entre 5°C y 40°C, a un pH en el rango de 0.6 a 6.0, siendo el óptimo 2.5. Son aerobios estrictos.
- *T. acidophilus*: Fue aislado por primera vez por Markosyan en 1973 a partir de minerales, describiéndolo con el nombre de *T. organoparus*. Presentan forma bacilar, son aerobios estrictos, oxida azufre y utiliza compuestos orgánicos como parte de sus requerimientos nutricionales.
- Thiobacilos semejantes a termófilos: Aunque no están bien estudiadas, es reconocida su importancia en los procesos hidrometalúrgicos. Muestran un activo crecimiento sobre medios conteniendo Fe^{+2} y sulfuros en presencia de extracto de levadura.
- *Leptospirillum ferrooxidans*: Son vibriones en forma de espira, como pseudococos. Móviles por la presencia de un flagelo polar simple. Las colonias sobre silica gel son pequeñas y de color marrón rojizo debido a la formación de hierro férrico. Son aerobios estrictos y quimioautotróficos obligados. Utiliza Fe^{+2} y FeS_2 como fuente energética.

Cuadro 1. Características de otras especies de importancia en cuanto a Temperatura, pH y fuentes de energía.

Especie	Temperatura °C	pH.	Fuentes de Energía
<i>Th. ferrooxidans</i>	25-35	1.5	Fe+2, U+4, S°
<i>Th.thiooxidans</i>	25-35	2	S°
<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	25-35	1.5	Fe+2
<i>Th. intermedius</i>	30	2.5	S°, S-2, C. Orgánico
<i>Th.napolitanus</i>	30	2.8	S°, S-2
<i>Th. acidophilus</i>	30	3.0	S°, S-2

(Guerrero, 1998)

2.1.6 Desarrollo Bacteriano. Según Guerrero (1998) el efecto de ciertos factores ambientales sobre el desarrollo y crecimiento de las bacterias juega un rol importante dentro del proceso de lixiviación bacteriana, es por ello de mucha importancia el control de factores, como el pH, la presencia de oxígeno, la temperatura, la influencia de la luz, los requerimientos nutricionales, tamaño de partícula, y el efecto de inhibidores, entre otros.

2.2 MECANISMOS DE LIXIVIACIÓN

Como aspectos generales de la lixiviación bacteriana la biooxidación es una técnica puesta al servicio de la industria minera desde hace no muchos años, surge por los resultados obtenidos como método casi natural de procesamiento de minerales sulfurados. Es una alternativa no contaminante para la oxidación de minerales sulfurados con contenidos de oro y plata, gracias a la participación de múltiples microorganismos que al descomponer los

sulfuros metálicos dejan en libertad los metales preciosos ocluidos, para luego disolverlos mediante cianuración u otras técnicas. (Pedraza, 1996)

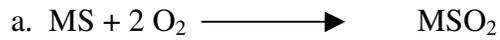
Los microorganismos utilizados son organismos esencialmente autótrofos que viven en las aguas de las minas, capaces de oxidar el hierro ferroso, el azufre o sus compuestos, de donde toman la energía necesaria. El papel real que las bacterias juegan en el proceso de lixiviación es de ser catalizadores vivientes, aceleran las reacciones que son extremadamente lentas en su presencia. (Pedraza,1996)

La mayoría de investigaciones coinciden en que el proceso de disolución de los sulfuros por la acción de las bacterias se realiza mediante dos mecanismos: acción directa y acción indirecta.

El primero se refiere a la acción oxidante de las bacterias autótrofas que actúan directamente sobre elementos componentes de los sulfuros minerales, catalizando las reacciones, o extrayendo de los sulfuros los iones S^{-2} por medio de una molécula compleja orgánica que genera la célula. Esta acción conduce a la desintegración del sulfato que hace pasar el Ion positivo a la solución El segundo mecanismo es la acción química de un agente oxidante (como el Ion férrico), que puede encontrarse en el sistema de reacción, por adición del reactivo o como resultado del sistema reaccionante. (Pedraza,1996)

La bacteria estimula la oxidación y disolución de los sulfuros según las siguientes reacciones: (Pedraza,1996)

Bacteria



b. Oxidando el Ion ferroso del electrolito.

Thiobacillus



ferrooxidans

El ion férrico extrae electrones de la superficie de los sulfuros, si la acción es energéticamente posible:



c. Oxidando el azufre molecular que se acumula sobre la superficie de los sulfuros como resultado de una reacción similar a la anterior.

Thiobacillus



thiooxidans

2.3 EL ORO Y SUS PRINCIPALES TECNICAS DE BENEFICIO

El oro, debido a encontrarse en la naturaleza en estado nativo se conoce desde la más remota antigüedad. El hombre prehistórico lo emplea antes que el cobre y lo utilizaba en forma de delgadas placas. En los palafitos de las Edades de Piedra y de Bronce en Suiza y Francia se han encontrado objetos de este metal. Las primeras explotaciones industriales realizadas por egipcios y fenicios se remontan a dos mil años a.C Su nombre se deriva del latín aurum y su símbolo es Au. (Pantoja,1999)

2.3.1 Distribución y formas naturales del oro. El oro es un elemento escaso en la naturaleza, y se encuentra principalmente en forma nativa. En el cuadro 2 se señalan los minerales con que típicamente se asocia el oro.

Cuadro 2. Formas naturales del oro

Mineral	Frecuencia
Pirita	Asociación más común
Galena	Relativamente común
Calcopirita	No muy común
Sulfo – arseniuros	Relativamente común
Material Carbonáceo	Común
Minerales de uranio	Común en Sudáfrica
Silicatos y Carbonatos	Relativamente común

(Pantoja, 1999)

2.3.2 Beneficio y Metalurgia del oro. Hasta finales del siglo XIX en que se descubre el método de cianuración, el oro se obtenía por procedimientos basados en su alta densidad y en su facilidad para disolverse en el mercurio, o sea, mediante concentración gravimétrica y

amalgamación. Una clasificación simple desde el punto de vista de los procesos de tratamiento más común es la siguiente: Pantoja, (1999)

1. Oro libre: El proceso más normal es la concentración gravimétrica (oro grueso) y amalgamación (oro fino). La concentración gravimétrica y amalgamación puede emplearse separada o conjuntamente.

2. Menas no refractarias: Los métodos principales son la amalgamación y la cianuración. En las plantas pequeñas, antes de la cianuración se realiza concentración gravimétrica y amalgamación.

3. Menas refractarias no fácilmente recuperables. Requieren pretratamientos específicos antes de someterlas a cianuración, como flotación, oxidación, calcinación y tostación.

2.3.3 Características de la mina de oro de veta ‘Nueva Esparta’. La mina ‘Nueva Esparta’ es una explotación típica de oro de filón o veta en pequeña escala. Según Pantoja (1999) los principales aspectos de esta mina se pueden resumir de la siguiente manera:

A. El entorno de la mina

- Ubicación y acceso. Esta localizada en la vereda Los Guabos del municipio de los Andes, departamento de Nariño, sur occidente de Colombia, a una altitud de 1160ms.n.m., en el flanco oriental de el nudo de los Pastos.

Desde la ciudad de Pasto, capital del departamento existe una distancia de 85Km y se transita por una carretera de segundo orden que pasa por las poblaciones del Tambo y Sotomayor.

- Geomorfología y Climatología. La geomorfología de la región está controlada por una serie de elevaciones que van desde los 1.115m a los 2.520m. La topografía es abrupta con pendientes moderadas hasta muy fuertes. Los frentes de trabajo y la planta de beneficio se encuentran a orillas del río Quebrada Honda, tributaria de río Patía que vierte sus aguas al océano Pacífico. La temperatura promedio de la zona es de 19.5°C con una precipitación anual de 500 a 1500mm.

B. La explotación y el beneficio. El patrón de extracción y procesamiento del mineral seguido en la mina “Nueva Esparta” puede sintetizarse en la figura 1 y en los siguientes pasos según Pantoja (1999) (Ver Anexo E)

1. Reconocimiento de la riqueza del mineral mediante concentración gravimétrica en batea de una pequeña porción de muestra molida manualmente. No se realiza una etapa de exploración sistemática del yacimiento ni una evaluación de la cantidad y calidad del mineral extraído.

2. Construcción de galerías subterráneas principales siguiendo la dirección de la veta y de secundarias a través de su buzamiento.

Las galerías tienen una sección de 2.5m^2 y se excavan con la utilización de compresores y explosivos. La entibación se realiza en los primeros 30m a partir de la bocamina con puertas alemanas de madera y en algunos lugares donde la roca se presenta fracturada. La ventilación es de tipo natural y el alumbrado con lámparas de carburo y velas.

3. Transporte interno del mineral hasta la bocamina, previa selección del material estéril (roca encajante) en carretillas de madera impulsada manualmente. Una parte del estéril se utiliza como material de relleno y el resto se deposita en las escombreras.

4. Transporte interno de la bocamina al patio de los molinos mediante la técnica del cable aéreo por gravedad.

5. Cribado y trituración manual del mineral a 5 cm (2 pulgadas).

6. Molienda a aproximadamente 0.42mm (malla 35 de la serie Tyler) en ‘molino de pisones’ con la adición de mercurio a fin de aprovechar el efecto mezcla de la operación de molienda por vía húmeda, para amalgamar una parte del oro liberado. La alimentación de liberal se realiza manualmente a intervalos de 15 minutos y la adición de mercurio al mortero del molino cada seis horas o menos, según la riqueza del material procesado.

7. Amalgamación en planchas amalgamadoras, localizadas a la salida de los molinos. Las planchas amalgamadoras son activadas diariamente (lavado con zumo de una planta

denominada “cabuya ” o “chilca ” y adición inicial de mercurio), y dependiendo de la cantidad de oro recuperado en la planta (verificación visual) se le agrega más o menos mercurio a diferentes intervalos de tiempo.

8. Concentración gravimétrica en canaletas de madera cubiertas con una tela gruesa de algodón en donde se recupera concentrados que contienen partículas de oro libre, amalgama y mercurio que no han sido atrapadas en el molino ni por las planchas amalgamadoras.

9. Amalgamación de concentrados en barriles amalgamadores accionados por rueda hidráulica durante un periodo de 24 horas. La cantidad de mercurio utilizado esta relacionado con la ley de los concentrados igualmente, se agrega zumo de cabuya y detergente en polvo.

10. Obtención de la amalgama de los diferentes equipos de molienda y amalgamación. La amalgama se retira cada cierto tiempo, así:

Molino	1 semana
Plancha amalgamadora	12 horas
Barril amalgamador	12 horas

11. Recuperación inicial del mercurio mediante exprimido manual de la bola de amalgama en un pedazo de tela fuerte por cuyo entramado filtra una parte de mercurio libre que contiene dicha aleación.

12. Lavado manual de la amalgama con agua y detergente en polvo.

13. Separación final oro mercurio por calentamiento de la amalgama a fuego abierto. Como recipiente se utiliza una lata vacía de conserva y como fuente de calor carbón de leña. Durante el proceso, la amalgama se cubre de cortezas de naranjas o con las hojas de planta de plátano para condensar el mercurio evaporado y tratar de recuperarlo parcialmente.

14. Cianuración de oro residual. El material para la cianuración recibe el nombre de “arenas” y es la fracción que se ha obtenido después de hacer pasar la pulpa previamente de la canaleta por unas excavaciones que se hacen en el terreno, denominadas comúnmente “pozos de sedimentación”. La cianuración se realiza mediante la técnica de precolación, durante tres semanas en piscinas de concreto llamadas “tanques de cianuración” de 40 toneladas de capacidad. Además de cianuro de sodio se usa otras sustancias como cal para ajustar el pH de la solución cianurante y cinc en viruta para precipitar y recuperar el oro y la plata disueltas.

15. Recolección y calcinación a fuego abierto de los precipitados de cianuración.

Figura 1. Planta de Beneficio Mina "Nueva Esparta".



C. Composición mineralógica de la veta "La Gruesa". Según Pantoja (1999) la mineralogía detectada es la siguiente.

- Componentes Principales (>5% en volumen):

Cuarzo

Carbonatos

Sericita

Clorita

- Componentes accesorios (>5% en volumen)

Arsenopirita

Tetraedrita

Esfalerita

Galena

Pirita

Calcopirita

Oro nativo y electrum

Trazas de sulfosales y telururos

- Asociaciones mineralógicas del oro.

1. Incluido en cuarzo

2. Alojado ó acompañando a:

- Sulfoarseniuros
- Sulfuros, especialmente con galena
- Sulfosales con sulfoarseniuros y sulfuros

- Morfología del oro. Dos tipos genéticos de oro nativo que se traducen en morfologías diferentes:

1. Oro granular diseminado en cuarzo o intercrecido con sulfuros. (Véase figuras 2 y 3)

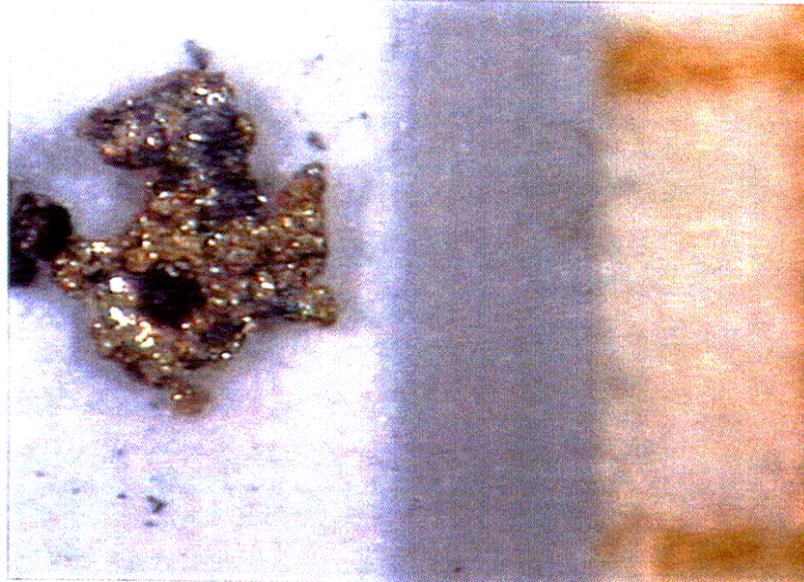
2. Oro tardío que rellena microfisuras:

- En cuarzo

- En minerales sulfurados

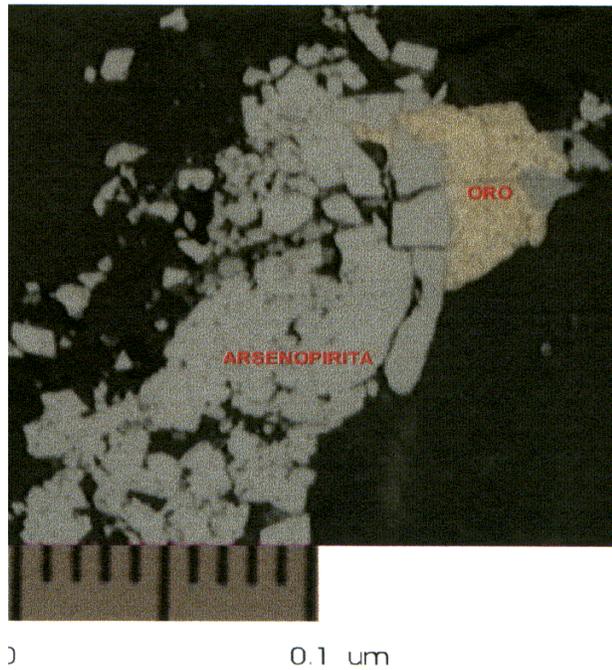
- Composición del oro. El oro se encuentra fundamentalmente en forma de elemento nativo aleado con plata.

Figura 2. Grano Mixto oro-sulfuro localizado en la veta la Gruesa.



Fuente: Pantoja (1999)

Figura 3. Oro acompañado con arsenopirita.



Fuente: Pantoja (1999)

2.3.4 Método de cianuración. En 1846 en Alemania se demostró la solubilidad del oro en soluciones diluidas de cianuro de potasio. Posteriormente, se mejoró y se patentó este método en Inglaterra.

A pesar de ser el oro uno de los metales con un potencial de oxidación fuertemente positivo, es tal la afinidad del ión Au^+ por el ión CN^- , que en medio cianurado se comporta como un metal electronegativo fácilmente oxidable.



El pH de la lixiviación del oro se encuentra entre 11 y 12. Valores inferiores dan lugar a la disminución de la concentración efectiva del cianuro, pero por encima de un pH 12 empieza a disminuir la velocidad de reacción y a un pH superior a 13, la velocidad cae tan fuertemente, que a un valor de 14 prácticamente se anula.

La importancia del oxígeno en la disolución del oro debe recalcar. A baja concentración de cianuro, la influencia del oxígeno no tiene efecto en la disolución del oro por estar gobernada por la difusión del cianuro. Sin embargo, para concentraciones altas de este producto la velocidad de reacción depende directamente de la influencia del oxígeno.

La velocidad de disolución del oro depende del tamaño de la partícula. Una buena recuperación de oro se logra en partículas finas y en un tiempo económicamente aceptable; una vez disuelto el oro existen dos maneras tradicionales de separarlo de la solución: Por cementación con viruta o polvo de cinc y por absorción sobre carbón activo. El producto obtenido a partir del cinc o el carbón activo se somete a un proceso de fusión y refinación al fuego, para la obtención de las barras de oro.

2.3.5 Precipitación del oro. Para la precipitación del oro y plata de soluciones de Cianuro se han usado 5 métodos a saber, Zn, Al, carbón activado, sulfuro de sodio y electrólisis. En el Departamento de Nariño, se utiliza únicamente el zinc en viruta.

La reacción neta es la siguiente:



Una eficiente precipitación del oro depende del control adecuado de ciertas propiedades físico químicas de la solución. Las propiedades más importantes son: eliminación de todo tipo de sólidos y materias en suspensión para lograr una perfecta clasificación ya que esta permitirá obtener un precipitado limpio. Debe controlarse el oxígeno y bióxido de carbono disueltos en la solución, la concentración del cianuro y la alcalinidad. (Pantoja, 1999)

3. METODOLOGÍA

3.1 ZONA DE TRABAJO Y MUESTREO

Se visitaron diferentes minas en el Departamento de Nariño, como “ El Verde”, ‘Panacualt’ en el municipio de Mallama, ‘El Cisne y ‘Nueva Esparta’ en el municipio de la Llanada y los Andes, respectivamente, con el objeto de conocer los sistemas de operación y la recolección de aguas ácidas y mineral. En la zona minera de Nariño existen explotaciones mineras catalogadas según la legislación minera de Colombia como de pequeña minería y en donde se emplean métodos artesanales tanto en la extracción del mineral como en su beneficio.

Proceso de muestreo. En estas minas se conocieron y documentaron los sistemas de beneficio del oro y se recolectaron muestras de aguas ácidas, mineral bruto y residuos de amalgamación y cianuración así:

Mina ‘El Verde’, No se encontraron aguas ácidas y tampoco se tomaron muestras del mineral.

Mina ‘Panacualt’, Se recolectaron residuos de cianuración para preparar ‘extracto de mina’, necesario en el proceso de cultivo de *Thiobacillus*.

Mina ‘El Cisne’, Se tomaron muestras de aguas ácidas para el aislamiento de las bacterias con pHs, 2.85, 2.92 y 3.15 en recipientes de vidrio previamente esterilizados, de 350ml de capacidad, transportados en una nevera portátil desde la mina ‘El Cisne’ hacia los laboratorios de la Universidad de Nariño, para su posterior aislamiento y cultivo.

Mina ‘Nueva Esparta’, fué la mina seleccionada para el pretratamiento bacteriano, de la cual se tomaron muestras del mineral y residuos de cianuración y amalgamación (colas). El mineral bruto se tomó directamente de la veta ‘La Gruesa’ y el Mineral sin cianurar y cianurado de las pilas de almacenamiento a profundidad de 0.50m y en diferentes puntos de los montones. El material se mezcló para tomar una muestra general de 15Kg aproximadamente, se rotularon todas las muestras, se almacenaron en empaques de fibra y se transportaron para los análisis y pruebas a los Laboratorios de la Universidad de Nariño y Centro Minero de Corponariño en Sotomayor.

3.2 AISLAMIENTO Y CULTIVO DE LA BACTERIA *Thiobacillus*

3.2.1 Aislamiento de bacterias lixiviantes. Para esta etapa se tomaron las aguas ácidas provenientes de la formación de ácido que ocurre cuando un grupo de bacterias oxidantes de sulfuros y de hierro transforman la pirita y otros sulfuros en ácido sulfúrico. Se trata de bacterias muy especiales, que son capaces de vivir a valores de pH muy bajos, por esta razón se les llama bacterias acidofilas. Además ellas obtienen todos sus nutrientes de los elementos minerales que se encuentran en una mina.

El medio de cultivo en el cual se inocularon las muestras de aguas ácidas de mina se preparó con fuentes de carbono y de azufre.

Se realizó un medio base para preparar 100 ml, según lo especificado por Sañudo B. (2002), Laboratorio 1 de Biología. Universidad de Nariño.

- Fuente de azufre 2 g
- Extracto de mina 10 ml.
- Fuente de carbono 1 g
- Nitrato de potasio 0.5 g
- Agua destilada 90 ml.

Extracto de mina: Consistió en hervir 250 g. de arena en 500 ml de agua y se llevó a autoclave, para luego dejar decantar.

Para preparar el caldo de cultivo se tuvo en cuenta que las bacterias oxidan algunas formas reducidas de azufre y hierro contenidos en los minerales; simplemente porque de esa reacción obtienen la energía necesaria para su reproducción y crecimiento. Adicionalmente requieren oxígeno y dióxido de carbono, los que obtienen del aire, y otros nutrientes necesarios para su crecimiento, como pequeñas cantidades de nitrógeno y fósforo.

El caldo de cultivo se preparó en botellas estériles de 350ml; una vez preparado el medio base se adicionaron las fuentes de carbono y de azufre más una fuente de nitrógeno que es nitrato de potasio, con cuatro repeticiones para cada tratamiento así:

Tratamiento 1: Carbonato de calcio + Sulfuro de hierro

Tratamiento 2: Carbonato de calcio + Tiosulfato de sodio

Tratamiento 3: Carbonato de calcio + Azufre elemental

Tratamiento 4: Bicarbonato de sodio + Sulfuro de hierro

Tratamiento 5: Bicarbonato de sodio + Tiosulfato de sodio

Tratamiento 6: Bicarbonato de sodio + Azufre elemental

Figura 4. Medios iniciales en el aislamiento de la bacteria previa a la incubación.



Una vez preparados los seis tratamientos líquidos se regularon a un pH de: 4.5, 5.0, 5.5 y 6.0 de tal forma que se trabajó con 24 tratamientos para cada muestra de agua de mina (2.85, 2.92 y 3.15), para un total de 72 tratamientos previamente esterilizados y se inoculó 1ml de cada muestra de agua de mina. Se incubó a 30°C (es la temperatura promedio favorable para bacterias mesofílicas), durante dos meses y se realizó control de pH, observación microscópica para determinar la movilidad de las bacterias en el medio de cultivo y tinción de gram, con intervalos de 15 días aproximadamente.

Se tomaron como positivos los tratamientos con bajas representativas de pH y que registraron crecimiento, que corresponden al tratamiento 6 con pH regulado a 4.5 y 5.0 de las muestras de agua de mina con pH 3.15 y 2.85. Se preparó 100 ml de medio base con los componentes del tratamiento 6 regulado a pH 5.0 en botellas estériles y se inoculó 1ml del tratamiento positivo. Se trabajó durante 2 meses haciendo revisión de pH y observación microscópica cada 15 días para elegir los tratamientos positivos, sin aplicar diseño experimental por tratarse de pruebas de aproximación.

3.2.2 Purificación. De los tratamientos positivos se hicieron diez repeticiones en medio sólido, con los componentes del tratamiento 6, más agar bacteriológico 15g/l. y se reguló a pH 5.0 e incubó a 30°C. El pase al medio sólido se hizo con rayado superficial por estrías, usando asa de argolla y se incubó las cajas en forma invertida a 30°C durante una a cuatro semanas.

Se observó su desarrollo y morfología y se hizo tinción de gram, ya purificadas se llevaron a medio líquido en tubos, se incubó a 30°C hasta observar crecimiento y bajas de pH.

Figura 5. Siembra en caja petri de la bacteria *Thiobacillus*.



3.2.3 Multiplicación y enriquecimiento. Se inocularon 0.4ml de la solución purificada en 20ml de medio estéril que tiene los mismos componentes del tratamiento 6, se incubó a 30°C por 10 días. Se agregó 80ml de medio estéril, se incubó en las mismas condiciones. Se agregó 100ml del medio estéril y se incubó por 20 días para el enriquecimiento del medio con el objeto de ir buscando incremento de la población bacteriana. Se evaluaron las bajas de pH y el crecimiento bacterial, se eligieron los “Aislados de Trabajo”.

Figura 6. Aislados de trabajo obtenidos en el proceso de Aislamiento y cultivo de la bacteria *Thiobacillus*.



3.2.4 Conservación. Se realizó en medio sólido y líquido con los componentes del tratamiento 6, para el medio sólido se tomó una colonia con la ayuda de un asa, se sembró por punción y rayado superficial en el medio y se incubó a 30°C hasta que se observó buen crecimiento y se mantuvo en refrigeración a 4°C. Para el medio líquido se tomó una asada, se incubó y conservó en las mismas condiciones.

3.3 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA BIOLIXIVIACION EN LA RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA

3.3.1 Preparación de las muestras de mineral. Pantoja (1999) sugiere que, antes de realizar las pruebas de concentración y cianuración es necesario obtener una muestra representativa

del mineral mediante una operación denominada cuarteo para desmenuzar el mineral (conminución) a través de trituración y molienda.

a. El desmuestre o cuarteo tiene el objeto de obtener una porción representativa de mineral que se destinó a la realización de una prueba o análisis de oro y plata de los productos obtenidos.

b. Conminución (trituración y molienda) La primera etapa de la conminución fue la trituración del mineral para reducir su tamaño inicial y facilitar la molienda. Se trituró por única vez y en forma separada todo el material del mineral bruto de la veta la Gruesa mediante un molino de bolas en el Centro Minero de Sotomayor. La operación de molienda se hizo con el fin de liberar los minerales valiosos de la ganga o para reducir de tamaño una porción de muestra que fué sometida a un proceso de análisis.

El molino de bolas fue el principal equipo de molienda empleado durante esta investigación. Para la molienda, se utilizó un pequeño recipiente de hierro de un kilogramo de capacidad en cuyo interior se colocó el mineral y bolas de hierro de diferente tamaño. La granulometría requerida se obtuvo cribando el mineral molido durante un determinado tiempo por un tamiz de luz de malla escogido y el rechazo se volvió a moler.

3.3.2 Análisis granulométrico. El propósito de los análisis granulométricos, fue obtener datos cuantitativos acerca de la distribución del tamaño de las partículas en el material, y se realizó, haciendo pasar un peso dado de muestra sucesivamente a través de una serie de

tamices cada vez más finos y pesando la cantidad que se recolecta sobre cada tamiz, para determinar el porcentaje en peso de cada fracción. El tamizado se llevo a cabo manualmente con los tres tipos de mineral proveniente de la mina “Nueva Esparta”. Se utilizó tamices de diferentes aberturas: 1000, 500, 250, 123 y 63 micrones (μ).

Se pesaron 1000 g de la muestra total de Mineral bruto que fue molido con anterioridad a una determinada granulometría (véase cuadro 3) y se vertieron sobre el tamiz de luz de malla superior que se acopló sobre un fondo ciego que sirvió de depósito receptor de las partículas finales de menor tamaño y se lo tapó. Seguidamente, se tamizó mediante un rotador eléctrico.

Después del tiempo necesario, se recogió el material que quedó en los tamices y se pesó. A continuación se vertió el material recogido en el fondo ciego sobre el próximo tamiz y se repitió el proceso anterior hasta completar el análisis granulométrico. Al final se tuvieron los pesos de las fracciones retenidas y de la fracción recogida en el fondo ciego.

Se trato de conservar cierta afinidad entre el grosor de el Mineral bruto que fue molido y los otros dos, para llevar a condiciones similares de granulometría a las muestras durante el proceso de lixiviación.

3.3.3 Inoculación al mineral. Se trabajó con tres tipos de mineral recolectado en la mina “ Nueva Esparta”: Mineral Bruto (mineral extraído directamente de la veta), Mineral Cianurado (residuos de cianuración y amalgamación) y Mineral sin Cianurar (extraído el oro libre por amalgamación). El diseño experimental fue irrestrictamente al azar con 11 tratamientos y dos repeticiones.

De cada muestra de mineral se pesó 600g que fueron depositados en bandejas plásticas y se cubrieron con agua destilada. Para la inoculación al mineral se utilizaron los aislados de trabajo por duplicado, tomando un solo inóculo de 20ml para cada bandeja. Para cada mineral se trabajó con 22 bandejas incluyendo el testigo, de la siguiente forma:

Tratamiento 1: Mineral + Aislado 1

Tratamiento 2: Mineral + Aislado 2

Tratamiento 3: Mineral + Aislado 3

Tratamiento 4: Mineral + Aislado 4

Tratamiento 5: Mineral + Aislado 5

Tratamiento 6: Mineral + Aislado 6

Tratamiento 7: Mineral + Aislado 7

Tratamiento 8: Mineral + Aislado 8

Tratamiento 9: Mineral + Aislado 9

Tratamiento 10: Mineral + Aislado 10

Tratamiento 11 (testigo) : Mineral + Agua destilada

Se dejaron a temperatura ambiente, durante 100 días, cada 5 días se hizo control de pH, y se adicionó agua destilada a las bandejas cada vez que se observaba afloramiento de las arenas.

Figura 7. Inoculación de la bacteria *Thiobacillus* al mineral bruto, mineral sin cianurar y mineral cianurado, en bandejas plásticas.



Figura 8. Bandejas plásticas con el mineral inoculado por duplicado.



3.3.4 Pruebas de cianuración. La muestra molida a una determinada granulometría se agitó a 500 r.p.m. en un reactor de vidrio de un litro de capacidad en una solución alcalina de cianuro de sodio. Los componentes fueron los siguientes:

Mineral : 250 g

Agua : 500 ml

Na CN: 0.75 g/l

Ca(OH)₂ : 0.4 g/l

3.3.4.1 Pruebas de referencia. El objeto de estas pruebas fue valorar el consumo de cianuro. Al final de la prueba no se obtiene el producto final, es decir, el botón de metales preciosos, debido a que se presentan pérdidas de oro al extraer solución para titular cianuro. El procedimiento es el siguiente:

Se vertió una cierta cantidad de agua a un beaker de un litro y se añadió, al mismo tiempo los mencionados reactivos. A continuación se puso en marcha el rotor y después de aproximadamente dos minutos se agregó el mineral. Seguidamente, se midió el pH inicial que debía estar entre 11 y 11.5; valor que se mantuvo durante todo el proceso, al igual que la concentración de cianuro.

La medición del grado de alcalinidad de la solución se realizó mediante un pH metro y la valoración del cianuro se hizo así: se tomaron 10 ml de solución a los que se le agregaron tres gotas de yoduro de potasio al 1%, y al tiempo que se agitó constantemente en una plancha centrifugadora, se agregó gota a gota el nitrato de plata al 0,1% desde una bureta hasta cuando apareció en el interior de la solución una opalescencia de nube blanca amarillenta.

En las “pruebas definitivas” no se extrajo solución y se mantuvo la concentración inicial de cianuro agregando a la hora correspondiente, la cantidad valorada durante las “pruebas de referencia”.

3.3.4.2 Precipitación. Una vez transcurrido el tiempo fijado para cada prueba, se pasó la “solución rica” por un filtro al vacío. Dicha solución contenía en su totalidad los metales preciosos que se habían podido lixiviar, los cuales se recuperaron con cinc en polvo (cementación) siguiendo estos pasos:

A la solución se le añadió acetato de plomo al 10% y enseguida cinc en polvo, se agitó fuertemente y se calentó. En el momento en que empezó la ebullición, se añadió ácido clorhídrico concentrado y se dejó hervir durante un tiempo para que se disuelva el cinc. Se filtro la solución y se lavó por varias veces la masa esponjosa (plomo reducido con oro y plata) que había quedado sobre el filtro con agua débilmente alcalina, se envolvió en el filtro y secó en el horno a 60°C.

3.3.4.3 Copelación. El filtro con el plomo esponjoso se envolvió en una lámina de plomo y se llevó a copelación a 900°C para obtener el botón de metales preciosos. Los residuos de mineral que habían quedado en el filtro se recogieron cuidadosamente, se secaron, se pesaron y se analizó una muestra representativa por fusión directa para obtener el oro y la plata residuales.

3.3.4.4 Análisis de oro y plata por fusión directa (ensayos al fuego). Para la obtención del botón de metales preciosos se hizo lo siguiente:

Se mezcló 20g de mineral con fundente compuesto por: una mezcla A de 70g compuesta por litargirio, carbonato de sodio y bórax. Posteriormente se añadió una mezcla reductora compuesta por 3g de harina y 4g de carbonato de sodio, se homogeneizó los fundentes y el mineral, luego se cubrió con bórax el crisol. Se depositaron estos materiales en el crisol caliente a 800 °C y se introdujeron en la mufla calentando a 1000°C hasta fusión tranquila. Se mantuvo el crisol en fusión durante aproximadamente 45 minutos, agitándolo intermitentemente en forma rotatoria sin sacarlo de la mufla, de modo que no quedaran agregados sin fundir. Así se obtuvo una mezcla fluida de la muestra y plomo metálico que se dejó enfriar al tiempo que se golpeó suavemente para que el plomo se concentrara en la parte inferior del material fundido.

Una vez enfriado se vació el crisol en una lingotera y se separó manualmente con la ayuda de un martillo el botón de plomo de la escoria. El plomo actuó como colector de los metales preciosos. La eliminación del plomo, se consiguió por “copelación”, operación que consistió en someter a calentamiento el botón. Se obtuvo a una temperatura de 900°C entre 30 minutos y 2 horas según el tamaño del botón y de la copela, la cual debió ser previamente calentada a 900°C y tener como mínimo el mismo peso que el botón de plomo para que pudiera ser absorbido, de tal manera que en su superficie quedara un diminuto botón conteniendo los metales preciosos.

a. Partición (ataque ácido). Fue un procedimiento destructivo del botón debido a que fue necesario separar el oro de la plata mediante disolución de esta última en ácido nítrico.

Se calentaron 15ml de ácido nítrico al 10% hasta ebullición, momento en el cual se agregó el botón de metales preciosos que había sido previamente pesado y laminado y se le dejó durante 10 minutos. Seguidamente, se quitó el ácido cuidadosamente y se puso otros 15ml del mismo ácido a una concentración de 30% y se repitió el tratamiento anterior con una concentración de ácido de 70%. Se volvió a quitar el ácido para luego lavar el producto obtenido (oro puro), varias veces por decantación con agua destilada. Finalmente se colocó el oro en una navecilla de porcelana, se desecó con la ayuda de un trozo de papel filtro y se calcinó fuertemente en una mufla.

Después de frío se pesó en la balanza analítica, con lo cual la cantidad de oro se dedujo directamente de la pesada y la de la plata se calculó a partir de la diferencia entre el peso del botón resultante de la copelación y el oro obtenido con el anterior proceso.

Al separar la plata del oro mediante ácido nítrico se tuvo en cuenta que sólo se verifica bien cuando el botón contiene tres partes de plata o más por una parte de oro. En el caso de no cumplirse esa relación, se debe copelar nuevamente el botón añadiendo plata pura hasta que haya por cada tres partes de plata una de oro, operación a la que se le denomina “encuartación”.

La concentración de metal precioso en la muestra de oro es:

$$C=B \cdot 10^3/M(\text{g/t})$$

Donde: B, es el peso del metal precioso en mg.

M, es el peso de la muestra en g.

Para el análisis de datos se aplicó un diseño experimental irrestrictamente al azar con 11 tratamientos y dos repeticiones.

3.3.4.5 Recuperación de oro. Los pesos del oro fueron los productos obtenidos en el proceso de la cianuración, fueron valores promediados de las repeticiones, expresados en miligramos y se obtuvieron en balanza analítica de 4 ceros, además se expresó la ley o tenor (gramos de oro por tonelada de mineral) y el porcentaje de recuperación de oro.

3.4 PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DEL GENERO *Thiobacillus*

Se seleccionaron los aislados bacteriales con poblaciones abundantes y bajas apreciables de pH en el medio de cultivo para efectuar la identificación de *Thiobacillus* empleando cuatro tipos de medio modificado (Bergey' s1986), y regulado a pH 6.0 y 4.0, inoculando 1ml del aislado correspondiente. Teniendo en cuenta esto se trabajó con 48 botellas incluyendo los testigos, se incubó a 30°C por 20 días así:

- Medio Modificado 1 (Para preparar 100ml)

0.5 g Tiosulfato de Sodio

0.2 g Carbonato de Calcio

0.1 g Nitrato de Potasio

100 ml agua destilada

Regulado a pH 6.0 4.0

- Medio Modificado 2 (Para preparar 100ml)

0.5 g Tiosulfato de Sodio

0.5 g Glucosa

0.1 g Nitrato de Potasio

100 ml agua destilada

Regulado a pH 6.0 4.0

- Medio Modificado 3 (Para preparar 100ml)

0.5 g Tiosulfato de Sodio

0.2 g Carbonato de Calcio

0.1 g Nitrato de Potasio

0.05 g Glutamina (L-glutamato)

100 ml agua destilada

Regulado a pH 6.0 4.0

- Medio Modificado 4 (Para preparar 100ml)

0.5 g Tiosulfato de Sodio

0.5 g Glucosa

0.1 g Nitrato de Potasio

0.05 g Glutamina (L-glutamato)

100 ml agua destilada

Regulado a pH 6.0 4.0

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 AISLAMIENTO Y CULTIVO DE LA BACTERIA *Thiobacillus*

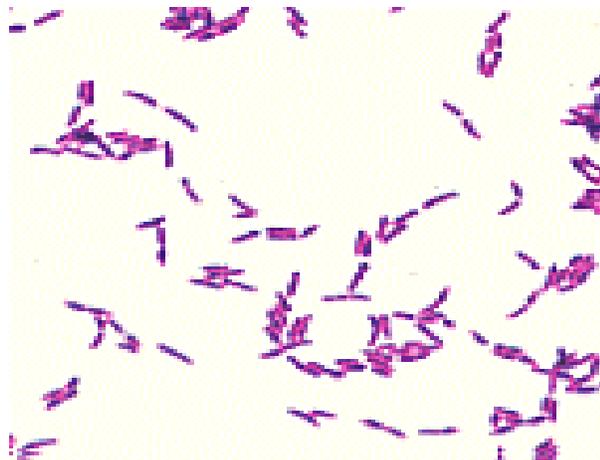
4.1.1 Aislamiento de bacterias lixiviantes.

Las bacterias tuvieron buena distribución en la Mina ‘El Cisne’, de donde se tomaron las muestras de agua ácida, que tenían pH de 2.85, 2.92 y 3.15. La zona de muestreo se caracterizaba por aguas con sobre nadante en forma de nata, de color rojizo-anaranjado, que posiblemente era producto de la oxidación bacteriana, que se acumuló en la superficie del agua.

Durante el tiempo de incubación en el aislamiento, hubo desarrollo lento y bajas de pH considerables por la presencia de la bacteria. Castro (1986) sugiere que las bajas de pH, se pudieron presentar por la continua producción de ácido, lo que permite la solubilización de sustancias a sales. Las bajas apreciables de pH se presentaron a partir de los 60 días aproximadamente, y al hacer observaciones microscópicas sin tinción de gram, se comprobó el movimiento de bacterias, en forma de pequeños bacilos incoloros.

4.1.2 Purificación. Se observó que el crecimiento en medio sólido es muy lento y tarda de tres a cuatro semanas, apareciendo colonias pequeñas con centros levantados de color amarillento opaco; otras pequeñas, planas, circulares, redondas y opalescentes; algunas lisas, circulares y cambian de transparente a blancuzco. Se realizó observación microscópica y se detectó la presencia de bacilos cortos móviles y no móviles y en la tinción de gram se observaron bacilos gram negativos, morfología que permite suponer la presencia de *Thiobacillus*, creciendo sobre un medio estrictamente mineral.

Figura 9. Observación microscópica con tinción de gram. Bacilos gram negativos.



4.2 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA BIOLIXIVIACIÓN EN LA RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA

4.2.1 Análisis granulométrico. Cada una de las tres muestras provenientes de la mina ‘Nueva Esparta’, se sometió a análisis granulométrico (Véase cuadro 3 y Anexo F).

Cuadro 3. Análisis granulométrico en los tres tipos de mineral.

No.	Luz de malla (μ)	Paso acumulado %		
		Mineral bruto	Mineral sin cianurar	Mineral cianurado
1	1000	99.39	100	100
2	500	98.06	99.73	99.07
3	250	62.54	86	83.78
4	125	11.7	43.39	46.79
5	63	2.92	17.34	22.49

El análisis granulométrico para el mineral sin cianurar y el mineral cianurado en cuanto al grosor de la arena indica que el 80% de las muestras están por encima de 250 μ siendo de 86 y 83.78% respectivamente. Los valores son similares ya que las muestras analizadas presentaban la granulometría usada en la mina, mientras que la muestra del mineral bruto se sometió a molienda para aproximar su grosor al de los otros dos minerales, el 80% de la muestra del mineral bruto se encuentra por encima de las 250 μ con un valor cercano a 321 μ . Se realizó este análisis para que la acción bacteriana se diera en las mismas condiciones en los tres tipos de mineral y los resultados no se vean alterados sobre todo con el mineral bruto el cual proviene directamente de la veta.

4.2.2 Análisis de oro y plata del mineral. Muestra la totalidad de oro y plata, que existe en cada una de las muestras del mineral y que se obtuvo mediante el proceso de fusión directa o ensaye al fuego (ver cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de oro y plata de las muestras por fusión directa, expresada en gramos por tonelada.

Muestra	Au (g/ton)	Ag (g/ton)
Mineral bruto	16	30
Mineral Sin Cianurar	6	19
Mineral Cianurado	2	25,5

4.2.3 Inoculación al mineral

4.2.3.1 Evaluación de pH. En el transcurso de los días, el valor del pH en las bandejas disminuyó progresivamente, debido al aumento de actividad que experimentan las bacterias oxidantes del género *Thiobacillus* como se observa a continuación.

Cuadro 5. Relación de cambios de pH observados con los diferentes aislados durante los 100 días de incubación.

Día	Mineral	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	T	X
10	a1	7	6.78	7.03	7	6.5	6.79	6.73	6.75	7.04	6.65	6.99	7.16
	a2	7.17	7.15	7.23	7.22	7.19	7.22	7.25	7.21	7.3	7.06	7.24	
	a3	7.5	7.29	7.66	7.52	7.45	7.31	7.31	7.31	7.29	7.58	7.69	
40	a1	6.9	6.73	7.02	6.96	6.99	6.65	6.54	6.51	6.81	6.43	7.05	7.04
	a2	7.19	7.05	7.16	7.08	7.08	6.61	6.84	6.89	7.08	6.69	7.21	
	a3	7.4	7.34	7.47	7.4	7.39	6.85	7.42	7.35	7.48	7.25	7.52	
70	a1	6.8	6.59	7	6.81	6.9	6.58	6.49	6.5	6.61	6.28	7.17	6.96
	a2	7.1	6.66	7.15	7.09	7.09	6.73	6.71	6.77	6.97	6.6	7.23	
	a3	7.24	7.28	7.33	7.24	7.28	7.26	7.17	7.21	7.37	7.01	7.48	
100	a1	6.78	6.07	7.04	6.8	6.8	6.16	6.17	6.18	6.32	5.62	7.19	6.63
	a2	7	6.17	7.12	6.95	7.03	6.2	6.25	6.25	6.4	5.92	7.28	
	a3	7.2	6.64	7.3	7.2	7.26	6.59	6.56	6.49	6.62	6.08	7.41	

a1: Mineral sin cianurar (extraído el oro libre por amalgamación)

a2: Mineral cianurado (residuos de cianuración y amalgamación)

a3: Mineral bruto (extraído directamente de la veta)

En cuanto a las bajas en el pH se notó que en el mineral sin cianurar (extraído el oro libre por amalgamación) en el transcurso de los 100 días disminuyó de 6.84 a 6.46. El mineral cianurado (residuos de amalgamación y cianuración) bajó de un pH de 7.2 a 6.59 y el mineral bruto (extraído directamente de la veta) bajó de un pH de 7.44 a 6.85 y en el testigo el nivel de pH se mantiene relativamente constante iniciando en 7.31 y finalizando en 7.29.

El proceso de disolución de un sulfuro puede originarse ya sea por un modelo químico, electroquímico y bacteriano, esto depende de las condiciones en que se encuentre el sistema: sólido (mineral), líquido (solución lixivante) y bacteriano. Con la acción de las bacterias se acelera la rapidez de la lixiviación dando lugar a la formación de ácido sulfúrico (H_2SO_4), lo que en el agua lleva a desionización $H^+H^+SO_4^{-2}$, aumentando la cantidad de hidrogeniones.

En el mineral inoculado hay una disminución gradual y es evidente la tendencia a la acidificación, este hecho podría estar indicando un parcial aumento del sistema de oxidación de los sulfuros sobre los compuestos de azufre con la correspondiente producción de ácido sulfúrico, tal como lo menciona Castro (1986). Mientras que en el testigo el pH se mantiene constante, porque sin la acción bacteriana, se da solo una interacción química.

4.2.3.2 Análisis Estadístico del efecto de la biolixiviación sobre el pH del mineral inoculado.

a. Día 10

En el análisis de variancia se encontraron diferencias altamente significativas para el tipo de mineral (factor a), para los aislados bacterianos (factor b), como para la interacción factor a x factor b.

Con el tratamiento del mineral sin cianurar (a1) el pH fue menor (6.84) significativamente que con los tratamientos del mineral bruto (a3) (7.44) y del mineral cianurado (a2) (7.20), debido posiblemente a la mayor disposición de materiales minerales susceptibles de oxidación. Cuando se determinó el efecto de los aislados bacterianos, se obtuvo que los aislados menos eficientes fueron 3 y 4 por un comportamiento significativamente similar al tratamiento testigo (pH 7.24 – 7.30). Los tres tratamientos difirieron significativamente con respecto a los aislados mas eficientes que fueron 5, 2, 8, 7, 6 y 10 (pH 7.04 – 7.10).

Para el tratamiento del mineral sin cianurar (a1), los aislados 9, 3, 1 y 4 tuvieron comportamiento similar al testigo (pH 6.99 – 7.04), siendo ineficientes significativamente respecto a los aislados 5, 10, 7 y 8 (pH 6.50 – 6.75).

Para el tratamiento del mineral cianurado (a2), no hubo diferencia significativa entre los aislados bacterianos y el testigo, con un pH 7.10 – 7.30. Para el tratamiento del mineral bruto (a3) los aislados 10 y 7 tuvieron similar comportamiento que el testigo (pH 7.58 – 7.69), con diferencias significativas respecto a los aislados 9, 2, 8, 7 y 6 (7.29 – 7.31). (Ver anexo A). Los resultados encontrados permiten determinar el efecto negativo de la cianuración sobre la acción de las bacterias, probablemente por crear un ambiente reducido.

b. Día 40

En el análisis de variancia se obtuvo diferencias altamente significativas para el factor a (Tipo de mineral), el factor b (los aislados bacterianos) y para la interacción factor a x factor b.

En el tratamiento del mineral sin cianurar (a1) el pH de 6.77, fue menor significativamente que en los tratamientos del mineral cianurado (a2), y mineral bruto (a3) con pH 6.99 y 7.35 respectivamente, también mostrando significancia. En cuanto al factor b (los aislados bacterianos), los aislados 9, 4, 5, 1 y 3 fueron significativamente similares al testigo (pH 7.12 – 7.26), siendo diferentes de manera significativa a los aislados más eficientes que fueron 6 y 10 (pH 6.70 – 6.79). Se sigue determinando una tendencia respecto a lo observado en el día 10 que indica la posibilidad de mayor disposición de fuentes de oxidación.

Para el tratamiento del mineral sin cianurar (a1), los aislados 5 y 3 fueron similares al testigo (pH 6.99 – 7.05), con diferencias significativas respecto a los aislados 10, 8 y 7 (pH 6.43 – 6.53). Para el tratamiento del mineral cianurado (a2), los aislados 3 y 1 fueron similares al testigo (pH 7.16 – 7.21), con diferencias significativas respecto a los aislados 6 y 10 (pH 6.61 – 6.69). Para el tratamiento del mineral bruto (a3), los aislados 4, 5, 1 y 3 fueron similares al testigo (pH 7.14 – 7.26) al superar significativamente al aislado 6 (pH 6.70). (Ver anexo B)

Haciendo una comparación en cuanto al comportamiento de la tendencia hacia la acidificación del medio en el día 40 respecto al 10 se puede decir que entre el mineral sin cianurar y el mineral bruto no hay diferencias notables en las bajas de pH, en cuanto a esto la diferencia es de 6.84 a 6.78 y de 7.44 a 7.35 respectivamente, en tanto que en el mineral cianurado se manifiesta un proceso de acidificación más marcado con una diferencia de 7.2 a 6.99 esto se debe a la presencia de sales oxidadas del mineral.

c. Día 70

En el análisis de variancia, se obtuvo diferencias altamente significativas para el factor a (Tipo de mineral), el factor b (aislados bacterianos) y para la interacción factor a x factor b.

En el factor a (Tipo de mineral) el tratamiento a1 con pH 6.7 mostró diferencias significativas respecto a los tratamientos del mineral cianurado (a2), y del mineral bruto (a3) con pH 6.92 y 7.26, mostrando también diferencias significativas entre ellos.

En el factor b (aislados bacterianos) los aislados 9, 1, 4, 5 y 3 fueron similares al testigo (pH 6.98 – 7.29) y difirieron significativamente respecto a los aislados 10, 7, 8, 2 y 6 (pH 6.63 – 6.85)

Para el tratamiento del mineral sin cianurar (a1), los aislados 1, 4, 5 y 3 tuvieron comportamiento estadísticamente similar al testigo (pH 6.80 – 7.17), con diferencias significativas respecto a los aislados 10, 7, 8, 6 y 2 (pH 6.28 – 6.59). Para el tratamiento del mineral cianurado (a2), los aislados 9, 5, 4, 1 y 3 mostraron comportamiento estadísticamente similar que el testigo (pH 6.97 – 7.23), con diferencias significativas respecto a los aislados 10, 2, 7, 6 y 8 (pH 6.60 – 6.77). Para el tratamiento del mineral bruto (a3), el aislado 9 se comporto de manera similar al testigo (pH 7.37 – 7.48), con diferencias significativas respecto a los aislados 10 y 7 (pH 7.01 – 7.17). (Ver anexo C)

Se determinó que las bajas de pH respecto al día 40 no son muy notables porque la diferencia entre los promedios oscila entre 0.07 y 0.09, es decir que los promedios del mineral sin cianurar estuvieron entre 6.78 a 6.70, en el mineral cianurado fue de 6.99 a 6.92 y en el mineral bruto fue de 7.35 a 7.26. Se sugiere que durante estos 30 días la bacteria probablemente se estabilizo en el medio provocando una baja relativamente constante entre los tres tipos del mineral, especialmente en el mineral cianurado el cual inicialmente presentaba una bajas considerables para luego normalizarse, lo cual se debió a la acción bacteriana que fue bastante intensa durante los primeros 40 días sobre las sales oxidadas del mineral.

d. Día 100

El tratamiento a1 (mineral sin cianurar) permitió mayor reducción en el pH de 6.46, con diferencias significativas respecto a los tratamientos del mineral cianurado (a2), y del mineral bruto (a3) con pH 6.59 y 6.85, mostrando diferencias entre ellos. Para el análisis del factor b (aislados bacterianos) se obtuvo que los aislados 9, 4, 1, 5 y 3 tiene comportamiento estadísticamente similar al testigo (pH 6.95 – 7.29) con diferencias significativas respecto a los aislados 10, 2, 8, 6 y 7 (pH 5.87 – 6.33)

Para el tratamiento del mineral sin cianurar (a1), los aislados 1, 4, 5 y 3 tuvieron comportamiento similar al testigo (pH 6.78 – 7.19), con diferencias significativas respecto a los aislados 10, 2, 6, 7, 8 y 9 (pH 5.62 – 6.32). Para el tratamiento del mineral cianurado (a2), los aislados 1, 4, 5 y 3 fueron similares al testigo (pH 7.00 – 7.28) con diferencias significativas respecto a los aislados 10, 2, 6, 7, 8 y 9 (pH 5.92 – 6.40). Para el tratamiento del mineral bruto (a3), los aislados 1, 4, 5 y 3 se comportaron de manera similar al testigo (pH 7.20 – 7.41), con diferencias significativas respecto a los aislados 10, 8, 7, 6, 9 y 2 (pH 6.08 – 6.64). (Ver anexo D)

Las bajas de pH en el día 100 respecto a los anteriores días difieren entre sí, la diferencia de los promedios esta entre 0.24 y 0.41, los valores en el mineral sin cianurar estuvieron entre 6.70 y 6.46, en el mineral cianurado estuvieron en 6.92 y 6.59 y en el mineral bruto en 7.26 y 6.85, esto puede ser explicado según Cotoras (1996), que sugiere que debido a que la acción concertada del aire, agua y bacteria no se detiene espontáneamente, más bien

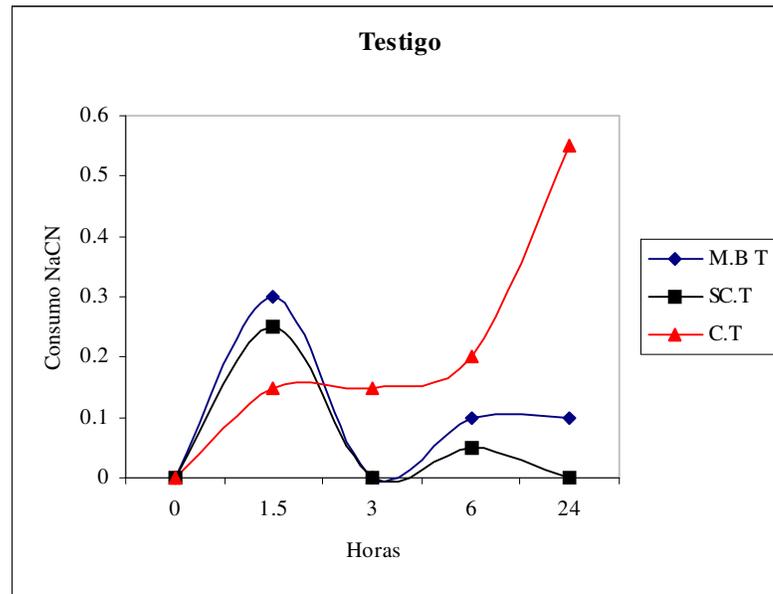
se potencia a sí misma, debido a que va generando las condiciones de acidez y otras que son favorables a la proliferación bacteriana.

El mineral bruto esta libre de cualquier agente químico o expuesto a condiciones ambientales externas, como si ocurre en el mineral cianurado y sin cianurar, esta es una razón por la que en el mineral bruto hay mayor acción bacteriana y por tanto mayor baja de pH.

4.2.4 Pruebas de cianuración. En las “pruebas definitivas” no se extrajo solución y se mantuvo la concentración inicial de cianuro agregando a la hora correspondiente, la cantidad valorada durante las pruebas de referencia. (ver anexo G y H)

4.2.4.1 Consumo de cianuro. Los resultados obtenidos se recogen en las siguientes gráficas:

Figura 10. Consumo de cianuro en los testigos durante 24 horas.



MB.T Mineral bruto testigo (extraído directamente de la veta)

SC.T Mineral sin cianurar testigo(extraído el oro libre por amalgamación)

C.T Mineral cianurado testigo(residuos de cianuración y amalgamación)

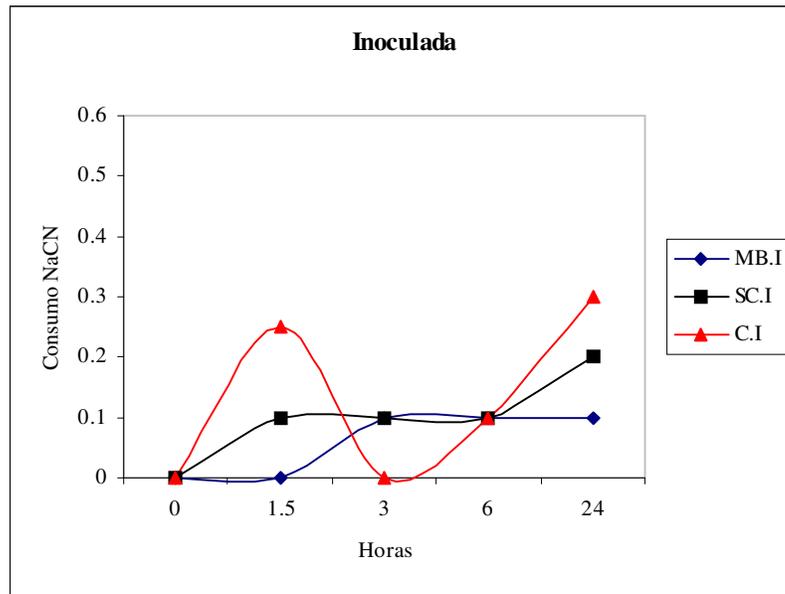
Comparando el consumo del cianuro en la figura 10 de los testigos en los tres minerales, se determinó que en la hora y media inicial el pico más alto para el consumo de cianuro se encontró en el mineral bruto con 0.3g, mientras que el mineral sin cianurar consumió 0.25g y el del mineral cianurado es de 0.15g.

A la tercera hora el consumo disminuyó totalmente para el mineral bruto y mineral sin cianurar, el mineral cianurado se mantuvo en 0.15g. A partir de la sexta hora el consumo de cianuro en el mineral bruto se mantuvo en 0.1g hasta las 24 horas.

Para el mineral sin cianurar hubo un consumo de 0.05g y en las siguientes horas disminuyó totalmente. El mineral cianurado consumió 0.2g, a partir de esta hora hubo un incremento bastante alto hasta 0.55g al término de la cianuración.

En general el consumo de cianuro para el mineral bruto y sin cianurar fue similar, es decir al inicio de la cianuración hubo un consumo bastante alto y en el transcurso del proceso se estabilizó, lo que no ocurrió con el mineral cianurado, donde inicialmente el consumo fue bajo y a partir de la tercera hora se disparó, debido a que la disolución de oro y otros metales preciosos se presenta de manera importante al inicio de la cianuración notándose un incremento en la primera hora y media, en especial en el mineral bruto y sin cianurar puesto que son minerales que no han sufrido un proceso de oxidación tan severo como el que presenta el mineral cianurado, pues su proceso de oxidación es grande, porque es un mineral que ha estado expuesto a la intemperie durante mucho tiempo, y en su interior tiene metales como el oro, zinc y otros por los que el cianuro tiene bastante afinidad, por lo tanto se encuentra en continua disolución y su consumo es alto.

Figura 11. Consumo de cianuro en el mineral inoculado durante 24 horas.



MB.I Mineral bruto inoculado (extraído directamente de la veta)

SC.I Mineral sin cianurar inoculado (extraído el oro libre por amalgamación)

C.I Mineral cianurado inoculado (residuos de cianuración y amalgamación)

En la figura 11, comparando el consumo de cianuro en el mineral inoculado se observó que a la hora y media el consumo en el mineral cianurado es 0.25g siendo el mas alto respecto al mineral sin cianurar y mineral bruto, con un valor de 0.1g y 0g respectivamente.

En la tercera hora el consumo en el mineral bruto fue de 0.1g y se mantuvo constante hasta las 24horas. En el mineral sin cianurar el consumo se mantuvo constante en 0.1g desde el inicio hasta las seis horas, y a partir de ahí se dió un incremento hasta 0.2g al final de la cianuración. El consumo en el mineral cianurado a las tres horas fue nulo, y a la sexta hora fué de 0.1g y se incrementó hasta 0.3g al final de las 24 horas.

En general el comportamiento del consumo entre el mineral bruto y el mineral sin cianurar fue similar hasta las seis horas y a partir de ahí en el mineral sin cianurar se dió un incremento pequeño. El mineral cianurado presentó un alto consumo al inicio, luego fue nulo y finalmente se incrementó al termino de la cianuración.

En las muestras con pretratamiento bacteriano se presenta una oxidación del mineral con lo cual se libera el oro de los sulfuros y por tanto el consumo de cianuro es menor cumpliéndose uno de los objetivos que es disminuir el consumo de cianuro, además de los beneficios para la naturaleza que favorecen el costo de adquisición de cianuro y el nivel de riesgo disminuye.

Al hacer una comparación entre la figura 10 y 11 se observó que el consumo de cianuro en los materiales inoculados es menor respecto al consumo de los testigos debido a que hay liberación de partículas causada por la biodegradación del mineral.

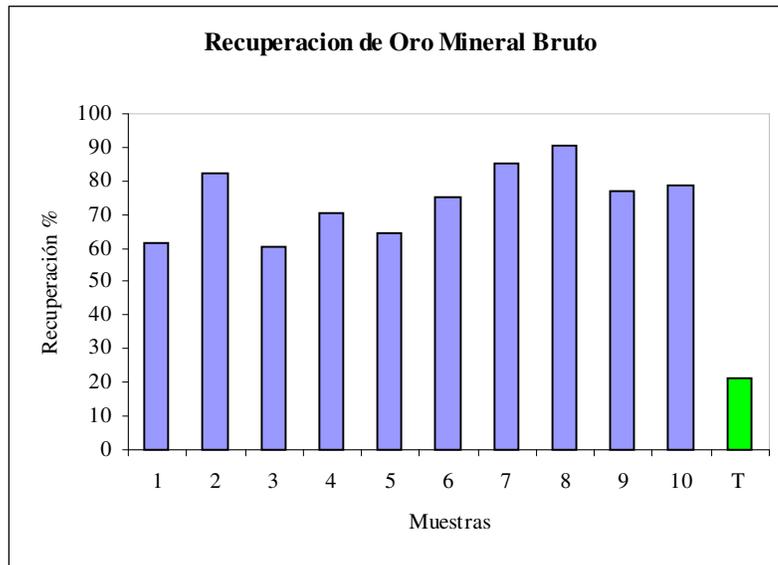
Tres de las seis pruebas muestran que la lixiviación de oro se da en las primeras horas y los picos mayores se presentan al inicio de la cianuración, la concentración de cianuro se mantiene constante en el mineral sin cianurar y el mineral bruto; en el mineral sin cianurar el consumo aumenta por que se gasta cianuro en lixiviar minerales oxidados por condiciones atmosféricas existentes en el entorno de la mina.

4.2.4.2 Recuperación de oro.

Cuadro 6. Recuperación de oro en el Mineral Bruto

Muestra	Tenor		Recuperación %	
	Au (g/ton)	Ag (g/ton)	Au	Ag
T	3.32	16.28	21.07	53.895
1	9.68	18.5	61.635	61.14
2	13.02	20.22	82.455	66.895
3	9.64	20.92	60.25	69.66
4	11.02	18.04	70.205	59.635
5	10.12	14.62	64.27	48.25
6	11.84	18.22	75.11	60.295
7	13.64	24.36	85.25	81.12
8	14	15.4	90.3	50.36
9	12.1	15.2	76.885	50.175
10	12.38	22.7	78.445	75.165

Figura 12. Recuperación de oro en el Mineral Bruto



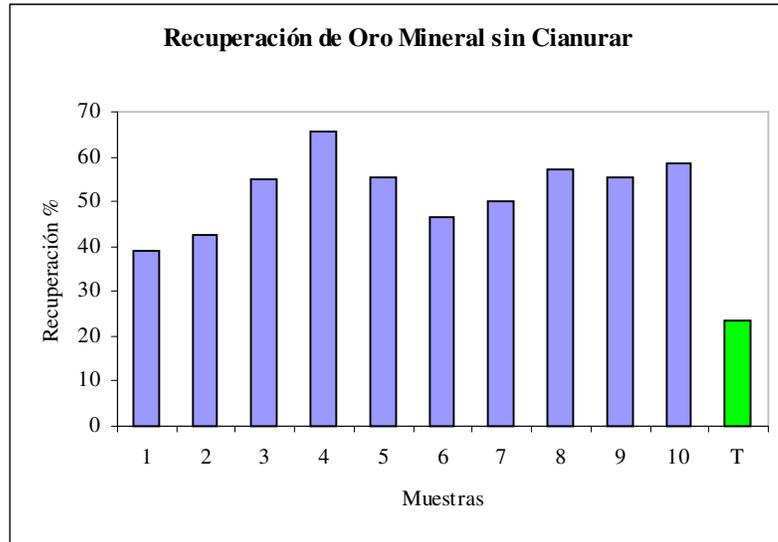
Cuadro 6 y figura 12. Donde hubo la acción bacteriana el porcentaje de recuperación estuvo representado por un valor promedio de 74.48% que correspondió a las diez muestras; el valor más significativo de recuperación fue de 90.3% en la muestra 8 y el menor fue de 60.25% en la muestra 3, respecto al testigo que fué de 21.07%. La lixiviación bacteriana ocurre en la superficie de los sulfuros o en la capa de difusión en la interfase entre sulfuros y electrolitos. Las bacterias pueden obtener su energía solamente si se adaptan a la energética y físico-química de los sulfuros.

Es importante la presencia continua de la bacteria en la superficie del sulfuro metálico, para producir su oxidación y romper la red de cristal, provocando con esto la exposición de oro y plata.

Cuadro 7. Recuperación de oro en el Mineral sin Cianurar

Muestra	Tenor		Recuperación %	
	Au (g/ton)	Ag (g/ton)	Au	Ag
T	1.36	5.82	23.635	29.725
1	2.22	6.72	38.785	34.49
2	2.44	7.02	42.605	36.22
3	3.14	10.64	54.76	54.64
4	3.82	9.84	65.37	51.555
5	3.32	10.52	55.34	55.34
6	2.56	9.04	46.54	45.2
7	2.76	9.28	50.18	46.4
8	3.44	11.68	57.34	61.44
9	3.04	11	55.27	55
10	3.36	11.32	58.455	58.2

Figura 13. Recuperación de oro en el Mineral sin Cianurar

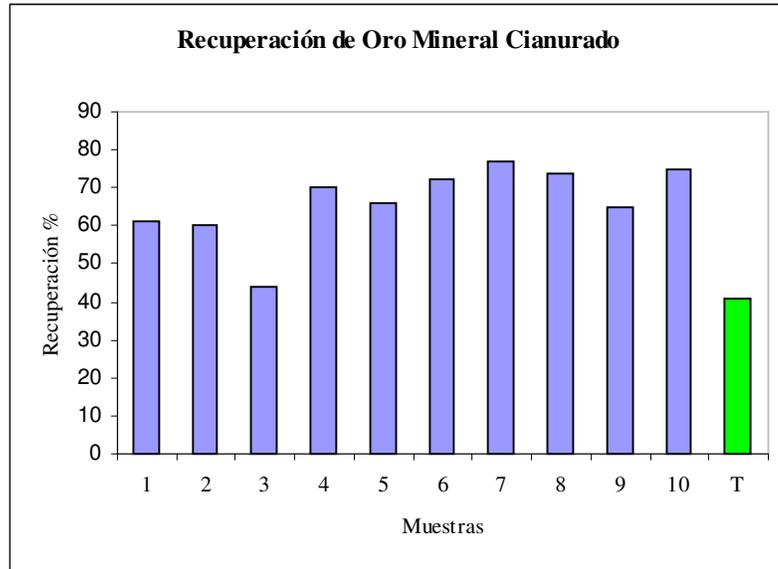


Cuadro 7 figura 13. Se pudo establecer que donde hubo la acción bacteriana el porcentaje de recuperación estaba representado por el promedio de las diez muestras que fué 52,46%. El valor más alto de recuperación fué de 65.37% de la muestra 4 y el menor fué de 38.79% de la muestra 1, respecto al testigo que fué de 23.64%.

Cuadro 8. Recuperación de oro en el Mineral Cianurado

Muestra	Tenor		Recuperación %	
	Au (g/ton)	Ag (g/ton)	Au	Ag
T	0.82	10.52	41	42.065
1	1.22	19.88	61	79.69
2	1.2	22.18	60	88.525
3	0.88	14.32	44	56.13
4	1.4	19.6	70	78.62
5	1.32	23.2	66	92.87
6	1.44	21.28	72	85.02
7	1.54	23.6	77	94.37
8	1.48	22.3	74	89.295
9	1.3	22.6	65	90.46
10	1.5	23.52	75	94.07

Figura 14. Recuperación de oro en el Mineral Cianurado



En el cuadro 8 figura 14 se observó que la acción bacteriana, en la recuperación de oro fue bastante favorable respecto al testigo que fué de 41%, siendo el valor más significativo de 77% en la muestra 7 y el más bajo de 44% en la muestra 3. El valor promedio de recuperación de las diez muestras es de 66.4%

4.3 PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DEL GENERO *Thiobacillus*

4.3.1 Análisis estadístico de las recuperaciones de oro. A partir de los valores del peso de oro según el análisis de variancia y las pruebas de significancia de Tukey (ver Anexo I), se determinó la evaluación para cinco aislados, estos muestran diferencias significativas entre los aislados 10, 9, 3, 2, 5, para su identificación los aislados se inocularon en los medios modificados regulados a pH 6.0 y 4.0

El tratamiento a1 (Mineral sin cianurar) permitió pesos de oro estadísticamente mayores (2.76) que los otros dos tratamientos. Todos los aislados permitieron mayor peso de oro (1.12-1.60) que el testigo (0.45), con diferencias significativas.

Para el tratamiento a1 (Mineral sin cianurar) los aislados 7,2,8,6,10 y 5 permitieron mayores pesos de oro (3.19-3.53) que el testigo (0.83), y que los aislados 3,4 y 5 (2.35-2.53). Además todas los aislados tuvieron diferencias significativas respecto al testigo.

Para el tratamiento a2 (Mineral cianurado), no se obtuvo diferencias significativas entre aislados y el testigo (0.34-0.84). Para el tratamiento a3 (Mineral bruto), no se obtuvo diferencias significativas entre aislados y el testigo (0.17-0.45)

4.3.2 Especies identificadas. Se tuvo en cuenta el desarrollo bacteriano y el comportamiento en el pH en los cuatro medios modificados y se determinó que las especies presentes fueron:

Aislado 2: *Thiobacillus novellus*

Aislados 3, 5 y 9: *Thiobacillus intermedius*

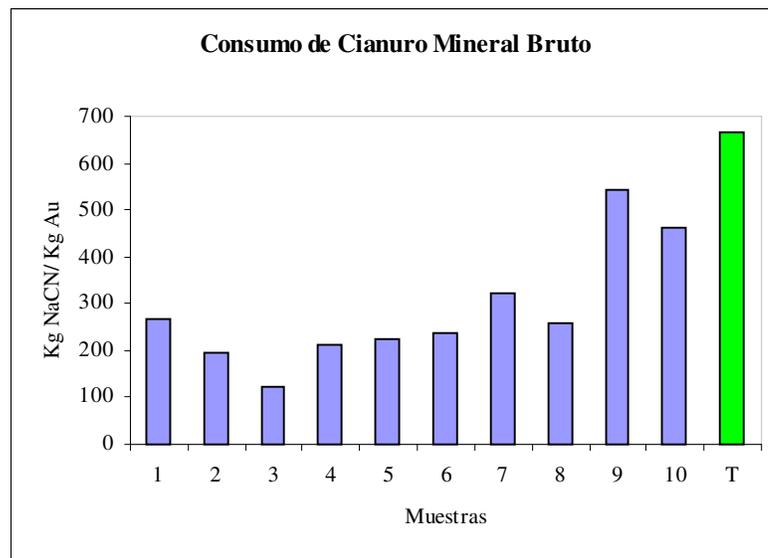
Aislado 10: *Thiobacillus delicatus*

No se encontró *T. thiooxidans* porque este no crece en tiosulfato y acidifica mucho el medio. El aislado 10 correspondió a *T. delicatus* porque únicamente pudo crecer en el medio 1, lo que da características de quimiolitotrofia obligada y no reduce significativamente el pH.

Los otros aislados crecieron en un medio con una fuente de carbono orgánico, identificándose a *T. intermedius* en los aislados 3, 5 y 9 por su capacidad de utilizar únicamente la Glutamina, en tanto que la cepa 2 correspondió a *T. novellus* por crecer en presencia de Glucosa y Glutamina. Las dos especies ocasionan reducciones lentas del pH.

4.3.3 Consumos totales de cianuro

Figura 15. Consumo de cianuro Kg NaCN / Kg Au en el mineral bruto



En la figura 15 los consumos mas altos de cianuro en el Mineral Bruto se presentaron inicialmente en el testigo con 665.7 Kg NaCN/ Kg Au, el aislado 9 con 540.91 Kg. Del aislado 1 al 8 se observó una significativa disminución en los valores del cianuro respecto al testigo siendo el mas eficiente el aislado 3 *Thiobacillus intermedius* con 124.48Kg, Se presentó una disminución significativa con el uso de las bacterias que se refleja en un consumo promedio de 284.99Kg.

Figura 16. Consumo de cianuro Kg NaCN / Kg Au en el mineral sin cianurar

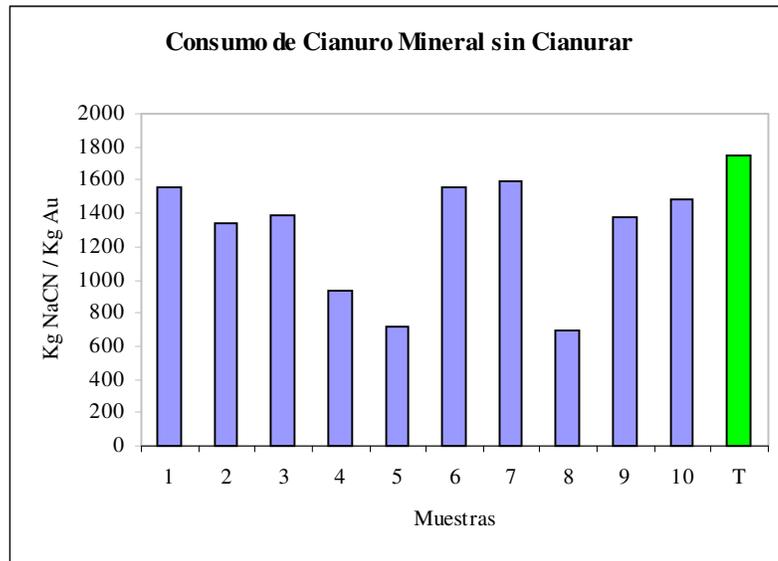
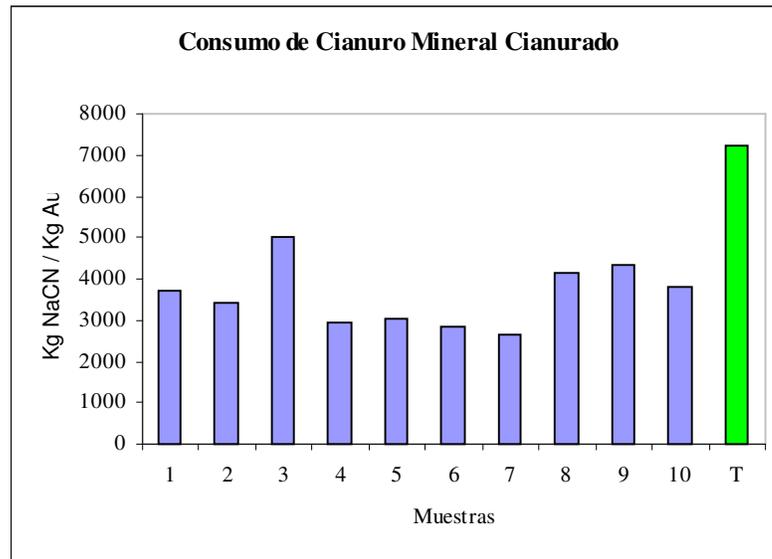


Figura 16. En los datos obtenidos del consumo de cianuro en el Mineral sin Cianurar los aislados 1,6,7 y 10 presentaron un consumo promedio de 1547.88 similar respecto al testigo que fué de 1744.79Kg, mientras que en los aislados 4,5 y 8 que en promedio fué de 785.69 Kg, se determinó el menor consumo. El aislado 7 presentó el mayor consumo con 1594.2 Kg y el aislado 8 es el de menor gasto con 697.67 Kg.

Figura 17. Consumo de cianuro Kg NaCN / Kg Au en el mineral Cianurado



En la Figura 17 se estableció que el consumo de cianuro en el mineral cianurado inoculado con los aislados fué bajo respecto al testigo siendo de 7219.83 Kg. Entre los aislados el consumo mas alto correspondió a el aislado 3 *Thiobacillus intermedius* con 5000 Kg y el mas bajo a el aislado 7 con 2673.99 Kg.

Las diferencias de consumo total de cianuro en los minerales se da porque las bacterias son de especies diferentes, además cuando se presenta mayor oxidación hay mayor consumo; las bacterias pudieron actuar mejor en unas bandejas que en otras debido a las condiciones en las que se encontraba la muestra y en otras pudo haber inhibición en el proceso por acción propia del agente lixivante (cianuro) se liberan algunos iones que en ciertas concentraciones resultan tóxicas para las bacterias, afectando el desarrollo bacterial.

4.3.4 Eficacia de *Thiobacillus* en la recuperación de oro

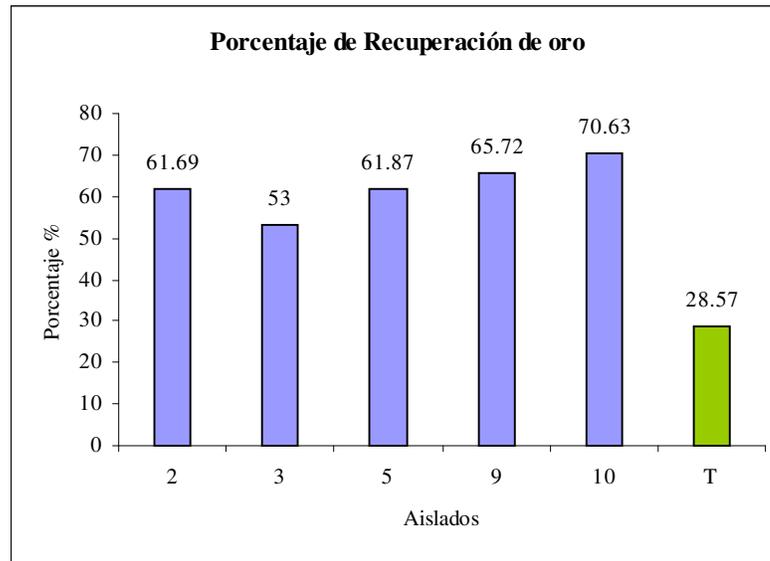
Cuadro 9. Comparación de los porcentajes de recuperación de oro en cada uno de los aislados.

Aislados	Mineral Bruto	Promedio	Mineral Cianurado
		Mineral Sin Cianurar	
2 <i>T.novellus</i>	82.46	42.61	60
3 <i>T.intermedius</i>	60.25	54.76	44
5 <i>T.intermedius</i>	64.27	55.34	66
9 <i>T. intermedius</i>	76.89	55.27	65
10 <i>T.delicatus</i>	78.45	58.46	75
Testigo	21.07	23.64	41

En el cuadro 9 se observó que el comportamiento de las bacterias sobre el mineral, fué muy favorable respecto al testigo; al observar el comportamiento sobre el mineral Sin cianurar el porcentaje más alto de recuperación correspondió a el aislado 10 con 58.46 respecto al testigo que fué de 23.64 mientras que el porcentaje más bajo fue de 42.61 en el aislado 2.

En el mineral cianurado el porcentaje más alto fue de 75 en el aislado 10 y el más bajo fué de 44 en el aislado 3, en el testigo el porcentaje de recuperación fué de 41, finalmente en el Mineral Bruto se dio la más alta recuperación en el aislado 2 con un porcentaje de 82.46 y la más baja fué de 60.25 en el aislado 3, mientras que en el testigo fué de 21.07.

Figura 18. Promedio de recuperación de oro con los 5 aislados.



La figura 18 indica que en general el aislado que tuvo mayor rendimiento en la recuperación de oro fue el aislado 10 de *T. delicatus* de 70.63% le sigue el aislado 9 de *T.intermedius* con 65.72%, luego el aislado 5 con 61.87%, luego el aislado 2 de *T. novellus* con 61.69% y finalmente el aislado 3 de *T. internedius* de 53% y en el testigo la recuperación en promedio fue de 28.57%.

En conclusión en el mineral sin cianurar y cianurado *T.delicatus* registró la mayor recuperación y en el mineral bruto la mayor recuperación se dió con *T.novellus*. Entre los tres minerales inoculados el aislado que presentó mayor rendimiento fue *T. delicatus*, en segundo lugar se encontró *T.novellus* y la recuperación mas baja perteneció a *T.intermedius*.

5. CONCLUSIONES

Del estudio realizado a las muestras recolectadas en la mina “Nueva Esparta” mediante diferentes análisis de oro y plata al mineral bruto y residuos (colas), se dedujo que la recuperación de oro en la mina con los métodos tradicionales no sobrepasa el 56 %.

El *Thiobacillus* mostró una buena adaptación, en su desarrollo y multiplicación, en el medio de cultivo 6, constituido por fuentes de azufre y carbonato; es decir por azufre elemental y bicarbonato de sodio. El mencionado medio 6 fue el más apto por las bajas de pH detectadas, determinándose oxidación del azufre a H_2SO_4 . *Thiobacillus* obtiene su energía de la oxidación de los compuestos de azufre contenidos en los minerales, generalmente el substrato para ser oxidado es azufre o tiosulfato aunque también pueden usarse los sulfuros, sulfitos y politionatos. De esa reacción oxidante obtienen la energía necesaria para su reproducción y crecimiento, y adicionalmente requieren oxígeno y dióxido de carbono los que obtienen del aire, y otros nutrientes como pequeñas cantidades de nitrógeno y fósforo.

Se presentaron altos porcentajes de recuperación de oro en todas las muestras con pretratamiento bacteriano, observándose los mejores resultados en el mineral bruto (extraído directamente de la veta), cuyo valor promedio fue de 74.48 % y del testigo 21.07%; en el mineral sin cianurar (extraído el oro libre por amalgamación) la

recuperación promedio fue de 52.46% y del testigo 23.64%; y en el mineral cianurado (residuos de cianuración y amalgamación) el promedio fue de 66.4% y del testigo 41%.

Los niveles de consumo de cianuro fueron sustancialmente menores en los minerales con pretratamiento bacteriano que en los minerales sin inocular. En el mineral bruto y el mineral cianurado se comprobó que el papel de la biolixiviación es muy favorable debido a que se redujo el consumo de reactivo en un 50 % aproximadamente respecto al consumo detectado en los testigos. En los tratamientos realizados al mineral sin cianurar, el consumo se redujo en un 30 %, un poco menos que en el caso anterior.

Se registró una bioxidación incompleta en los minerales sin cianurar, ocasionada por la inhibición de la bacteria debido, entre otras causas, a la presencia del cianuro utilizado en la amalgamación y al mercurio residual. En efecto, en los tratamientos de las muestras de mineral sin cianurar se obtuvieron menores recuperaciones de oro y mayores consumos de cianuro que en las pruebas realizadas con mineral bruto y mineral cianurado.

Con base en los resultados de recuperación de oro y utilizando un medio líquido denominado T6 con Bicarbonato de sodio y azufre elemental se aislaron e identificaron plenamente, en los medios modificados con Glucosa y Glutamina, tres especies nuevas del genero *Thiobacillus* en la biolixiviación que corresponden a *Thiobacillus novellus*, *Thiobacillus intermedius* y *Thiobacillus delicatus* a diferencia de la mayoría de investigaciones, en donde se utiliza a *Thiobacillus ferrooxidans* como degradador de sulfuros.

Durante el período de incubación de la bacteria se registró una disminución importante del pH en los minerales inoculados, particularmente en las muestras que contenían los aislados de *Thiobacilius* identificadas. Este fenómeno fué mas notable en la muestra correspondiente a el aislado 10, *Thiobacillus delicatus*, y en la muestra de el aislado 2, *Thiobacillus novellus*, las cuales registraron las variaciones más sensibles de pH de 7.10 a 5.87 y de 7.07 a 6.29, respectivamente; asimismo, en la muestra con el aislado 3, es decir con *Thiobacillus intermedius*, se observó una variación menor de pH de 7.31 a 7.15. En los testigos, el pH se mantuvo relativamente constante por lo que se registraron pequeñas variaciones que oscilaron de 7.31 a 7.29.

El estudio de eficacia realizado permite corroborar que los aislados mas eficientes en la lixiviación de oro y plata fueron en su orden de importancia: el aislado 10, *T.delicatus* con 70.63%; el aislado 9 y 5, *T.intermedius* con 65.72% y 61.69% respectivamente. La tendencia de estos resultados se mantuvo en el resto de las muestras de mineral, por lo que se puede deducir que la biolixiviación es una técnica viable como pretratamiento de minerales auroargentíferos, anterior a la aplicación a la cianuración, y que permite simultáneamente mejorar la recuperación de oro y disminuir la dosificación de cianuro.

RECOMENDACIONES

Realizar pruebas a nivel piloto utilizando el *Thiobacillus* desarrollado, especialmente con los aislados que demostraron mayor eficacia de biolixiviación o sea con el aislado 10, *T.delicatus* y el aislado 2, *T.novellus*.

Adicionar al comienzo del pretratamiento bacteriano mayor cantidad de inóculo y agregar ciertas cantidades durante el proceso.

Estudiar la composición química mineralógica en el mineral sin cianurar, para determinar que componentes pueden afectar la acción bacteriana. No obstante, se debe realizar un lavado previo de todo el material.

Difundir los resultados de la investigación, en las comunidades de pequeños mineros de Nariño a través de talleres teórico-prácticos.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

BERGEY´ S. Manual of Sistematic Bacteriology, vol. II. Editorial Williams y Wilkins. USA. 1986.

CASTRO, Alvaro, CORDOBA, Carlos y SAÑUDO, Benjamín. Evaluación de pretratamientos químico-biológicos sobre la eficiencia de recuperación de oro y plata en minas del Departamento de Nariño. Universidad de Nariño- ICFES. Departamento de química. Pasto. 1986

COTORAS, Davor. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Induambiente 13 (14): 27-29 (1995). Revista Biohídrica. www.biohídrica.cl/BIOHIDRICA_Npublicación02.htm

----- La enfermedad de los relaves. En : Revista BIOHIDRICA. Induambiente. Chile 1996.

www.biohídrica.cl/BIOHIDRICA_CentroNoticias.htm

CURUCHET, Gustavo. Uso de Bacterias Mineras en el Reciclado de pilas. Centro de Investigación y Desarrollo en Fermentaciones Industriales Universidad Nacional de La Plata. 1998. www.qhh-online.org/MK2/web/evaluacion_bacte.htm

GUERRERO, José. Biotecnología en la disolución y recuperación de metales. En primer congreso peruano de biotecnología y bioingeniería. Perú 1998.

GUTIERREZ, Susana et al. Comportamiento de los microorganismos heterotróficos en la lixiviación bacteriana. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima 1999.

MUÑOZ, Alexandra. Una Bacteria de oro. Revista Conexión Colombia. Ciencia Patria. Noviembre 2001. www.conexion-colombia.com:8080

NAJERA, M; CERTUCHA, B. y VALENZUELA, G. Extracción de oro y plata de un mineral refractario utilizando pre-tratamiento biológico. Departamento de metal mecánica, Instituto tecnológico de Hermosillo. México 1998.

PANTOJA, Freddy. 'Optimización del Proceso de la Amalgamación en la Pequeña Minería del Oro: Mejora de su Recuperación y Disminución de las Pérdidas de Mercurio. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid-E.T.S.I. de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid. España. 1999.

PANTOJA, Freddy. "Disminución de la Contaminación Ocasionada por Mercurio en Latinoamérica". Revista Colombia, Ciencia & Tecnología. Vol. 18. No. 2. COLCIENCIAS. Bogotá, Colombia. 2000.

PEDRAZA, Julio Elías. et al. Experiencias en la aplicación de nuevas tecnologías para el tratamiento de minerales auroargentíferos. En : seminario internacional tecnologías para el mejoramiento de la recuperación de metales preciosos y medidas para el control de la contaminación ambiental. Ingeominas Santiago de Cali 1996; p. 142

PEDRAZA, Julio y ROMERO, Antonio. Colombia. Situación de la investigación científico-tecnológica por metales preciosos en los países miembros de la red XIII – B, CYTED. Cooperación Iberoamericana. Perú. Diciembre 2000; p. 9-13.

BIBLIOGRAFÍA

FAGERBERG, Beng y VALENCIA, Jose. Procesamiento de menas auríferas en el sur del Ecuador. Ministerio de Energía y minas. Republica del Ecuador. Publicado por UCP PRODEMINCA. Primera Edición. Quito. Noviembre. 2000; p. 9-30.

MACIAS, F y MONTEROSO, C. Aguas de drenaje de mina afectada por la oxidación de sulfuro, variaciones estacionales de su composición. En revista de edafología. Tomo 5. Volumen 5. Artículo 71. Diciembre 1998; p. 71-82.

MEZA, Luis. Procesamiento de minerales auríferos refractarios Colombianos. En : seminario internacional tecnologías para el mejoramiento de la recuperación de metales preciosos y medidas para el control de la contaminación ambiental. Ingeominas Santiago de Cali 1996: p. 193

MICROORGANISMOS Y BACTERIAS. En : revista microorganismos. Universidad Nacional Autónoma de México. www.depa.pquim.unam.mx/~selva/Microorganismos.html.

RED DE METALES PRECIOSOS XIII.B “Libro de la Minería del Oro en Iberoamérica”. CYTED y Comité Aurífero del Perú. Madrid, España. 2002.

SOTILLO, Cesar. Aspectos básicos de la lixiviación bacteriana. En: Seminario transferencia de tecnología PADT-COBRE. Universidad Central del Ecuador. Quito 1983.

Anexo A

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Día 10

Fa	Repet	Factor b										T	Subt	Xfa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
a1	I	7.04	6.72	7.08	7.01	6.1	6.84	6.64	6.72	6.98	6.56	7.03	74.7	6.84
	II	6.95	6.83	6.98	6.98	6.89	6.73	6.81	6.78	7.1	6.74	6.95	75.7	
	Sum	13.99	13.6	14.1	14	13	13.6	13.5	13.5	14.1	13.3	14	150	
a2	I	7.14	7.21	7.21	7.2	7.23	7.14	7.21	7.17	7.31	7.14	7.23	79.2	7.2
	II	7.2	7.08	7.24	7.23	7.14	7.3	7.28	7.24	7.29	6.97	7.25	79.2	
	Sum	14.34	14.3	14.5	14.4	14.4	14.4	14.5	14.4	14.6	14.1	14.5	158	
a3	I	7.51	7.35	7.72	7.6	7.51	7.33	7.31	7.28	7.38	7.54	7.67	82.2	7.44
	II	7.48	7.23	7.6	7.44	7.38	7.28	7.3	7.33	7.2	7.62	7.71	81.6	
	Sum	14.99	14.6	15.3	15	14.9	14.6	14.6	14.6	14.6	15.2	15.4	164	
		43.32	42.4	43.8	43.5	42.3	42.6	42.6	42.5	43.3	42.6	43.8	473	

a1 : Mineral sin cianurar

a2: Mineral cianurado

a3: Mineral bruto

ANDEVA

FV	GL	SC	CM	FC
A	2GLA	SCA	2.04	58.1
EA	3GLAE	SCEA	0.04	
B	10GLB	SCB	0.08	4.1
AB	20GLAB	SCAB	0.02	11.4
EB	30GLEB	SCEB	0	

FACTOR A. Tipo de mineral

	a3	a2	a1
	7.44	7.2	6.84
6.84	0,60x	0,36x	-
7.2	0,24x	-	
7.44	-		

x: diferencias significativas
ns: diferencias no significativas

• 5%=0,16

FACTOR B. Aislados bacterianos

	T,3	4	1	9	6, 10	7	2.8	5
	7.3	7.24	7.22	7.21	7.1	7.09	7.07	7.04
7.04	0,26x	0,20x	0,18x	0,17x	0,06ns	0,05ns	0,03ns	-
7.07	0,23x	0,17x	0,15x	0,14x	0,03ns	0,02ns	-	
7.09	0,21x	0,15x	0,13ns	0,12ns	0,01ns	-		
7.1	0,20x	0,14x	0,12ns	0,11ns	-			
7.21	0,09ns	0,03ns	0,01ns	-				
7.22	0,08ns	0,02ns	-					
7.24	0,06ns	-						
7.3	-							

• 5%=0,13

a1 X FB. Mineral sin cianurar por aislados

	9	3	1.4	T	6	2	8	7	10	5
	7.04	7.03	7	6.99	6.79	6.78	6.75	6.73	6.65	6.5
6.5	0,54x	0,53x	0,50x	0,49x	0,29x	0,28ns	0,25ns	0,23ns	0,15ns	-
6.65	0,39x	0,38x	0,35x	0,34x	0,14ns	0,13ns	0,10ns	0,08ns	-	
6.73	0,31x	0,30x	0,27x	0,26x	0,06ns	0,05ns	0,02ns	-		
6.75	0,29x	0,28x	0,25x	0,24x	0,04ns	0,03ns	-			
6.78	0,26x	0,25x	0,22ns	0,21ns	0,01ns	-				
6.79	0,25x	0,24x	0,21ns	0,20ns	-					
6.99	0,05ns	0,04ns	0,01ns	-						
7	0,04ns	0,03ns	-							
7.03	0,01ns	-								
7.04	-									

• 5%=0,22

a2 X FB. Mineral cianurado por aislados

	9	7	T	3	4.6	8	5	1	2	10
	7.3	7.25	7.24	7.23	7.22	7.21	7.19	7.17	7.15	7.1
7.1	0,20ns	0,15ns	0,14ns	0,13ns	0,12ns	0,11ns	0,09ns	0,07ns	0,05ns	-
7.15	0,15ns	0,10ns	0,09ns	0,08ns	0,07ns	0,06ns	0,04ns	0,02ns	-	
7.17	0,13ns	0,08ns	0,07ns	0,06ns	0,05ns	0,04ns	0,02ns	-		
7.19	0,11ns	0,06ns	0,05ns	0,04ns	0,03ns	0,02ns	-			
7.21	0,09ns	0,04ns	0,03ns	0,02ns	0,01ns	-				
7.22	0,08ns	0,03ns	0,02ns	0,01ns	-					
7.23	0,07ns	0,02ns	0,01ns	-						
7.24	0,06ns	0,01ns	-							
7.25	0,05ns	-								
7.3	-									

• 5%=0,22

a3 X FB. Mineral bruto por aislados

T	7	10	4	1	5	6,7,8	2.9
---	---	----	---	---	---	-------	-----

	7.69	7.66	7.58	7.52	7.5	7.45	7.31	7.29
7.29	0,40x	0,37x	0,29x	0,23x	0,21ns	0,16ns	0,02ns	-
7.31	0,38x	0,35x	0,27x	0,21ns	0,19ns	0,14ns	-	
7.45	0,24x	0,21ns	0,13ns	0,07ns	0,05ns	-		
7.5	0,19ns	0,16ns	0,08ns	0,02ns	-			
7.52	0,17ns	0,14ns	0,06ns	-				
7.58	0,11ns	0,08ns	-					
7.66	0,03ns	-						
7.69	-							

• 5%=0,22

Anexo B

Día 40

Fa	Repet	Factor b										T	Subt	Xfa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
A1	I	6.93	6.81	6.98	7.01	7.1	6.72	6.57	6.58	6.73	6.47	7.1	75	6.77
	II	6.87	6.64	7.06	6.9	6.88	6.58	6.5	6.44	6.88	6.38	7	74.1	
	Sum	13.8	13.5	14	13.9	14	13.3	13.1	13	13.6	12.9	14.1	149	
a2	I	7.08	7.01	7.13	7	6.98	6.41	6.88	6.87	7.01	6.69	7.18	76.2	6.99
	II	7.3	7.08	7.18	7.15	7.17	6.8	6.8	6.9	7.14	6.68	7.23	77.4	
	Sum	14.38	14.1	14.3	14.2	14.2	13.2	13.7	13.8	14.2	13.4	14.4	154	
a3	I	7.43	7.32	7.44	7.38	7.47	7.31	7.44	7.36	7.44	7.21	7.54	81.3	7.35
	II	7.37	7.35	7.49	7.41	7.31	6.38	7.4	7.34	7.52	7.28	7.49	80.3	
	Sum	14.8	14.7	14.9	14.8	14.8	13.7	14.8	14.7	15	14.5	15	162	
		42.98	42.4	43.3	42.9	42.9	40.2	41.6	41.5	42.7	40.7	43.5	464	

a1 : Mineral sin cianurar

a2: Mineral cianurado

a3: Mineral bruto

ANDEVA

FV	GL	SC	CM	FC
A	2GLA	SCA	1.84	38
EA	3GLAE	SCEA	0.05	
B	10GLB	SCB	0.2	7.87
AB	20GLAB	SCAB	0.03	11.4
EB	30GLEB	SCEB	0.02	

FACTOR A. Tipo de mineral

	a3	a2	a1
	7.35	6.99	6.77
6.77	0,58X	0,22X	-
6.99	0,36X	-	
7.35	-		

x: diferencias significativas
ns: diferencia no significativa

• 5%=0,18

FACTOR B. Aislados bacterianos

	T	3	1	5	4	9	2	7	8	10	6
	7.26	7.21	7.16	7.15	7.14	7.12	7.04	6.93	6.92	6.79	6.7
6.7	0,56x	0,51x	0,46x	0,45x	0,44x	0,42x	0,34x	0,23ns	0,22ns	0,09ns	-
6.79	0,47x	0,42x	0,37x	0,36x	0,35x	0,33x	0,25ns	0,14ns	0,13ns	-	
6.92	0,34x	0,29x	0,24ns	0,23ns	0,22ns	0,20ns	0,12ns	0,01ns	-		
6.93	0,33x	0,28x	0,23ns	0,22ns	0,21ns	0,19ns	0,11ns	-			
7.04	0,22ns	0,17ns	0,12ns	0,11ns	0,10ns	0,08ns	-				
7.12	0,14ns	0,09ns	0,04ns	0,03ns	0,02ns	-					
7.14	0,12ns	0,07ns	0,02ns	0,01ns	-						
7.15	0,11ns	0,06ns	0,01ns	-							
7.16	0,10ns	0,05ns	-								
7.21	0,05ns	-									
7.26	-										

• 5%=0,26

a1 X FB. Mineral sin cianurar por aislados

	T	3	5	4	1	9	2	6	7	8	10
	7.05	7.02	6.99	6.96	6.9	6.81	6.73	6.65	6.53	6.51	6.43
6.43	0,62x	0,59x	0,56x	0,53x	0,47x	0,38ns	0,30ns	0,22ns	0,10ns	0,08ns	-
6.51	0,54x	0,51x	0,48x	0,45x	0,39ns	0,30ns	0,22ns	0,14ns	0,02ns	-	
6.53	0,52x	0,49x	0,46x	0,43ns	0,37ns	0,28ns	0,20ns	0,12ns	-		
6.65	0,40ns	0,37ns	0,34ns	0,31ns	0,25ns	0,16ns	0,08ns	-			
6.73	0,32ns	0,29ns	0,26ns	0,23ns	0,17ns	0,08ns	-				
6.81	0,24ns	0,21ns	0,18ns	0,15ns	0,09ns	-					
6.9	0,15ns	0,12ns	0,09ns	0,06ns	-						
6.96	0,09ns	0,06ns	0,03ns	-							
6.99	0,06ns	0,03ns	-								
7.02	0,03ns	-									
7.05	-										

• 5%=0,44

a2 X FB. Mineral cianurado por aislados

	T	1	3	4,5,9	2	8	7	10	6
	7.21	7.19	7.16	7.08	7.05	6.99	6.84	6.69	6.61
6.61	0,60x	0,58x	0,55x	0,47x	0,44x	0,38ns	0,23ns	0,08ns	-
6.69	0,52x	0,50x	0,47x	0,39ns	0,36ns	0,30ns	0,15ns	-	
6.84	0,37ns	0,35ns	0,32ns	0,24ns	0,21ns	0,15ns	-		
6.99	0,22ns	0,20ns	0,17ns	0,09ns	0,06ns	-			
7.05	0,16ns	0,14ns	0,11ns	0,03ns	-				
7.08	0,13ns	0,11ns	0,08ns	-					
7.16	0,05ns	0,03ns	-						
7.19	0,02ns	-							
7.21	-								

• 5%=0,44

a3 X FB. Mineral bruto por aislados

	T	3	1	5	4	9	2	7	8	10	6
	7.26	7.21	7.16	7.15	7.14	7.12	7.04	6.93	6.92	6.79	6.7
6.7	0,56x	0,51x	0,46x	0,45x	0,44x	0,42ns	0,34ns	0,23ns	0,22ns	0,09ns	-
6.79	0,47x	0,42ns	0,37ns	0,36ns	0,35ns	0,33ns	0,25ns	0,14ns	0,13ns	-	
6.92	0,34ns	0,29ns	0,24ns	0,23ns	0,22ns	0,20ns	0,12ns	0,01ns	-		
6.93	0,33ns	0,28ns	0,23ns	0,22ns	0,21ns	0,19ns	0,11ns	-			
7.04	0,22ns	0,17ns	0,12ns	0,11ns	0,1ns	0,08ns	-				
7.12	0,14ns	0,09ns	0,04ns	0,03ns	0,02ns	-					
7.14	0,12ns	0,07ns	0,02ns	0,01ns	-						
7.15	0,11ns	0,06ns	0,01ns	-							
7.16	0,10ns	0,05ns	-								
7.21	0,05ns	-									
7.26	-										

• 5%=0,44

Anexo C

Día 70

Fa	Repet	Factor b										T	Subt	Xfa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
a1	I	6.83	6.54	6.98	6.88	6.92	6.63	6.51	6.48	6.63	6.31	7.1	73.8	6.7
	II	6.77	6.63	7.02	6.73	6.87	6.52	6.47	6.51	6.58	6.24	7.24	73.6	
	Sum	13.6	13.2	14	13.6	13.8	13.2	13	13	13.2	12.6	14.3	147	
a2	I	7.14	6.68	7.14	7.1	7.05	6.73	6.68	6.71	6.92	6.57	7.22	75.9	6.92
	II	7.06	6.63	7.16	7.08	7.13	6.72	6.73	6.82	7.01	6.62	7.24	76.2	
	Sum	14.2	13.3	14.3	14.2	14.2	13.5	13.4	13.5	13.9	13.2	14.5	152	
a3	I	7.27	7.25	7.31	7.3	7.31	7.3	7.21	7.18	7.43	7.04	7.41	80	7.26
	II	7.2	7.3	7.35	7.18	7.24	7.21	7.13	7.23	7.31	6.98	7.54	79.7	
	Sum	14.47	14.6	14.7	14.5	14.6	14.5	14.3	14.4	14.7	14	15	160	
		42.27	41	43	42.3	42.5	41.1	40.7	40.9	41.9	39.8	43.8	459	

a1 : Mineral sin cianurar

a2: Mineral cianurado

a3: Mineral bruto

ANDEVA

FV	GL	SC	CM	FC
A	2GLA	SCA	1.74	459
EA	3GLAE	SCEA	0	
B	10GLB	SCB	0.22	9.17
AB	20GLAB	SCAB	0.02	73.3
EB	30GLEB	SCEB	0	

FACTOR A. Tipo de mineral

	a3	a2	a1
	7.26	6.92	6.7
6.7	0,56x	0,22x	-
6.92	0,34x	-	
7.26	-		

x: diferencias significativas
ns: diferencia no significativa

• 5%=0,05

FACTOR B. Aislados bacterianos

	T	3	5	1.4	9	6	2	8	7	10
	7.29	7.16	7.09	7.05	6.98	6.85	6.84	6.82	6.79	6.63
6.63	0,66x	0,53x	0,46x	0,42x	0,35x	0,22x	0,21x	0,19x	0,16x	-
6.79	0,50x	0,37x	0,30x	0,26x	0,19x	0,06ns	0,05ns	0,03ns	-	
6.82	0,47x	0,34x	0,27x	0,23x	0,16x	0,03ns	0,02ns	-		
6.84	0,45x	0,32x	0,25x	0,21x	0,14x	0,01ns	-			
6.85	0,44x	0,31x	0,24x	0,20x	0,13x	-				
6.98	0,31x	0,18x	0,11x	0,07ns	-					
7.05	0,24x	0,11x	0,04ns	-						
7.09	0,20x	0,04ns	-							
7.16	0,13x	-								
7.29	-									

• 5%=0,10

a1 X FB. Mineral sin cianurar por aislados

	T	3	5	4	1	9	2	6	8	7	10
	7.17	7	6.9	6.81	6.8	6.61	6.59	6.58	6.5	6.49	6.28
6.28	0,89x	0,72x	0,62x	0,53x	0,52x	0,33x	0,31x	0,30x	0,22x	0,21x	-
6.49	0,68x	0,51x	0,41x	0,32x	0,31x	0,12ns	0,10ns	0,09ns	0,01ns	-	
6.5	0,67x	0,50x	0,40x	0,31x	0,30x	0,11ns	0,09ns	0,08ns	-		
6.58	0,59x	0,42x	0,32x	0,23x	0,22x	0,03ns	0,01ns	-			
6.59	0,58x	0,41x	0,31x	0,22x	0,21x	0,02ns	-				
6.61	0,56x	0,39x	0,29x	0,20x	0,19x	-					
6.8	0,37x	0,20x	0,10ns	0,01ns	-						
6.81	0,36x	0,19x	0,09ns	-							
6.9	0,27x	0,10ns	-								
7	0,17x	-									
7.17	-										

• 5%=0,19

a2 X FB. Mineral cianurado por aislados

	T	3	1	4.5	9	8	6	7	2	10
	7.23	7.15	7.1	7.09	6.97	6.77	6.73	6.71	6.66	6.6
6.6	0,63x	0,55x	0,50x	0,49x	0,37x	0,17ns	0,13ns	0,11ns	0,06ns	-
6.66	0,57x	0,49x	0,34x	0,33x	0,31x	0,11ns	0,07ns	0,05ns	-	
6.71	0,52x	0,44x	0,39x	0,38x	0,26x	0,06ns	0,02ns	-		
6.73	0,50x	0,42x	0,37x	0,36x	0,24x	0,04ns	-			
6.77	0,46x	0,38x	0,33x	0,32x	0,20x	-				
6.97	0,24x	0,16ns	0,11ns	0,10ns	-					
7.09	0,14ns	0,06ns	0,01ns	-						
7.1	0,13ns	0,05ns	-							
7.15	0,08ns	-								
7.23	-									

• 5%=0,19

a3 X FB. Mineral bruto por aislados

T	9	3	2.5	6	1.4	8	7	10
---	---	---	-----	---	-----	---	---	----

	7.48	7.37	7.33	7.28	7.26	7.24	7.21	7.17	7.01
7.01	0,47x	0,36x	0,32x	0,27x	0,25x	0,23x	0,20x	0,16ns	-
7.17	0,31x	0,20x	0,16ns	0,11ns	0,09ns	0,07ns	0,04ns	-	
7.21	0,27x	0,16ns	0,12ns	0,07ns	0,05ns	0,03ns	-		
7.24	0,24x	0,13ns	0,09ns	0,04ns	0,02ns	-			
7.26	0,22x	0,11ns	0,07ns	0,02ns	-				
7.28	0,20x	0,09ns	0,05ns	-					
7.33	0,15ns	0,04ns	-						
7.37	0,11ns	-							
7.48	-								

• 5%=0,19

Anexo D

Día 100

Fa	Repet	Factor b										T	Subt	Xfa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
A1	I	6.82	6.12	6.98	6.85	6.9	6.08	6.14	6.13	6.31	5.7	7.2	71.2	6.46
	II	6.73	6.01	7.1	6.74	6.69	6.23	6.2	6.23	6.33	5.54	7.17	71	
	Sum	13.55	12.1	14.1	13.6	13.6	12.3	12.3	12.4	12.6	11.2	14.4	142	
A2	I	7.01	6.14	7.14	7	7.13	6.21	6.2	6.24	6.37	5.93	7.24	72.6	6.59
	II	6.98	6.2	7.1	6.89	6.93	6.18	6.3	6.25	6.42	5.9	7.31	72.4	
	Sum	13.99	12.3	14.2	13.9	14.1	12.3	12.5	12.5	12.8	11.8	14.6	145	
A3	I	7.3	6.52	7.28	7.25	7.28	6.71	6.48	6.43	6.57	6.14	7.48	75.4	6.85
	II	7.1	6.75	7.31	7.14	7.23	6.47	6.63	6.54	6.67	6.01	7.34	75.2	
	Sum	14.4	13.3	14.6	14.4	14.5	13.2	13.1	13	13.2	12.2	14.8	151	
		41.94	37.7	42.9	41.9	42.2	37.8	38	37.8	38.8	35.2	43.7	438	

a1 : Mineral sin cianurar

a2: Mineral cianurado

a3: Mineral bruto

ANDEVA

FV	GL	SC	CM	FC
A	2GLA	SCA	0.84	345
EA	3GLAE	SCEA	0	
B	10GLB	SCB	1.29	129
AB	20GLAB	SCAB	0.01	174
EB	30GLEB	SCEB	0.01	

FACTOR A. Tipo de mineral

	a3	a2	a1
	6.85	6.59	6.46
6.46	0,39x	0,13x	-
6.59	0,26x	-	
6.85	-		

x: diferencias significativas

ns: diferencia no significativa

• 5%=0,04

FACTOR B. Aislados bacterianos

	T	3	5	1	4	9	7	6	8	2	10
	7.29	7.15	7.03	6.99	6.98	6.95	6.33	6.31	6.3	6.29	5.87
5.87	1,42x	1,28x	1,16x	1,12x	1,11x	1,08x	0,56x	0,54x	0,53x	0,52x	-
6.29	1x	0,86x	0,74x	0,70x	0,69x	0,66x	0,04ns	0,03ns	0,01ns	-	
6.3	0,99x	0,85x	0,73x	0,69x	0,68x	0,65x	0,03ns	0,01ns	-		
6.31	0,98x	0,84x	0,72	0,68x	0,67x	0,64x	0,02ns	-			
6.33	0,96x	0,82x	0,70x	0,66x	0,65x	0,62x	-				
6.95	0,34x	0,20x	0,08ns	0,04ns	0,03ns	-					
6.98	0,31x	0,17x	0,05ns	0,01ns	-						
6.99	0,30x	0,16x	0,04ns	-							
7.03	0,26x	0,12ns	-								
7.15	0,14x	-									
7.2	-										

• 5%=0,16

a1 X FB. Mineral sin cianurar por aislados

	T	3	4.5	1	9	8	7	6	2	10
	7.49	7.04	6.8	6.78	6.32	6.18	6.17	6.16	6.07	5.62
5.62	1,57x	1,42x	1,18x	1,16x	0,70x	0,56x	0,55x	0,54x	0,45x	-
6.07	1,12x	0,97x	0,73x	0,71x	0,25ns	0,11ns	0,10ns	0,09ns	-	
6.16	1,05x	0,88x	0,64x	0,62x	0,16ns	0,02ns	0,01ns	-		
6.17	1,02x	0,87x	0,63x	0,61x	0,15ns	0,01ns	-			
6.18	1,01x	0,86x	0,62x	0,60x	0,14ns	-				
6.32	0,87x	0,62x	0,44x	0,36x	-					
6.78	0,41x	0,26ns	0,02ns	-						
6.8	0,39x	0,24ns	-							
7.04	0,15ns	-								
7.9	-									

• 5%=0,29

a2 X FB. Mineral cianurado por aislados

	T	3	5	1.4	5	7.8	6	2	10
	7.28	7.12	7.03	7	6.4	6.25	6.2	6.17	5.92
5.92	1,36x	1,20x	1,11x	1,08x	0,48x	0,33x	0,28ns	0,15ns	-
6.17	1,11x	0,95x	0,86x	0,83x	0,23ns	0,08ns	0,03ns	-	
6.2	1,08x	0,92x	0,83x	0,80x	0,20ns	0,05ns	-		
6.25	1,03x	0,87x	0,78x	0,75x	0,15ns	-			
6.4	0,88x	0,72x	0,63x	0,60x	-				
7	0,28ns	0,12ns	0,03ns	-					
7.03	0,25ns	0,09ns	-						
7.12	0,16ns	-							
7.28	-								

• 5%=0,29

a3 X FB. Mineral bruto por aislados

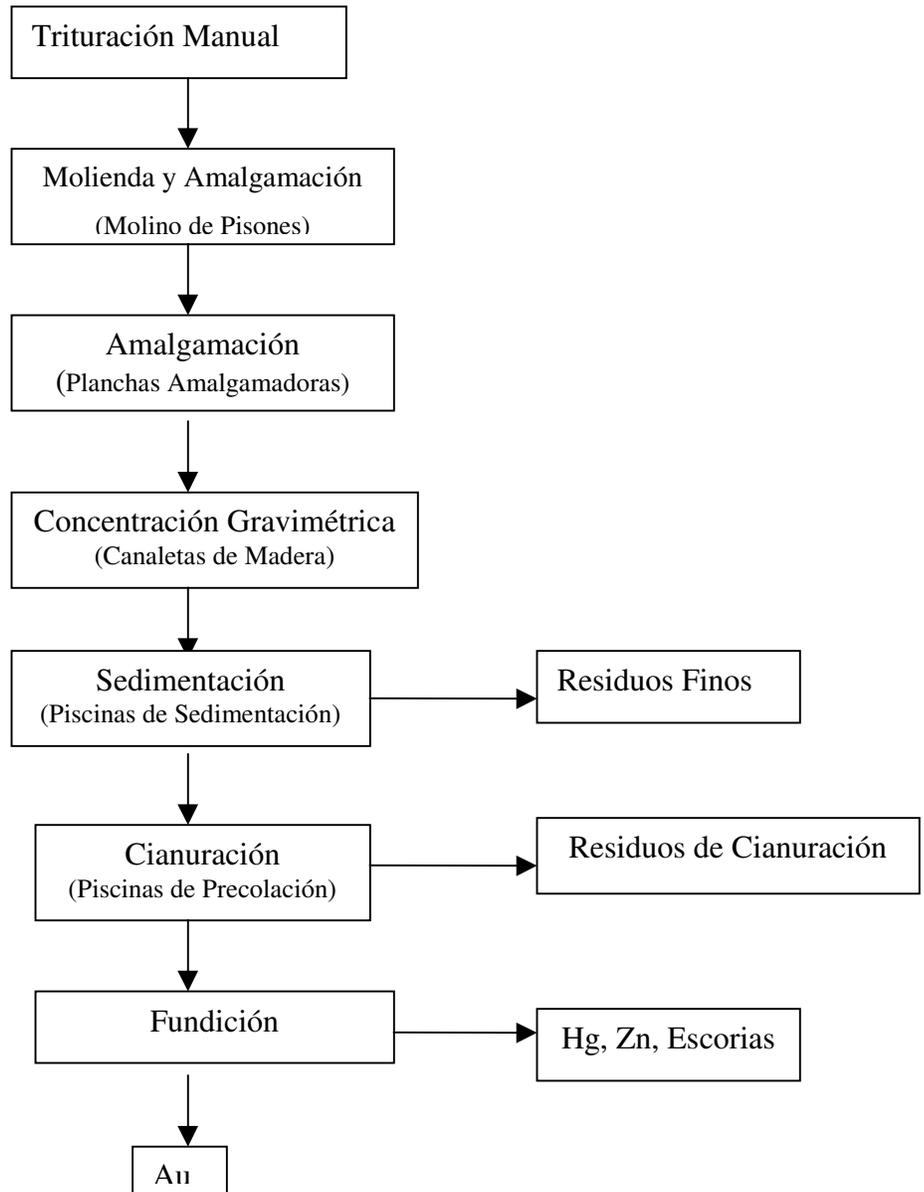
T	3	5	1.4	2	9	6	7	8	10
---	---	---	-----	---	---	---	---	---	----

	7.41	7.3	7.26	7.2	6.64	6.62	6.59	6.56	6.49	6.08
6.08	1,33x	1,22x	1,18x	1,12x	0,56x	0,54x	0,51x	0,48x	0,41x	-
6.49	0,92x	0,81x	0,77x	0,71x	0,15ns	0,13ns	0,10ns	0,07ns	-	
6.56	0,85x	0,74x	0,70x	0,64x	0,08ns	0,06ns	0,03ns	-		
6.59	0,82x	0,71x	0,67x	0,61x	0,05ns	0,03ns	-			
6.62	0,79x	0,68x	0,64x	0,58x	0,02ns	-				
6.64	0,77x	0,66x	0,62x	0,56x	-					
7.2	0,21ns	0,10ns	0,06ns	-						
7.26	0,15ns	0,04ns	-							
7.3	0,11ns	-								
7.41	-									

• 5%=0,29

Anexo E

Proceso de Beneficio de la Mina “Nueva Esparta”



Anexo F

Análisis Granulométrico

MINERAL BRUTO

No.	Luz de malla (micras)	Peso de Rechazo (g)	Peso de Rechazo (%)	Rechazo Acumulado (%)	Paso Acumulado
1	1000	0,02	0	0	99,99
2	500	19,38	1,94	1,94	98,06
3	250	354,46	35,52	37,46	62,54
4	125	507,42	50,84	88,3	11,7
5	63	87,68	8,78	97,08	2,92
6	Recolector	28,93	2,89	99,97	0,03

MINERAL SIN CIANURAR

No.	Luz de malla (micras)	Peso de Rechazo (g)	Peso de Rechazo (%)	Rechazo Acumulado (%)	Paso Acumulado
1	1000	0,08	0	0	100
2	500	2,7	0,27	0,27	99,73
3	250	137,04	13,73	14	86
4	125	425,22	42,61	56,61	43,39
5	63	260,02	26,05	82,66	17,34
6	Recolector	172,79	17,31	99,97	0,03

MINERAL CIANURADO

No.	Luz de malla (micras)	Peso de Rechazo (g)	Peso de Rechazo (%)	Rechazo Acumulado (%)	Paso Acumulado
1	1000	0,01	0	0	100
2	500	9,39	0,93	0,93	99,07
3	250	153,17	15,29	16,22	83,78
4	125	370,44	36,99	53,21	46,79
5	63	243,4	24,3	77,51	22,49
6	Recolector	224,92	22,46	99,97	0,03

Anexo G

Pruebas de referencia

Testigos

Se toman 125g de cada muestra y 250ml de agua destilada, relación 1:2 con 0.2g de cal y una concentración de cianuro de 3g/l 0.75g NaCN (consumo 3ml de AgNO₃)

Mineral Bruto

Horas	0	1.5	3	6	24	Cons.Final NaCN g
pH	11.18	11.52	11.37	11.16	10.94	2
AgNO ₃ (c)	3	2.4	3	2.8	2.8	
NaCN (g/l)	0.75	0.6	0.75	0.7	0.7	
Cons.NaCN	0	0.3	0	0.1	0.1	

Sin Cianurar

Horas	0	1.5	3	6	24	Cons.Final NaCN g
pH	11.9	11.59	11.45	11.38	11.13	1.2
AgNO ₃ (c)	3	2.5	3	2.9	3	
NaCN (g/l)	0.75	0.625	0.75	0.725	0.75	
Cons.NaCN	0	0.25	0	0.05	0	

Cianurada

Horas	0	1.5	3	6	24	Cons.Final NaCN g
pH	10.63	10.49	10.56	10.58	10.54	4.2
AgNO ₃ (c)	3	2.7	2.7	2.6	1.9	
NaCN (g/l)	0.75	0.675	0.675	0.65	0.475	
Cons.NaCN	0	0.15	0.15	0.2	0.55	

Arenas inoculadas

Se toman 250g de arena y 500ml de agua destilada, con 0.4g de cal y cianuro en concentración de 3g/l, es decir 1.5g de cianuro.

MINERAL BRUTO

Horas	0	1.5	3	6	24	Cons.Final
pH	11.23	11.83	11.81	11.76	11.46	NaCN g
AgNO3 (c)	3	3	2.8	2.8	2.8	
NaCN (g/l)	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	
Cons.NaCN	0	0	0.1	0.1	0.1	1.2

SIN CIANURAR

Horas	0	1.5	3	6	24	Cons.Final
pH	11.23	11.56	11.5	11.39	11.24	NaCN g
AgNO3 (c)	3	2.8	2.8	2.8	2.6	
NaCN (g/l)	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
Cons.NaCN	0	0.1	0.1	0.1	0.2	2

CIANURADA

Horas	0	1.5	3	6	24	Cons.Final
pH	11.45	11.06	10.96	10.99	11.1	NaCN g
AgNO3 (c)	3	2.5	3	2.8	2.4	
NaCN (g/l)	1.5	1.25	1.5	1.4	1.2	
Cons.NaCN	0	0.25	0	0.1	0.3	2.6

CONSUMO DE CIANURO

MINERAL BRUTO

Muestra	Recuperación Au (mg)	Consumo NaCN (mg)	Consumo Kg NaCN/Kg Au
T	0.83	550	665.7
1	2.42	700	268.66
2	3.255	575	196.775
3	2.41	600	124.48
4	2.755	625	211.565
5	2.53	575	226.425
6	2.96	675	237.15
7	3.41	1025	322.58
8	3.5	1000	257.14
9	3.025	1650	540.91
10	3.095	1475	464.255

MINERAL SIN CIANURAR

Muestra	Recuperación Au (mg)	Consumo NaCN (mg)	Consumo Kg NaCN/Kg Au
T	0.34	575	1744.79
1	0.555	875	1551.5
2	0.61	825	1337.555
3	0.785	1100	1389.61
4	0.955	700	936.505
5	0.83	825	722.89
6	0.64	800	1562.5
7	0.69	1750	1594.2
8	0.86	875	697.67
9	0.76	1050	1381.58
10	0.84	1250	1483.61

MINERAL CIANURADO

Recuperación	Consumo	Consumo
--------------	---------	---------

Muestra	Au (mg)	NaCN (mg)	Kg NaCN/Kg Au
T	0.205	1350	7219.83
1	0.305	1100	3727.78
2	0.3	1025	3416.67
3	0.22	1000	5000
4	0.35	1025	2924.84
5	0.33	1000	3042.28
6	0.36	1025	2859.375
7	0.385	1025	2673.985
8	0.37	1500	4124.54
9	0.325	1400	4330.02
10	0.375	1425	3787.34

Anexo I

Peso de oro

Fa	Repet	Factor b										T	Subt	Xfa	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
a1	I	2.43	3.41	2.41	2.11	2.51	3.25	3.21	3.21	2.9	3.52	0.86	29.8		
	II	2.84	3.1	2.28	2.72	2.55	3.37	3.17	3.34	3.15	3.47	0.8	30.8	2.76	
	Sum	5.27	6.51	4.64	4.83	5.06	6.62	6.38	6.55	6.05	6.99	1.66	60.6		
a2	I	0.52	0.58	0.77	0.64	0.83	0.77	0.48	0.49	0.63	0.87	0.36	6.94		
	II	0.59	0.64	0.8	0.56	0.74	0.64	0.69	0.58	0.76	0.81	0.32	7.13	0.64	
	Sum	1.11	1.22	1.57	1.2	1.57	1.41	1.17	1.07	1.39	1.68	0.68	14.1		
a3	I	0.28	0.3	0.22	0.36	0.32	0.4	0.37	0.35	0.32	0.48	0.14	3.54		
	II	0.36	0.32	0.31	0.34	0.34	0.32	0.4	0.39	0.33	0.42	0.19	3.72	0.33	
	Sum	0.64	0.62	0.53	0.7	0.66	0.72	0.77	0.74	0.65	0.9	0.33	7.26		
		7.02	8.35	6.79	6.73	7.29	8.75	8.32	8.36	8.09	9.57	2.67	81.9		

a1 : Mineral sin cianurar

a2: Mineral cianurado

a3: Mineral bruto

ANDEVA

FV	GL	SC	CM	FC
A	2GLA	SCA	38.3	2254
EA	3GLAE	SCEA	0.02	
B	10GLB	SCB	0.55	19
AB	20GLAB	SCAB	0.3	10.2
EB	30GLEB	SCEB	0.03	

FACTOR A. Tipo de mineral

	a1	a2	a3
	2.76	0.64	0.33
0.33	2,43x	0,31x	-
0.64	2,12x	-	
2.76	-		

x: diferencias significativas
ns: diferencias no significativas

• 5%=0,13

FACTOR B. Aislados bacterianos

	10	6	2,7,8	9	5	1	3	4	T
	1.6	1.46	1.39	1.35	1.22	1.17	1.13	1.12	0.45
0.45	1,15x	1,01x	0,94x	0,90x	0,77x	0,72x	0,68x	0,67x	-
1.12	0,48x	0,34x	0,27ns	0,23ns	0,10ns	0,05ns	0,01ns	-	
1.13	0,47x	0,33ns	0,26ns	0,22ns	0,09ns	0,04ns	-		
1.17	0,43x	0,29ns	0,22ns	0,18ns	0,05ns	-			
1.22	0,38x	0,24ns	0,17ns	0,13ns	-				
1.35	0,25ns	0,11ns	0,04ns	-					
1.39	0,21ns	0,07ns	-						
1.46	0,14ns	-							
1.6	-								

• 5%=0,34

a1 X FB. Mineral sin cianurar por aislados

	5	10	6	8	2	7	9	5	4	3	T
	3.53	3.5	3.31	3.28	3.26	3.19	3.03	2.53	2.42	2.35	0.83
0.83	2,70x	2,67x	2,48x	2,45x	2,43x	2,36x	2,20x	1,70x	1,59x	1,52x	-
2.35	1,18x	1,15x	0,96x	0,93x	0,91x	0,84x	0,68x	0,18ns	0,07ns	-	
2.42	1,11x	1,08x	0,89x	0,86x	0,84x	0,77x	0,61x	0,11ns	-		
2.53	1,00x	0,97x	0,78x	0,73x	0,71x	0,66x	0,50ns	-			
3.03	0,50ns	0,47ns	0,28ns	0,25ns	0,23ns	0,16ns	-				
3.19	0,34ns	0,31ns	0,12ns	0,09ns	0,07ns	-					
3.26	0,27ns	0,24ns	0,05ns	0,02ns	-						
3.28	0,25ns	0,22ns	0,03ns	-							
3.31	0,22ns	0,19ns	-								
3.5	0,03ns	-									
3.53	-										

• 5%=0,58

a2 X FB. Mineral cianurado por aislados

	10	3.5	6	9	2	4	7	1	8	T
	0.84	0.79	0.71	0.7	0.61	0.6	0.59	0.56	0.54	0.34
0.34	0,50ns	0,45ns	0,37ns	0,36ns	0,27ns	0,26ns	0,25ns	0,22ns	0,20ns	-
0.54	0,30ns	0,25ns	0,17ns	0,16ns	0,07ns	0,06ns	0,05ns	0,02ns	-	
0.56	0,28ns	0,23ns	0,15ns	0,14ns	0,05ns	0,04ns	0,03ns	-		
0.59	0,25ns	0,20ns	0,12ns	0,11ns	0,02ns	0,01ns	-			
0.6	0,24ns	0,19ns	0,11ns	0,10ns	0,01ns	-				
0.61	0,23ns	0,18ns	0,10ns	0,09ns	-					
0.7	0,14ns	0,09ns	0,01ns	-						
0.71	0,13ns	0,08ns	-							
0.79	0,05ns	-								
0.84	-									

• 5%=0,58

a3 X FB. Mineral bruto por aislados

10	7	8	6	4	5.9	1	2	3	T
----	---	---	---	---	-----	---	---	---	---

	0.45	0.39	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.31	0.27	0.17
0.17	0,28ns	0,22ns	0,20ns	0,10ns	0,18ns	0,16ns	0,15ns	0,14ns	0,10ns	-
0.27	0,18ns	0,12ns	0,10ns	0,09ns	0,08ns	0,06ns	0,05ns	0,04ns	-	
0.31	0,14ns	0,08ns	0,06ns	0,05ns	0,04ns	0,02ns	0,01ns	-		
0.32	0,13ns	0,07ns	0,05ns	0,04ns	0,03ns	0,01ns	-			
0.33	0,12ns	0,06ns	0,04ns	0,03ns	0,02ns	-				
0.35	0,10ns	0,04ns	0,02ns	0,01ns	-					
0.36	0,09ns	0,03ns	0,01ns	-						
0.37	0,08ns	0,02ns	-							
0.39	0,06ns	-								
0.45	-									

• 5%=0,58

Anexo J

Equipos y materiales utilizados en las pruebas metalúrgicas

1. Cuarteo

- Lona
- Espátula

2. Análisis granulométrico

- Tamices de diferentes luz de malla
- Balanza electrónica

3. Preparación de la muestra

- Molino de bolas

4. Pruebas de cianuración

- Reactor de vidrio de un litro de capacidad
- Sistema de filtración al vacío
- Plancha centrífuga
- pHmetro

5. Análisis de oro y plata por fusión directa

- Balanza analítica de precisión
- Horno de fundición
- Estufa de secado

Reactivos Empleados

1. Pruebas de cianuración

- Cianuro de sodio (NaCN)

- Cinc en polvo (Zn)
- Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2)
- Nitrato de plata (AgNO_3)
- Yoduro de Potasio (IK)
- Ácido Clorhídrico al 36% (HCl)
- Plomo laminado (Pb)
- Acetato de plomo

2. Análisis de oro y plata por fusión directa

- Carbonato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)
- Litargirio (PbO)
- Harina de trigo
- Ácido nítrico al 60% (HNO_3)