



Caracterización Mineralógica y Química de los depósitos de relaves (Colas de Proceso) en los sectores Auríferos de Cueva Loca (Bugá) y El Retiro (Ginebra - Guacarí), Departamento del Valle del Cauca

Mineralogical and Chemical characterization of the mill tailings in the auriferous sectors of Cueva Loca (Bugá) and El Retiro (Ginebra – Guacarí), Department of Valle del Cauca

JOHANNA MARCELA CERVERA-ACOSTA¹

NEIRA-LEÓN, G. A.²

MOLANO-MENDOZA, JUAN CARLOS³

GLORIA PRIETO-RINCÓN⁴

¹Universidad Nacional de Colombia – Dirección actual: Cll72BBisSur No. 77k – 79 - 2350007 Ext. 126 – Bogotá
E-mail: jmcerveraa@unal.edu.co

²Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia – Bogotá
E-mail: ganeiral@unal.edu.co

³Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia – Bogotá
E-mail: jcmolanom@unal.edu.co

⁴INGEOMINAS Diag. 53 No. 34 - 53. Bogotá
E-mail: gprieto@ingeominas.gov.co

CERVERA-ACOSTA, J., NEIRA-LEON, G., MOLANO-MENDOZA, J. & PRIETO-RINCON, G. (2008): Caracterización Mineralógica y Química de los depósitos de relaves (Colas de Proceso) en los sectores Auríferos de Cueva Loca (Bugá) y El Retiro (Ginebra - Guacarí), Departamento del Valle del Cauca.- GEOLOGÍA COLOMBIANA, 33, pp. 47-56, 7 Figs., Bogotá.

RESUMEN

Los depósitos de relaves constituyen una fuente de contaminación para suelos y cuerpos de agua, y generalmente contienen apreciables cantidades de oro no recuperado en el beneficio mineral. En el área de estudio se delimitaron los cuerpos principales y se realizaron 37 perforaciones y 3 apiques de control estratigráfico. Se seleccionaron 63, de las 118 muestras colectadas, para la caracterización mineralógica y químicamente se analizaron 17 muestras. Se estableció el tonelaje para cada cuerpo: 55.170 toneladas de material en El Retiro y 665 toneladas en Cueva Loca. En El Retiro se diferenciaron depósitos recientes y antiguos de acuerdo a sus características sedimentológicas. Composicionalmente existe predominio de minerales primarios: cuarzo, anfíboles, hematita; los minerales secundarios presentes son goethita, ferrihidrita, talco, entre otros. La pirita es menor al 5% en los minerales de mena. En Cueva Loca los minerales principales son cuarzo, carbonatos y óxidos; los sulfuros constituyen menos del 10%. El comportamiento geoquímico de los elementos está influenciado por las condiciones de pH y oxidación de los depósitos. En el caso del mercurio, éste supera los valores permitidos en la mayoría de las muestras analizadas. En ambos sectores se presentan valores de oro posiblemente concentrados en la fracción fina.

Palabras Clave: Cueva Loca, depósitos de relaves, El Retiro, geoquímica, mineralogía.

ABSTRACT

The mill tailings constitute one of the sources of contamination, for the soils and aqueous systems, and can contain significant quantities of gold wasted in the mining processes. In the study area the main bodies were defined and they were carried out 37 perforations and 3 trenches of stratigraphic control. Of the 118 samples were collected, 63 samples were selected for the mineralogical characterization

and 17 samples were analyzed chemically. The tonnage settled down for each body: 55.170 tons of material in El Retiro and 665 tons in Cueva Loca. In El Retiro the mill tailings deposits were differentiated in recent and old deposits according to its sedimentological features. Compositionally there is prevalence of the primary minerals: quartz, amphibole, hematite; the secondary minerals are goethite, ferrihydrite, talc, among others. The pyrite is minor than 5% in the ore minerals. In the Cueva Loca mill tailings the main minerals are the quartz, carbonates and oxides; the sulfides constitutes less than 10%. The geochemical behavior of the elements is influenced by the pH and oxidation deposits conditions. The mercury is over the limit values in most of the analyzed samples. In both sectors possibly are presented values of gold concentrated in the fine fraction.

Key words: *Cueva Loca, El Retiro, geochemistry, mill tailings, mineralogy.*

INTRODUCCION

La Universidad Nacional de Colombia, en convenio con el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) desarrolló el Proyecto de Investigación “Caracterización Geológico – Minera y Geoambiental de los Sectores de Cueva Loca (Buga) y El Retiro (Ginebra) en el Departamento del Valle del Cauca”, cuyo objetivo principal fue proveer el conocimiento de los depósitos, sus implicaciones en los procesos de explotación y beneficio, así como el adecuado manejo ambiental de los mismos. Dentro de este marco la caracterización de los depósitos de relaves, tema central de este trabajo, se constituye en una labor de gran importancia, considerando que es una de las cuatro fuentes de contaminación más preocupantes relacionada con la actividad minera (Dold 2005) y que en este caso involucra también pérdidas del mineral valioso, como resultado de la aplicación de técnicas de explotación y beneficio caracterizadas por ser antitécnicas e ineficientes.

El presente artículo muestra los avances alcanzados hasta el momento en la caracterización de los depósitos de relaves a través de la información geográfica, mineralógica y geoquímica obtenida.

Localización

La zona de estudio localizada en el Departamento del Valle del Cauca corresponde a la plancha IGAC 280 – II - A (Fig. 1). La mina El Retiro está ubicada en el municipio de San Juan Bautista de Guacarí (corregimiento La Magdalena), en las coordenadas N 912.570 y E 1.098.600, origen Buenaventura. La actividad minera se concentra en la parte alta de la subcuenca de la Quebrada Los Lulos, muy cerca al nacimiento de ésta. Por su parte la mina Cueva Loca, en jurisdicción del municipio de Buga, se encuentra aproximadamente a 1.300 m hacia el NE de la mina El Retiro, en las coordenadas N 913.403 y E 1.099.405 (origen Buenaventura), luego de la divisoria de aguas conocida como la Cuchilla Los Lulos. La actividad minera en este sector se localiza en la subcuenca de la Quebrada Janeiro y tiene influencia directa sobre el nacimiento de ésta.

Clima

El clima en el área, es tropical húmedo frío. Los vientos son débiles, determinados por la circulación valle, montaña y mar. La zona es lluviosa con una precipitación media de 2.400 mm/año. Las lluvias más fuertes se presentan en dos periodos: el primero se extiende de marzo a mayo y el segundo de octubre a diciembre. La evaporación varía de acuerdo a la temperatura, que en promedio oscila entre 12°C y 15°C. Los meses de mayor evaporación son agosto y octubre y los de menor, febrero y marzo (OBASCO *et al.* 2003).

METODOLOGIA

En la figura 2 se describe brevemente la metodología de trabajo.

ANTECEDENTES

De los trabajos realizados en la zona de estudio se destacan los siguientes por estar directamente relacionados con la temática del presente estudio: OBASCO Y CIA. LTDA & ANÁLISIS AMBIENTAL LTDA (2003), mencionan la piscina de lodos (depósito de relaves) actual de la mina El Retiro estableciendo un impacto potencial por descarga de sedimentos, sepultamiento, contaminación de los suelos, y lixiviación de mercurio y otras sustancias contaminantes, que afectarían directamente a la cuenca del Río Guabas. Por su parte, el estudio de ASTAIZA & PISCAL (2004), considera que el impacto ambiental ocasionado por los depósitos de relaves en el sector de El Retiro se relacionaría principalmente con su ubicación sobre una ladera muy cercana a la Quebrada Los Lulos. Otro trabajo que provee información relacionada con los relaves es el de CERVERA & GARCÉS (2005), donde se reportan valores de oro en los dos depósitos: en El Retiro parcialmente liberado y grueso (hasta 3500µm) y en Cueva Loca incluido en pirita y fino (2 - 90µm), con tenores aproximados de 3.92 g/ton para El Retiro y de 2.03 g/ton para Cueva Loca. Estos resultados indican deficiencia en el método de beneficio de las minas y sus valores se discutirán más adelante.

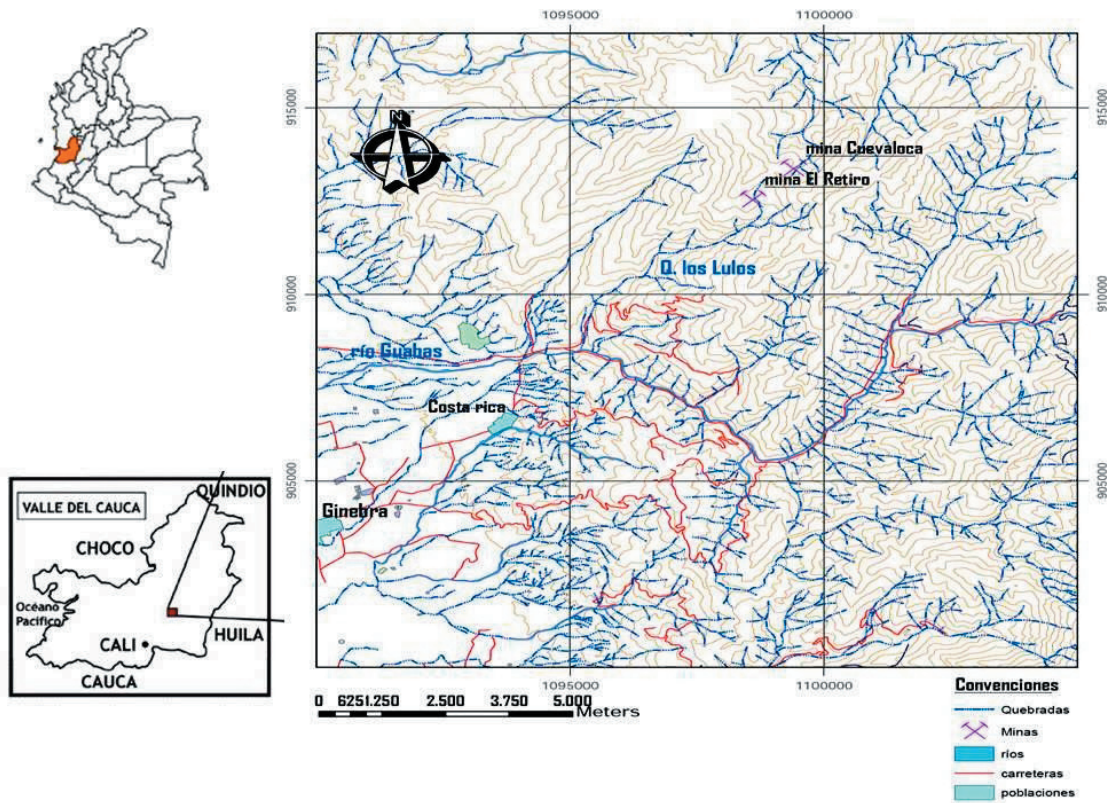


Fig. 1. Mapa de localización de la zona de Estudio.

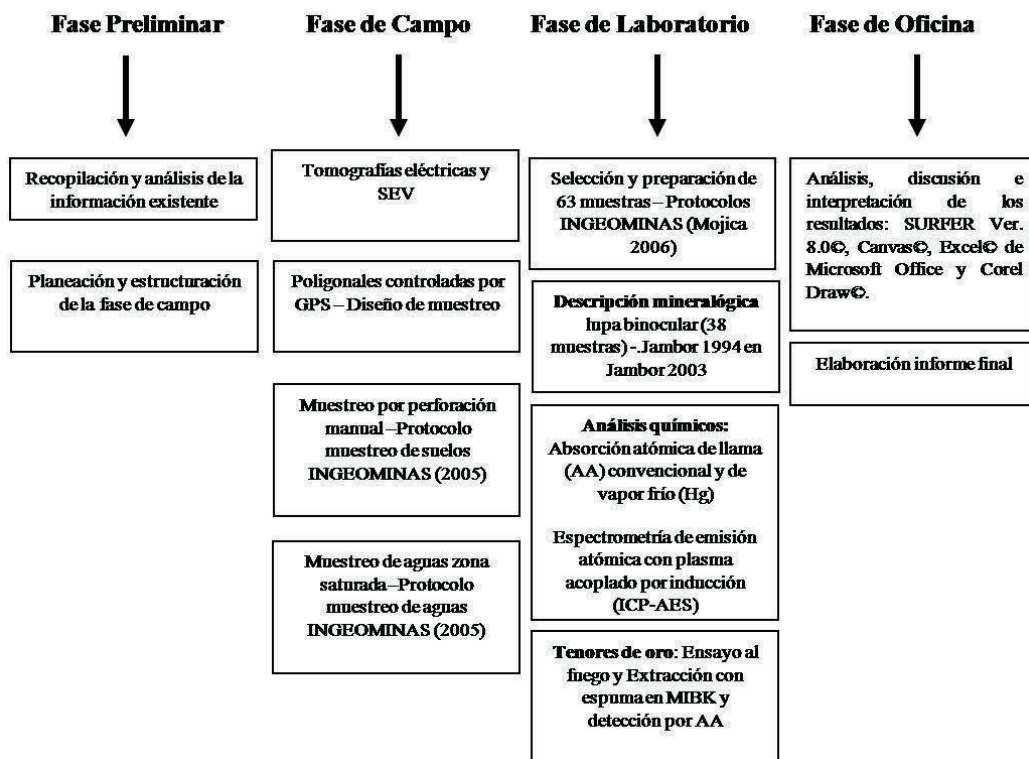


Fig. 2. Metodología de trabajo.

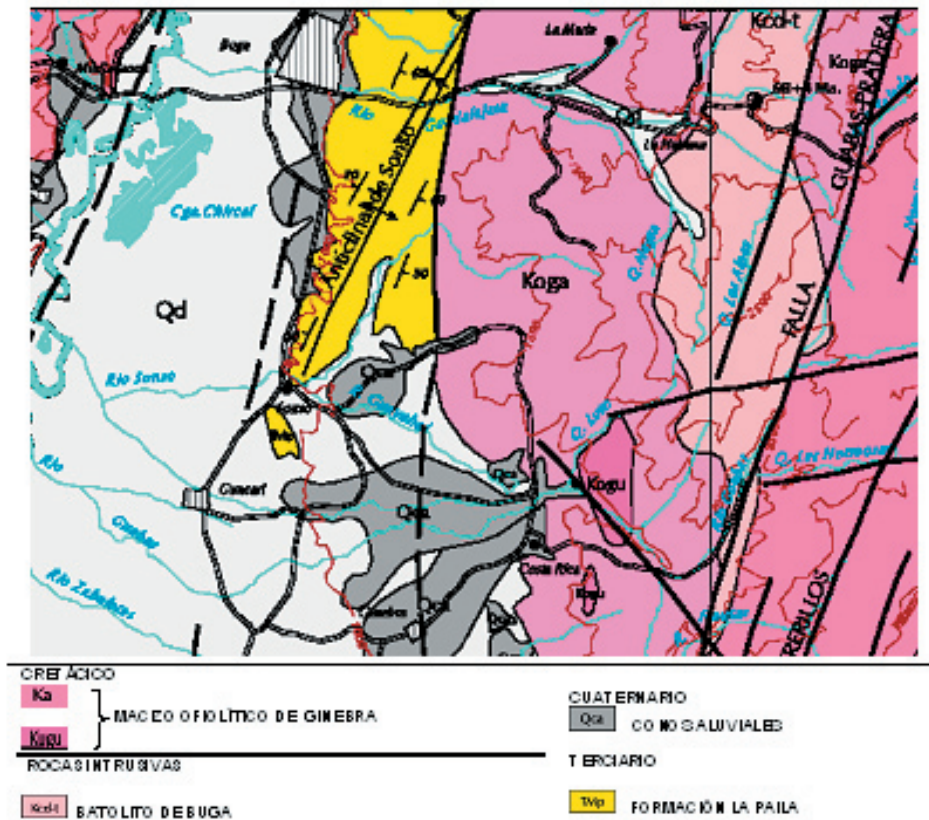


Fig. 3. Mapa geológico de la zona de Estudio. Modificado de NIVIA (2001).

TABLA 1. Composición mineralógica porcentual de los depósitos estudiados.

Mineral		El Retiro			Cueva Loca				
		Caja	Filón		Respaldo	Caja	Filón		Respaldo
		% (3)-(4)	% (1)	% Areal (2)	% (1)	% (3)-(5)	% (1)	% Areal (2)	% (1)
Ganga	Cuarzo	2-12	87.1	45	38	21-30	75.7	58	6.5
	Calcita				1.7		12.8	19	26
	Epidota				6.3	4-22	0.1		18.5
	Clorita	<<6	2.2		14	9-11	1.5		8.3
	Biotita		0.8		1.6	<1			1
	Muscovita		0.4		0.2		0.1		0.2
	Plagioclasa	35-48			13	30-44			6.5
	Anfibol	1-59							31.5
	Piroxeno	1-7				9-14			
Sericita			48	13.2	3	0.5	17		
Calcedonia				3		0.4			
Total			90.5	93	91		91.1	94	98.5
Mena	Ilmenita	1-9							
	Magnetita	1-9				<6			
	Pirita		5.32	7	7.02	<6	7.32	6	0.77
	Calcopirita		0.04	<1	0.57		0.06	<<1	
	Galena		0.06		0.05		0.03		0.53
	Hematita		2.19		1.36			<1	0.18
	Goethita		1.9				1.34	<1	0.18
Oro						0.15		0.02	
Total			9.5	7	9		8.9	6	1.5
TOTAL			100	100	100		100	100	100

MARCO GEOLÓGICO

En la zona se encuentran dos unidades litológicas principales: la unidad de gabros anfibólicos, perteneciente al Macizo Ofiolítico de Ginebra (MOG), que representa la roca encajante en la mineralización de El Retiro; y el Batolito de Buga, representado por tonalitas hornbléndicas y cuarzodioritas, que corresponde a la roca de caja en el sector de Cueva Loca. (Fig. 3). Los depósitos se encuentran desarrollados en filones bien constituidos y en venillas tipo stockwork. Esta última geometría es más común en el sector de El Retiro (PULIDO 2005). Mineralógicamente los depósitos son similares, dentro de los minerales de ganga predominan el cuarzo, la clorita y la sericita para el sector de El Retiro; y el cuarzo, la calcita y la clorita, para el sector de Cueva Loca. Los minerales de mena están representados por pirita, principalmente, acompañada de electrum, calcopirita, galena y esfalerita. Como minerales de alteración supergénica se reportan anglesita, covelina, calcosina, bornita, hematita y goethita (CERVERA & GARCÉS 2005, MOLANO *et al.* 2000a) (Tabla 1). Las alteraciones hidrotermales reportadas en los sectores son: silicificación, alteración filica, alteración tipo salvanda y alteración propilitica. Esta última con predominio en el sector de Cueva Loca (BALLÉN 2005).

El oro en El Retiro se encuentra principalmente libre en la fracción gruesa (hasta 2300µm), en menor proporción se encuentra asociado y/o incluido en cuarzo y sulfuros como pirita; ocasionalmente se encuentran algunos granos asociados a hematita, debido a la alteración supergénica. El oro es de tipo electrum, los tenores reportados alcanzan los 12.9 g/ton, con un promedio de 1.0

gr/ton. En el depósito de Cueva Loca el oro se encuentra principalmente incluido en pirita en la fracción fina del filón con tamaños entre 60 y 90µm; sin embargo, también es posible encontrarlo asociado a pirita y a cuarzo, con tamaños inferiores a las 20µm (CERVERA & GARCÉS 2005). Los tenores de oro reportados oscilan entre 0.01 y 6.98 g/ton (BALLÉN 2005).

Minería y Proceso de Beneficio

Los métodos de explotación y beneficio aplicados a un depósito en particular, son de especial importancia en el tipo de residuos que se puedan generar. A continuación se ilustra el actual proceso implementado en la zona de estudio (Fig. 4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generalidades de los depósitos de relaves

Los relaves en ambos sectores han sido dispuestos sobre el terreno natural (rellenos cuaternarios), sin ningún tipo de impermeabilización ni control geotécnico que garantice su estabilidad a largo plazo. En el sector de El Retiro estos depósitos se encuentran ubicados 500 m aguas abajo de la planta de beneficio, hacia la margen izquierda de la Quebrada Los Lulos. Allí se diferenciaron dos cuerpos con base en sus características sedimentarias, espaciales y temporales: Un depósito antiguo, inactivo actualmente, donde el material era conducido a través de canalones, dando lugar a zonas de acumulación principal de forma lenguada (espesores de hasta 1,6 m) y a zonas de acumulación secundaria de flujo no canalizado (espe-

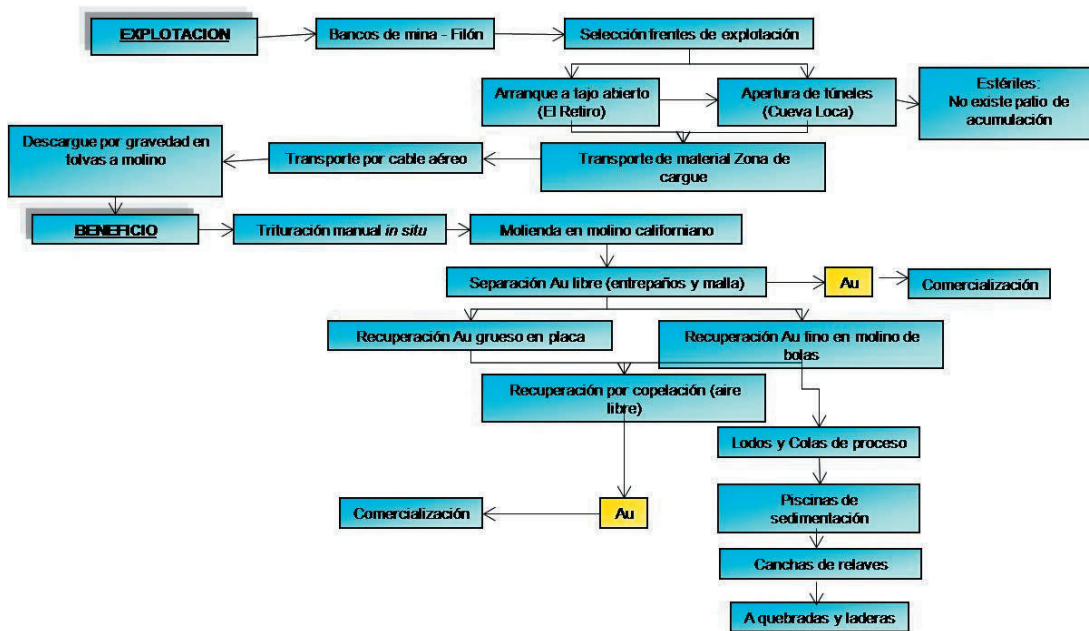


Fig. 4. Proceso de Explotación y Beneficio de los depósitos estudiados. Modificado de BOTERO (2006).

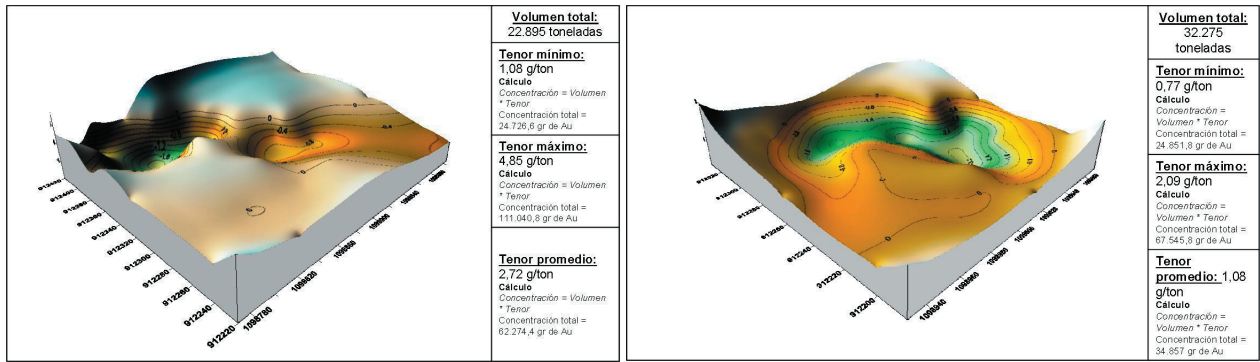
sores menores a 0,5 m) (Fig. 5a); esta distribución impide el desarrollo de la zona saturada en este depósito, aunque en época de lluvia puede acumularse cierta cantidad de agua como flujo subsuperficial. El segundo cuerpo es un depósito reciente donde la disposición del material se hace a través de una tubería en un terreno con inclinación menor a 5° y cuyos espesores alcanzan los 3.11 m. (Fig. 5b). El flujo constante del material a través de la manguera mantiene la superficie cercana al punto de descarga cubierta por una capa de agua; la zona saturada se alcanzó a los 1.6m. En época de lluvias este depósito se encuentra casi completamente saturado.

En el sector de Cueva Loca los relaves están situados 200 metros aguas abajo de la planta de beneficio, en una pequeña zona de alta pendiente y alta susceptibilidad a derrumbes. Los desechos son conducidos por una tubería hacia un sistema de sedimentación constituido por 3 piscinas escalonadas. Una vez colmada la terraza más baja, se procede al acarreo del material por medio de palas hacia la estrecha zona contigua (Fig. 5c). Este depósito no está comunicado con el efluente del molino, el único aporte de agua proviene de la precipitación y la infiltración de zonas circundantes lo que impide el desa-

rollo de una zona saturada.

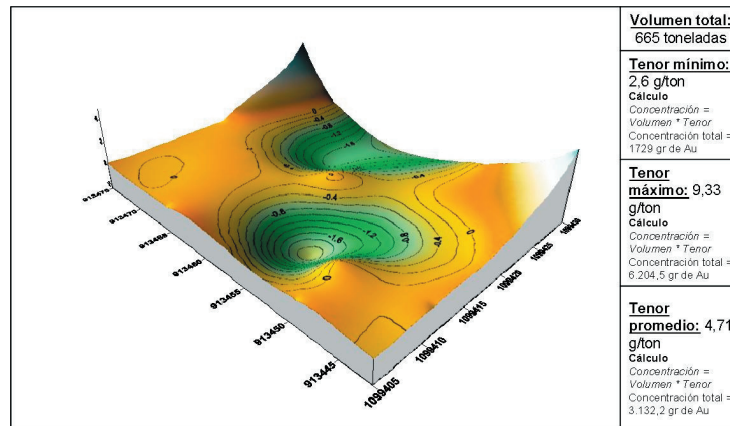
Estratigrafía de los depósitos de relaves

Los relaves antiguos de El Retiro están constituidos por niveles irregulares en los que prevalecen las arenas medias y gruesas pobremente seleccionadas. Separando estos niveles se encuentran horizontes orgánicos y/o niveles de alta oxidación. La granulometría de los relaves no presenta gran variación vertical, hay predominio de la fracción gruesa (>250µm) y son poco comunes los niveles en donde la fracción fina (<125µm) supera el 40%. La zona de mayor oxidación equivale a la porción media del perfil y presenta un color café rojizo, con valores de pH de 2 a 4, evidenciando procesos oxidativos de los sulfuros presentes. A nivel general la oxidación se concentra en las zonas extremas principalmente hacia el límite de las arenas debido a la facilidad de acceso del oxígeno y el agua necesarios para oxidar los sulfuros. En la base de los perfiles profundos se observó una capa delgada constituida por arenas grises de pH 6, que correspondería a la zona de menor alteración (Fig. 6a). En el caso de los depósitos recientes, estos se encuentran constituidos por niveles tabulares continuos conformados por arenas medias y grue-



(a) Relaves antiguos – El Retiro

(b) Relaves recientes – El Retiro



(c) Relaves Cueva Loca

Fig. 5. Modelos digitales de los relaves.

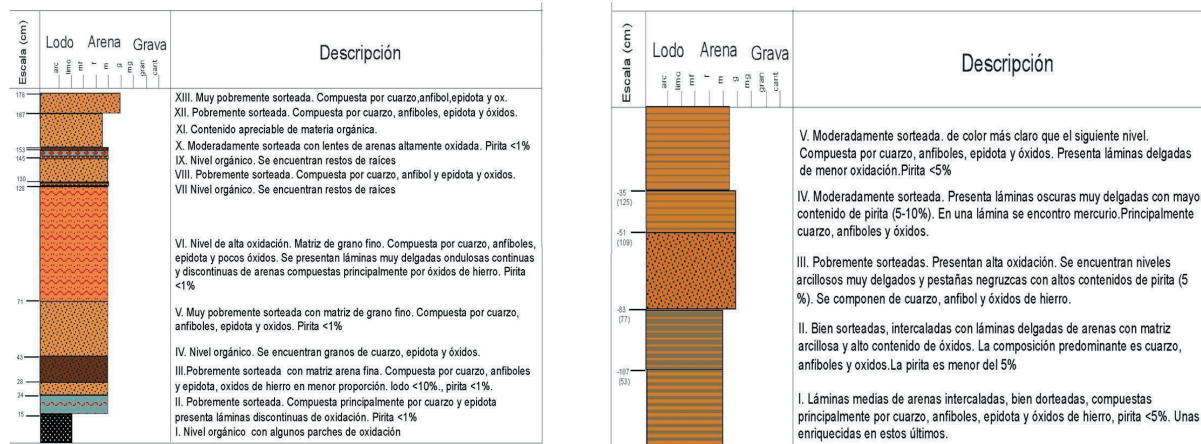
sas bien seleccionadas. A nivel general el depósito presenta variaciones texturales relacionadas con la distancia al punto de aporte del material. Los niveles centrales constituyen zonas profundas de mayor acumulación de la fracción gruesa (75-90%), mientras que en las zonas alejadas se incrementa la proporción arcillosa (20-60%). La zona de oxidación más importante es la constituida por la porción superior (hasta 1 m de profundidad) que presenta un tono más claro que los otros niveles y tiene características levemente ácidas (pH 5), reflejando posiblemente, que los procesos de oxidación se encuentran en su fase inicial. Intercalados con las anteriores zonas se observan niveles de menor oxidación, de colores grisáceos y mayor cantidad de pirita sin oxidar (Fig. 6b).

En el sector de Cueva Loca el depósito de relaves presenta características muy homogéneas. El material de color gris claro, tiene predominio de granulometría gruesa, se encuentra moderadamente seleccionado, y conserva las características granulométricas a lo largo del perfil. La porción superior, hasta 1.25 m, presenta la mayor concentración de óxidos, aunque en general las zonas oxidadas

se encuentran distribuidas irregularmente.

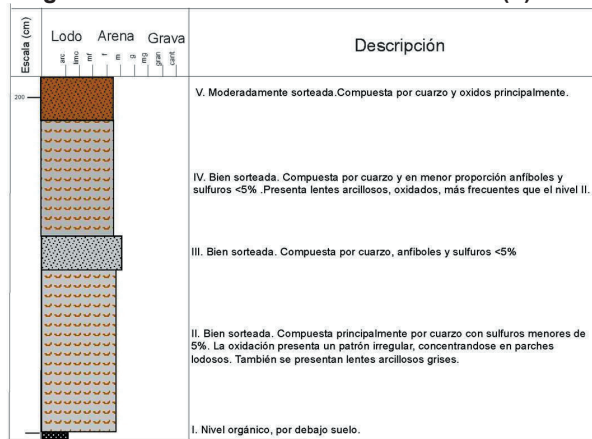
Mineralogía de los depósitos de relaves

Los minerales de ganga, tanto en El Retiro como en Cueva Loca, corresponden en su mayoría a minerales primarios de acuerdo a las asociaciones originales de los depósitos. El más abundante es el cuarzo (70-80%), seguido del anfíbol, la epidota y la clorita. En el sector de Cueva Loca se reportan carbonatos, producto de la alteración propilitica que predomina en este depósito. En cuanto a la mena se observan diferencias en ambos sectores: en el caso de El Retiro esta compuesta principalmente por óxidos de hierro primarios (hematita) (JAMBOR 2003) e hidróxidos de hierro secundarios; en menor cantidad se observan magnetita, pirita, calcopirita y galena, concentrados en la fracción fina. En el caso de Cueva Loca se reconocieron pirita y calcopirita, mejor preservadas, como minerales de mena más importantes; también se reportan covelina y calcosina, minerales no encontrados en los relaves de El Retiro. En zonas de alta oxidación la pirita es común encontrarla con pátinas de óxidos, reemplazada



(a) Relaves antiguos – El Retiro.

(b) Relaves recientes – El Retiro.



(c) Relaves Cueva Loca.

Fig. 6. Perfiles estratigráficos generalizados de los depósitos de relaves.

completamente y hasta ‘carcomida’.

Los hidróxidos de hierro constituyen los minerales secundarios más importantes de los depósitos de relaves y diferencian estados de oxidación. Se identificaron cinco distintas especies de acuerdo a su coloración y ocurrencia. Se ha establecido preliminarmente a la goethita como el mineral más abundante seguido de ferrihidrita (BLOWES 2003, CORNELL & SCHWERTMANN 1996, JAMBOR 2003). Estos minerales son más comunes en los depósitos de El Retiro.

De especial interés es la aparición de oro y mercurio en los relaves de El Retiro: mercurio metálico en la fracción fina de una muestra de los relaves recientes y oro asociado a hematita en la fracción gruesa de una muestra de los relaves antiguos.

Geoquímica de los depósitos de relaves

Los procesos geoquímicos que se llevan a cabo en los depósitos de colas determinan la dispersión o acumu-

lación posterior de los elementos sobre los cuáles actúan. El comportamiento de los elementos se encuentra influenciado por las condiciones de pH y por el ambiente de oxidación en que se encuentran. En los relaves antiguos – sector El Retiro el pH aunque mantiene ciertas condiciones homogéneas a lo largo del perfil (pH débilmente ácido a neutro), llega a presentar valores ácidos (pH 3) hacia los 0,4 m de profundidad. Los cambios de concentración de los elementos, especialmente en los elementos traza (Co, Ni, Cd), pueden estar reflejando cambios composicionales en el material beneficiado; sin embargo también reflejan procesos de oxidación-reducción y de adsorción-desorción que han actuado durante el tiempo de acumulación de los relaves. Los sitios de acumulación de elementos traza, se caracterizan por presentar alto contenido de arcillas, las cuales actúan como captadores por adsorción, de estos elementos. En éstas zonas de acumulación también se presentan altos contenidos de Mn y de Fe. En cuanto al mercurio los valores encontrados para las arenas de relaves en éste depósito se encuentran entre 1 y 2.41 ppm (mg/Kg), superando los límites establecidos de 0.20 mg/Kg (TUREKIAN & WADEPOHL 1961) y 0.35 mg/Kg (FORSTNER &

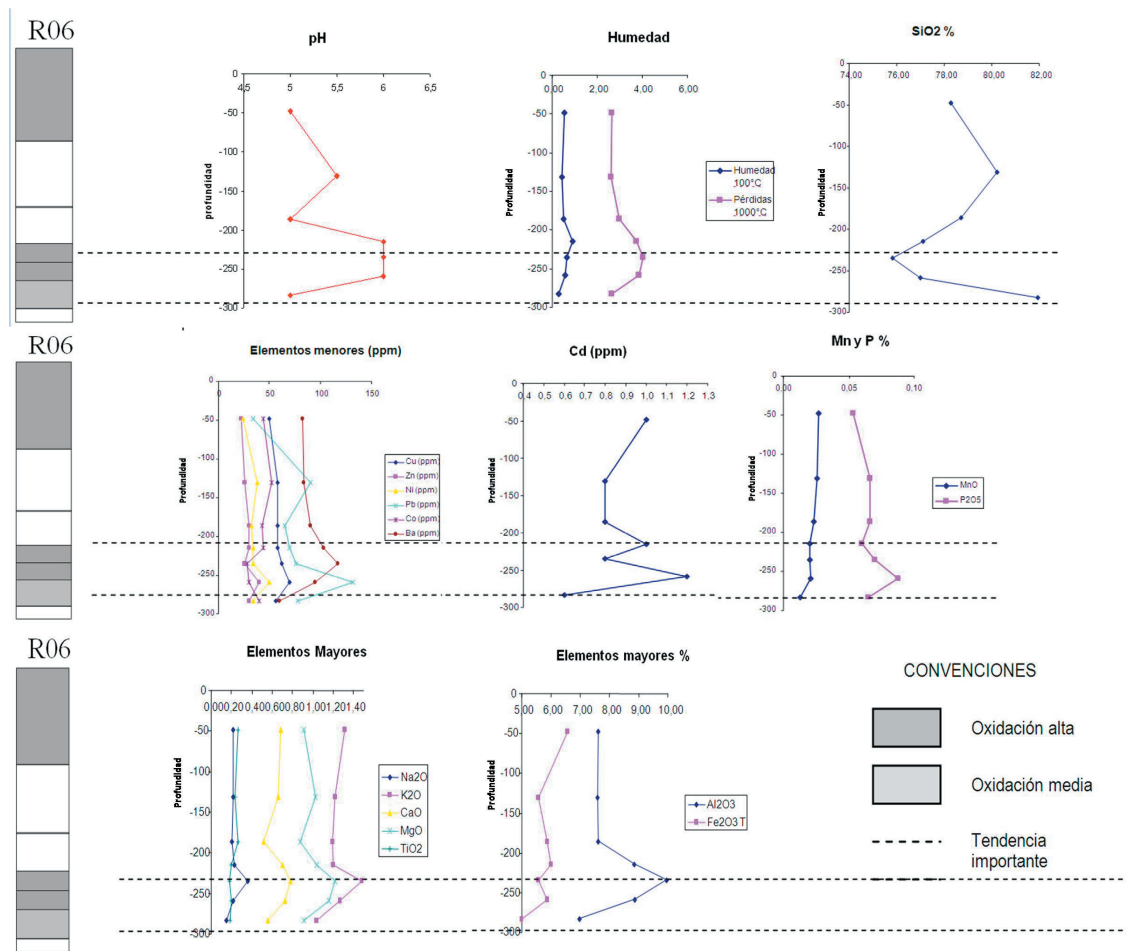


Fig. 7. Concentración vs. Profundidad elementos mayores y menores en Relaves Recientes - El Retiro.

SALOMÓNS 1984).

Por otra parte en el depósito de relaves recientes en este mismo sector, se estableció que los procesos de meteorización han actuado en menor extensión y los cambios a lo largo del perfil son menos drásticos (Figura 7), esto posiblemente se debe a que el depósito en mención es aun un depósito activo. Los elementos mayores y menores muestran una tendencia a enriquecerse en los niveles más profundos, ocasionados probablemente por los cambios composicionales de los materiales beneficiados. Los valores de mercurio para los relaves recientes se encuentran entre 0.18 y 1.46 ppm (mg/Kg), superando en su mayoría el límite establecido (Turekian & Wadepohl, 1961). Los valores más altos (>1) se encuentran en la región más alejada del punto de descarga, sugiriendo la acumulación del Hg en la fracción más fina.

En cuanto a los relaves de Cueva Loca se estableció que el pH se mantiene en condiciones de neutralidad, lo cuál limita la actuación de muchos procesos en los que intervienen los elementos traza. Las variaciones de las concentraciones, en la porción intermedia, son leves y se deben al cambio de materiales beneficiados. Los valores de mercurio para las arenas de éste depósito oscilan entre 1.2 y 1.98 ppm, superando las normas ya mencionadas.

Geoquímica de las aguas

Se analizaron los sitios de muestreo con el fin de establecer la influencia de los procesos geoquímicos que actúan en los depósitos de relaves a través de la variación de los parámetros físico – químicos y la concentración de elementos. El pH levemente ácido (pH 4.74) medido en el efluente del molino se acidifica en los depósitos (pH 3.84 y 3.96) y en el efluente de los mismos se torna de nuevo levemente ácido (4.46 y 4.05). Las condiciones ácidas en los relaves permiten la liberación de la mayoría de los elementos desde la fase sólida incrementando su concentración en las aguas intersticiales de las arenas de los relaves. En el efluente se observa una disminución en la concentración de elementos, consecuencia de la dilución de los mismos al entrar en contacto con las aguas de la Quebrada los Lulos. Los valores de mercurio en las aguas de los relaves superan los valores de referencia de 0.77 ppb para aguas dulces no contaminadas (USEPA 2002) y de 1ppb para aguas potables (Ministerio de Salud - Decreto 475 de 1998); sin embargo, los lixiviados del tanque presentan valores por debajo de estas concentraciones.

Consideraciones económicas para los depósitos de relaves

Los tenores de oro encontrados en los relaves antiguos de El Retiro oscilan entre 1.08 y 4.85 g/ton con un promedio de 2.72 g/ton. En los pozos más profundos existe mayor probabilidad de acumulación de este elemento. Este mineral se encuentra relacionado con las fracciones finas y los sulfuros o hematitas como se estableció en el

análisis mineralógico. Para el depósito de relaves recientes los tenores estimados varían entre 0.77 y 2.09 g/ton con un promedio de 1.08 g/ton. La zona de mayor tenor coincide con el intervalo arcilloso del perfil evaluado indicando que el oro puede estar alojado en la fracción fina del depósito. En el sector de Cueva Loca se encontraron tenores de oro altos: El ensayo al fuego arrojó valores de 2.6 a 9.3 g/t para la totalidad del depósito y en los ensayos químicos se obtuvieron valores de 3.42 a 4.81 g/t. Se observa acumulación de este mineral en el nivel mas profundo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los minerales encontrados en los relaves de los dos sectores mineros presentan características y proporciones similares, con predominio de las especies primarias: En el caso de Cueva Loca son pocos los minerales secundarios a diferencia de los depósitos antiguos de El Retiro donde se incrementa la proporción de estos, producto de la meteorización del material. Se sugiere la realización de análisis de DRX como complemento de la caracterización mineralógica, especialmente en la determinación de arcillas y especies minerales desconocidas, con el fin de precisar la información obtenida hasta el momento respecto a la formación de minerales secundarios. Los valores de oro encontrados en los relaves revelan deficiencias en el método de beneficio relacionadas principalmente con el procesamiento de la fracción fina. Es necesario adelantar estudios enfocados a determinar el modo de ocurrencia del oro en estos depósitos, para establecer alternativas de recuperación secundaria y la viabilidad económica de futuros proyectos de reprocesamiento del material. La concentración de elementos en los relaves presenta variaciones relacionadas con las condiciones de pH, la presencia de materiales arcillosos, y la presencia o ausencia de óxidos e hidróxidos. En los depósitos recientes de El Retiro se observa un incremento en la concentración de elementos en solución debido a las condiciones ácidas que prevalecen. La disminución aparente en la concentración de elementos en los lixiviados puede deberse al contacto con la quebrada los Lulos. No debe descartarse el aporte de cantidades nocivas a las aguas de la cuenca. La presencia de Hg en los relaves, llama la atención acerca del proceso de beneficio empleado, pues propicia la acumulación de éste elemento altamente tóxico en un sitio que se constituye en fuente para los ecosistemas propios y circundantes. Se hace necesario complementar la información obtenida en este proyecto con el fin de evaluar si existe o no interacción de este elemento con el ecosistema circundante.

AGRADECIMIENTOS

A INGEOMINAS – Bogotá: Dra. Liliana Alvarado por su apoyo durante todas las etapas del proyecto. Al personal de laboratorio: Alicia, Lucila, Luís y Rudy, por su colaboración en la preparación y análisis químicos de las muestras. A Nazario Carrillo quien fue indispensable durante las labores de campo.

A Jorge Iván Londoño, Harold Iván Concha y Verónica Ruiz Solano de INGEOMINAS – Cali, y a Andrés Jiménez y Felipe Botero de la Universidad Nacional de Colombia, quienes hicieron parte del grupo interdisciplinario del proyecto y contribuyeron enormemente con su realización. Al Dr. Bernhard Dold por sus valiosos aportes teóricos y prácticos relacionados con el estudio de los relaves y su importancia en la gestión minero - ambiental. A la comunidad minera de El Retiro y Cueva Loca por su hospitalidad y colaboración durante la fase de campo. Especialmente a Don Edilberto, Don Héctor, Rafael, Luís, Don Abelardo y Doña Amanda. Por último a Thomas Heinrich Cramer, Armando Sánchez y José María Jaramillo de la Universidad Nacional de Colombia quienes apoyaron la fase de laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTAIZA, L. & PISCAL, S. (2004): Diagnóstico, evaluación y plan de acciones ambientales para la explotación de la mina aurífera El Retiro, ubicada en el corregimiento de la Magdalena, Municipio de Guacarí, Departamento del Valle del Cauca (Trabajo de Grado) – 150 p., Universidad Central del Valle del Cauca; Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales. Tulúa.
- BALLÉN, H. (2005): Estudio geológico-minero del sector aurífero de Cueva Loca (Bugá) en el Departamento del Valle del Cauca (Trabajo de grado)- 20p., Universidad Nacional de Colombia; Departamento de Geociencias. Bogotá.
- BLOWES D., PTACECK C. & JURJOVEC, J. (2003a). Hidrologic and geochemical transport processes in mine waste rock. - Jambor, J & Blowes, D. Environmental aspects of Mine Wastes, p. 95-116, Series Editor Robert Raeside, Vancouver, British Columbia
- BOTERO, F. (2006): Caracterización geoquímica ambiental del sistema acuoso de la quebrada Los Lulos afluente del río Guabas, sector de El Retiro (Ginebra). Departamento del Valle del Cauca. (Trabajo de grado)- 24p., Universidad Nacional de Colombia; Departamento de Geociencias. Bogotá.
- CERVERA, J. & GARCÉS, A. (2005) Estudio metalográfico de las mineralizaciones auríferas en los sectores de Cueva Loca y El Retiro (Departamento del Valle del Cauca), orientado al mejoramiento del proceso de beneficio (Trabajo de grado).- 20p., Universidad Nacional de Colombia; Departamento de Geociencias. Bogotá D.C.
- CORNELL, R. & SCHWERTMAN, U. (1996): The Iron Oxides, Structure, properties, reactions, occurrences and uses- 400p., VCH, Weinheim, New York.
- DOLD, B. (2005): Basic concepts of environmental geochemistry of sulphide mine waste - Mineralogía, geoquímica y geomicrobiología para el manejo ambiental de desechos minero, XXI Curso Latinoamericano de Metalogenia, p 3-31, UNESCO-SEG, Santiago de Chile.
- GORDILLO, C. (2005): Caracterización petrográfica de las unidades encajantes del yacimiento aurífero de Ginebra – Bugá (Valle del Cauca). (Trabajo de Grado)- 22p. Universidad Nacional de Colombia; Departamento de Geociencias, Bogotá
- JAMBOR, J. (2003): Mine-Waste mineralogy and mineralogical perspectives of acid-base accounting - Jambor, J & Blowes, D. Environmental aspects of Mine Wastes, p. 117-145, Vancouver, British Columbia.
- LONDOÑO, J., CONCHA, H., RUIZ, V. & CERVERA, J (2007). Caracterización Metalúrgica de las Plantas de Beneficio de las Minas El Retiro Y Cueva Loca, Valle Del Cauca. INGEOMINAS – UNIVERSIDAD NACIONAL. Proyecto de Investigación INGEOMINAS – JICA, Bogotá
- MOLANO, LONDOÑO, MOSQUERA et al, (2000a). Caracterización Mineralúrgica del Distrito Aurífero de Ginebra. Proyecto de Investigación en Procesamiento de Minerales INGEOMINAS, Cali.
- MOLANO, LONDOÑO, MOSQUERA et al, (2000b). Catálogo de propiedades mineralógicas, físicas y químicas de los yacimientos auríferos primarios de Colombia, Departamento de Cauca, Nariño y Valle del Cauca. Proyecto de Investigación en Utilización y Procesamiento de rocas, minerales y carbones. INGEOMINAS. Santiago de Cali.
- MOJICA, J. (2006). Método simplificado de determinación de oro en menas auríferas. INGEOMINAS. Curso de segundo país JICA. Santiago de Calif.
- NIVIA, A. (2001). Mapa Geológico del Departamento del Valle del Cauca. Escala 1:250.000, INGEOMINAS. Bogotá.
- OBASCO Y CIA. LTDA & ANALISIS AMBIENTAL LTDA. (2003). Estudio para el control de contaminación por cianuro (CN) y mercurio (Hg) en las cuencas de los ríos Guabas y Guadalajara, Municipios de Ginebra, Guacarí y Bugá. Santiago de Cali.
- PULIDO, W. (2005): Caracterización geológico-minera del depósito aurífero de El Retiro, Ginebra (Valle del Cauca) (Trabajo de grado)- 93p., Universidad Nacional de Colombia; Departamento de Geociencias. Bogotá D.C.
- SALOMONS W & FÖRSTNER U. (1984): Metals in the Hydrocycle.-349p. Springer Verlag. Berlin.
- TUREKIAN. K. & WADEPOHL K. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth`s crust. -Geol. Soc. Amb. Bol 72. p 175-192.0
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2002). Comparación de Niveles Máximos de Contaminante de USEPA y Estándares de Calidad de FDA con Estándares de Calidad Modelo de IBWA. Estados Unidos de América.

Manuscrito recibido Noviembre 2008; aceptado Diciembre 2008.