



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas Y Naturales

Departamento de Geología

**“APLICACIÓN DEL METODO DE GRESENS
PARA EL TRATAMIENTO DE ROCAS
ALTERADAS Y SU USO EN LA
INTERPRETACIÓN DE CUERPOS
MINERALIZADOS PROFUNDOS EN EL
DISTRITO DE CANANEA, SONORA,
MÉXICO.”**

TESIS

**Que para obtener el Titulo de:
GEÓLOGO**



Presenta:

Hugo Alonso Zúñiga Hernández

Hermosillo, Sonora, México.

Agosto de 2006.

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

04 de Agosto, 2006.

M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
P R E S E N T E .-

Por este conducto, me permito someter a su consideración el siguiente tema de Tesis:

"APLICACIÓN DEL METODO DE GRESSEN'S PARA EL TRATAMIENTO DE ROCAS ALTERADAS Y SU USO EN LA INTERPRETACION DE CUERPOS MINERALIZADOS PROFUNDOS EN EL DISTRITO DE CANANEA, SONORA, MEXICO".

Esto es con el fin de que el alumno:

HUGO ALONSO ZUÑIGA HERNANDEZ

Pueda presentar su examen profesional para la obtención de su título. En espera de su respuesta, quedo de Usted.

ATENTAMENTE



DR. LUCAS HILARIO OCHOA LANDIN
DIRECTOR DE TESIS.

C.c.p. Interesado.
C.c.p. Archivo.



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10
FAX 259 21 11

07 de Agosto, 2006.

DR. LUCAS HILARIO OCHOA LANDIN

Director de Tesis

Presente.-

Por este conducto, les comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Ustedes intitulado:

“APLICACIÓN DEL METODO DE GRESSEN’S PARA EL TRATAMIENTO DE ROCAS ALTERADAS Y SU USO EN LA INTERPRETACION DE CUERPOS MINERALIZADOS PROFUNDOS EN EL DISTRITO DE CANANEA, SONORA, MEXICO”

Esto es con el fin de que el alumno:

HUGO ALONSO ZUÑIGA HERNANDEZ

pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su Título.

Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

DR. INOCENTE GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO	PRESIDENTE
DRA. DIANA MARIA MEZA FIGUEROA	SECRETARIO
DR. LUCAS HILARIO OCHOA LANDIN	VOCAL

Sin otro en particular, quedo de Ustedes.

A T E N T A M E N T E
“EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA”

M.C. FRANCISCO J. GRIJALVA NORIEGA
JEFE DEL DEPARTAMENTO.



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA

C.c.p. Interesado.
C.c.p. Archivo.



NOMBRE DE LA TESIS:

“APLICACIÓN DEL METÓDO DE GRESSEN’S PARA EL TRATAMIENTO DE ROCAS ALTERADAS Y SU USO EN LA INTERPRETACION DE CUERPOS MINERLIZADOS PROFUNDOS EN EL DISTRITO DE CANANEA, SONORA, MEXICO”

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

HUGO ALONSO ZUÑIGA HERNANDEZ

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

Inocente Espinoza Maldonado
DR. INOCENTE GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

Diana Maria Meza Figueroa
DRA. DIANA MARIA MEZA FIGUEROA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

Lucas Ochoa Landin
DR. LUCAS OCHOA LANDIN

ATENTAMENTE
“EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA”

M.C. Francisco Javier Grijalva Noriega
M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA
JEFE DE DEPARTAMENTO.



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA

FJGN*ar

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la compañía minera María, su apoyo logístico y económico, para llevar a acabo este estudio y muy en particular al Ing. Mario Aponte por su incondicional apoyo para la completa realización de esta trabajo, así como las intensa y enriquecedoras conversaciones sobre el distrito de Cananea. De igual forma agradecemos a los geólogos que laboran en esta institución por su desinteresado y fuerte apoyo. Este trabajo queda enmarcado dentro del convenio de cooperación llevado a cabo entre Minera María y Universidad de Sonora registrado como proyecto No. 12611. A la Estación Regional Noroeste (ERNO) por la haber facilitado la utilización de las instalaciones para el triturado de las muestras; y a la Unison por la facilidad de la utilización del laboratorio de preparación de muestras, y en especial al Dr. Francisco Paz, y a Jesse por su apoyo en la pulverización de las muestras.

A los profesores (as) Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado y Dra. Diana Mesa Figueroa, por sus consejos y revisiones hechas para la optimización del escrito.

Quiero dar las gracias de una manera muy especial al Dr. Lucas H. Ochoa Landin, por su apoyo y la confianza en esta tesis, por los comentarios y revisiones echas a través de todo el desarrollo.

A todas aquellas personas que de alguna manera u otra tuvieron participación en este trabajo.

Índice

I.-Resumen	1
II.- Introducción	2
II.1.-Localización del Área de estudio	2
II.2.- Trabajos Previos	2
Propósito del trabajo	3
III.- Geología de Distrito Minero Cananea	6
III.1.- Rocas Pre-Laramidicas	6
III.1.1.-Granito Cananea	6
III.2.- Rocas Sedimentarias	9
III.2.1.- Cuarcita Bolsa	9
III.2.2.-Caliza Abrigo	10
III.2.3.-Caliza Martín	10
III.2.4.-Caliza Escabrosa	11
III.2.5.-Formación Horquilla	11
III.3.-Rocas Volcánicas	12
III.3.1.-Formación Elenita	12
III.3.2.-Formación Henrietta	13
III.4.-Rocas Ígneas Laramidicas	13
III.4.1.-Formación Mariquita	13
III.4.2.-Formación Mesa	14
III.4.3.-Batolito Tinaja-Cuitaca	14
III.4.4.-Diques Máficos Tardíos	15
III.4.5.-Pórfidos Cuarzo-Feldespáticos	16
III.5.-Geología Estructural	16
III.6.- Mina Maria	17
III.6.1.-Geología	17
III.6.2.- Mineralización y alteración	18
III.7.- Mina Mariquita	18
III.7.1.-Geología	19
III.7.2.-Mineralización y alteración	20

III.8.- Mina Milpillas	20
III.8.1.-Geología	21
III.8.2.-Mineralización y alteración	21
III.9.- Mina Cananea	22
III.9.1.-Geología	22
III.9.2.-Mineralización y alteración	23
IV.- Método de Gresens	24
IV.1.-Introducción	24
IV.2.-Desarrollo Histórico	25
IV.3.-Aplicación	25
IV.4.-Geología y Características	26
IV.4.1.-Geología de la Mina María	27
IV.4.2.-Geología de la Mina Lucy	27
IV.5.-Geoquímica	32
IV.6.- Preparación de las muestras para la utilización del método Gresens.	34
IV.7.-Análisis con el Método de Gresens	36
IV.7.1.-Diagrama composición-volumen, para comprobar la relativa inmovilidad de componentes.	40
IV.7.2.-Pérdidas y ganancias de muestras	43
V.- Discusión y conclusiones	52
VI.- Bibliografía	54
VII.- Anexos	56

Lista de Figuras

Figura 1.- Plano de localización del Distrito Minero Cananea.	5
Figura 2.- Columna estratigráfica General del Área Cananea.	7
Figura 3.- Plano Geológico del Distrito Minero Cananea.	8
Figura 4.- Mapa Geológico de la Mina Maria, con la localización de las muestras.	29
Figura 5.- Mapa Geológico de la Mina Lucy, con localización de muestras.	30
Figura 6.- Ampliación de localización de muestras.	31
Figura 7.- Comparación de granodiorita con corteza continental superior.	33
Figura 8.- Picnometro.	34
Figura 9.- Ejemplo de pérdidas y ganancias.	38
Figura 10.- Grafica de Fv para de componentes inmóviles para la Mina Maria.	41
Figura 11.- Grafica de Fv para de componentes inmóviles para la Mina Lucy.	42
Figura 12.- Resultados de pérdidas y ganancias, Mina Maria.	49
Figura 13.- Resultados de pérdidas y ganancias, Mina Lucy.	50
Figura 14.- Graficas de composición, mg/cc a) Mina Maria y b) Mina Lucy.	51

Lista de Tablas

Tabla 1.- Densidades obtenidas.	35
Tabla 2.- Lista de muestras para cada localidad.	35
Tabla 3.- Factores de volumen para la Mina Maria.	40
Tabla 4.- Factores de volumen para la Mina Lucy.	40
Tabla 5.- Ejemplo del calculo de pérdidas y ganancias en la Mina Maria.	45
Tabla 6.- Pérdidas y Ganancias en la Mina Maria	46
Tabla 7.- Pérdidas y ganancias en la Mina Lucy.	47
Tabla 8.- Descripción de secciones delgadas, Mina Maria.	48
Tabla 9.- Descripción de secciones delgadas, Mina Lucy.	48

I.- Resumen

Dentro del Distrito de Cananea se conocen muchos tipos de depósitos minerales económicos que varían en tamaño, y estilo de mineralización, pero todos ellos relacionados a un ambiente de pórfido de cobre. La geología del distrito es muy amplia con rocas que van desde Precámbrico, Paleozoicas, Mesozoicas y Cenozoicas, las cuales tienen una importancia particular por ser las hospedantes de la mineralización de cobre más importante en el distrito.

Se aplicó el método de Gresens en rocas alteradas en superficie, con la finalidad de obtener pérdidas y ganancias de masa en zonas de alteración asociadas a los cuerpos mineralizados María y Lucy, este último al oeste del distrito de Cananea. Se establece una comparación química entre ambos cuerpos. Aunque ambos depósitos tienen aparentemente un origen distinto, con características geológicas similares, ellos concuerdan en contener cuerpos de mena enterrados en una misma roca hospedante que es la granodiorita Cuitaca. Los resultados de este estudio arrojan variaciones en la pérdida y ganancias de algunos compuestos, así como variaciones químicas de la roca alterada, que los hacen diferentes y que pueden ser usadas como herramientas de exploración para encontrar este tipo de cuerpos de mena ocultos, en conjunto con técnicas de exploración convencionales.

II.- Introducción

II.1.-Localización del Área de estudio

El área de estudio se localiza en el noroeste del Estado de Sonora México, dentro del Distrito Minero de Cananea, el cual es uno de los dos mayores distritos productores de cobre en México y de los mas productivos en el mundo. Se encuentra aproximadamente a 250 km. al N-NE de la ciudad de Hermosillo, capital del estado y a 40 km de la frontera con Estados Unidos (Figura 1).

Su promedio de altura es de 1800 m. sobre el nivel del mar y se ubica dentro de la provincia extencional de Sierras y Valles e incluida dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental propuesta por King (1939), formando parte de la provincia de pórfidos de cobre del SW de USA definido por Titley (1982 a).

II.2.-Trabajos Previos

El distrito de Cananea ha sido estudiado por varios autores, los primeros trabajos fueron realizados por Leed (1902), Austin (1903) y Lee (1912) en debate e importancia de los skarns mineralizados en el distrito; en 1907 se realizo un reconocimiento del área, el cual fue conducido por S. F. Emmons y otros geólogos del United States Geological Survey; después el departamento de Cananea Consolidated Copper Company, bajo la dirección de V.D. Perry realizo en los años 1928-1932 una actualización de la geología del distrito; pero el primer trabajo geológico sobresaliente del área fue realizado por Valentine (1936) el cual llevo acabo un estudio petrológico, estratigráfico, petrográfico, estructural, metamórfico, de mineralización y alteración; Perry (1933, 1961) definió la ocurrencia de brechas "Pipe" en Cananea; Mulchay y Velasco (1954) y Velasco (1966) reexaminaron la geología general del área, y realizaron la correlación de las rocas sedimentarias existentes con las del Grupo Naco en el sur de Arizona; Varela (1972) hizo un estudio de turmalinización del porfido 8-110; Anderson y Silver (1977a, b) dataron el granito Cananea con la técnica de U-Pb en zircones; Ochoa Landín y Echavarri Pérez (1978) hicieron un estudio de reconocimiento de las rocas intrusivas, y posteriormente Ochoa Landín y Navarro Mayer (1979), definieron la paragénesis y mineralogía de las zonas de alteración y mineralización hidrotermal de los tajos La Veta Colorada y Kino; Bushnell (1980) realizó un estudio preliminar de las zonas de sulfuro en las brechas "pipes" dentro de las rocas

volcánicas; Meinert (1980) estudia la morfología, modo de ocurrencia de la mineralización y formación de los depósitos de skarn y brechas “pipe”; Correa García (1983) desarrolla un estudio de la distribución de mineralizaciones de molibdeno de este distrito minero; González Palma (1983) efectuó un trabajo sobre la prospección geológica del Área Elenita en este mismo distrito; Wodzicky (1995) realiza un análisis de la evolución de las rocas laramídicas y su relación con los pórfidos cupríferos; y más recientemente Arellano (2004) realiza una caracterización geoquímica junto con un estudio de inclusiones fluidas del prospecto El Alacrán y Valencia et. al., (2005), realiza fechamientos de molibdenitas en el depósito de Milpillitas y comentan sobre la mineralización más antigua datada en pórfidos de cobre en el NW de México.

II.2.-Propósito del trabajo

Se conoce que cualquier depósito mineral hidrotermal experimenta durante su formación, pérdidas o ganancias de metales o elementos específicos, los cuales pueden ser cuantificados utilizando técnicas inicialmente desarrolladas desde 1967, por Gresens y posteriormente modificadas por (Bacock, 1973; Grant, 1986; Leitch y Day, 1990). Dichas técnicas han sido empleadas en el estudio de balance de masas en rocas alteradas en distintos depósitos minerales en diferentes partes del mundo.

Este método ha tenido una amplia aceptación en la interpretación y evaluación de zonas alteradas en una gran variedad de depósitos tales como: alteración hidrotermal en zonas de cizalla, depósitos sedimentarios exaláticos, depósitos fumarolíticos y especialmente sobre depósitos mesotermales, depósitos de Au y a Depósitos de Sulfuros Volcanogénicos; enfocado a tener una herramienta que facilite la búsqueda de cuerpos mineralizados en una región determinada por medio de un análisis de elementos mayores y trazas de las rocas, para obtener un cambio de masas en ellas, el cual puede ser usado para conocer una aproximación del grado de alteración, y dar indicios de la proximidad con cuerpos de mena.

El presente estudio tiene como finalidad el de aplicar estas técnicas en zonas alteradas en ambientes tipo pórfido de cobre en el distrito de Cananea, específicamente sobre rocas alteradas en dos áreas, Mina María y Lucy; dos depósitos de Mo-Cu y Cu-Mo, el primero asociado a una zona de brecha, relacionada en su formación a un pórfido cuarzo-

feldespático y hospedado en una granodiorita conocida como Cuitaca (Valentine, 1936) de 64 Ma y explotada a ~95 m debajo de la superficie; es decir, se trata de una brecha que no aflora. El segundo depósito es Lucy, con mineralización de Cu-Mo diseminado y formado aproximadamente entre 40 a 50 m de la superficie y hospedado directamente en la granodiorita Cuitaca (Valentine, 1936), mostrando una asociación genética con este intrusivo. Ambos depósitos desarrollaron débiles manifestaciones en superficie, traducidas como zonas de alteración, con vetillas de cuarzo y sericita gruesa (tipo greisens), oxidación con intensidades variables de óxidos de hierro y menor presencia de óxidos verdes, con desarrollo de clorita a partir de sus ferromagnesianos. Ellos fueron descubiertos utilizando técnicas indirectas como geoquímica de suelos y esquirra de roca en conjunto con el implemento de algunos métodos geofísicos como polarización inducida y gravimetría entre otros (Geólogos, Mina Maria, FRISCO)

Nuestro trabajo estuvo enfocado en aplicar el método de Gresens en rocas alteradas en superficie de ambos depósitos para determinar si existen variaciones sustanciales en la pérdida o ganancia de elementos que puedan traducirse en trazadores importantes que indiquen la presencia de cuerpos mineralizados a profundidad y que ayuden definir su blancos de exploración para este tipo de depósitos enterrados. Aunque los depósitos en comparación (María y Lucy) aparentemente no son iguales en su manera de formarse, si guardan cierta similitud en su tipo de mineralización-alteración, tipo de roca hospedante. De cualquier forma este estudio debe de tomarse como un ensayo y un esfuerzo de aplicar estas técnicas. Los resultados obtenidos para ambos depósitos son bastante contrastantes y pueden tomarse como indicativos de cada uno de ellos y los resultados pueden tal vez servir como guías en la búsqueda de cuerpos mineralizados que no pueden ser descubiertos con métodos directos tradicionales de exploración.

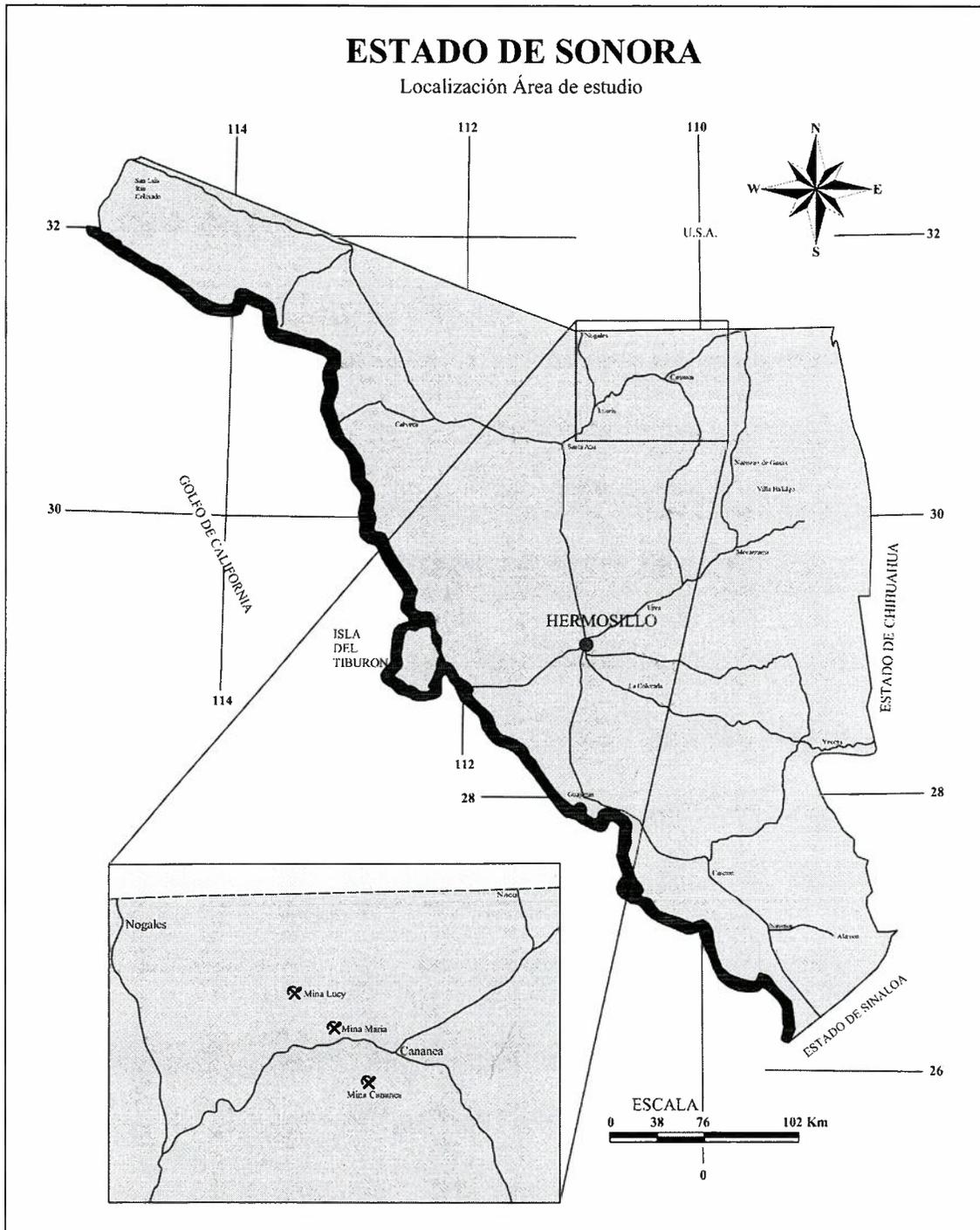


Figura 1.- Plano localización del Distrito Minero Cananea.

III.- Geología del Distrito Minero Cananea

Este capítulo describe de manera general la geología del distrito minero de Cananea, así de cómo su estratigrafía; la descripción de cada una de sus unidades se hace en orden ascendente siguiendo el orden mostrado en la columna estratigráfica (Fig. 2). Al mismo tiempo se incluye descripciones breves de cuatro áreas (Milpillas, María, Mariquita y Cananea), las cuales son parte integral de este distrito y coinciden en que en la actualidad están siendo explotadas. En el caso de María, actualmente se están haciendo obras de rehabilitación para ser de nuevo abierta, dado el alto valor que han alcanzado en la actualidad los metales del cobre y molibdeno.

III.1.-Rocas Pre-Laramidicas

III.1.1.-Granito Cananea

La unidad más antigua expuesta en el distrito es el Granito Cananea, Valentine, (1936), describe dos fases del granito; la primera de ellas consiste comúnmente de cristales de grano grueso compuesta de ortoclasa, oligoclasa, cuarzo y pequeñas cantidades de hornblenda, magnetita y apatito; la segunda fase la cual es la más abundante, consiste de fenocristales de cuarzo, los cuales parecen estar redondeados por la reabsorción y son sostenidos dentro de una matriz microgranítica compuesta de ortoclasa, microclina, cuarzo y oligoclasa con escasa biotita, hornblenda, muscovita, zircón y magnetita. Este granito presenta una edad en las dos fases de 1440 ± 15 Ma, fechado por Anderson y Silver (1973), utilizando U-Pb, en zircones. Se encuentra intrusionando al basamento Precámbrico representado en esta región por el Esquisto Pinal de 1600 Ma (Anderson y Silver, 1979; Anderson y Schmidt, 1983).

Estudios geológicos iniciales en el distrito minero (Emmons, 1910) le asignan una edad precámbrica para el Granito Cananea, sin embargo, observaciones posteriores efectuadas por Valentine (1936), le asigna una edad correspondiente al Mesozoico o perteneciente al Laramide. A partir de aquí, se inicia una discusión sobre la actitud que guarda esta unidad, debido a que en algunas localidades aparenta estar intrusionando a rocas de edad Cambriano. Sin embargo, con las nuevas técnicas de datación, estas interpretaciones se han aclarado y a la fecha se tomo como de edad Precámbrico (Figura 2 y 3).

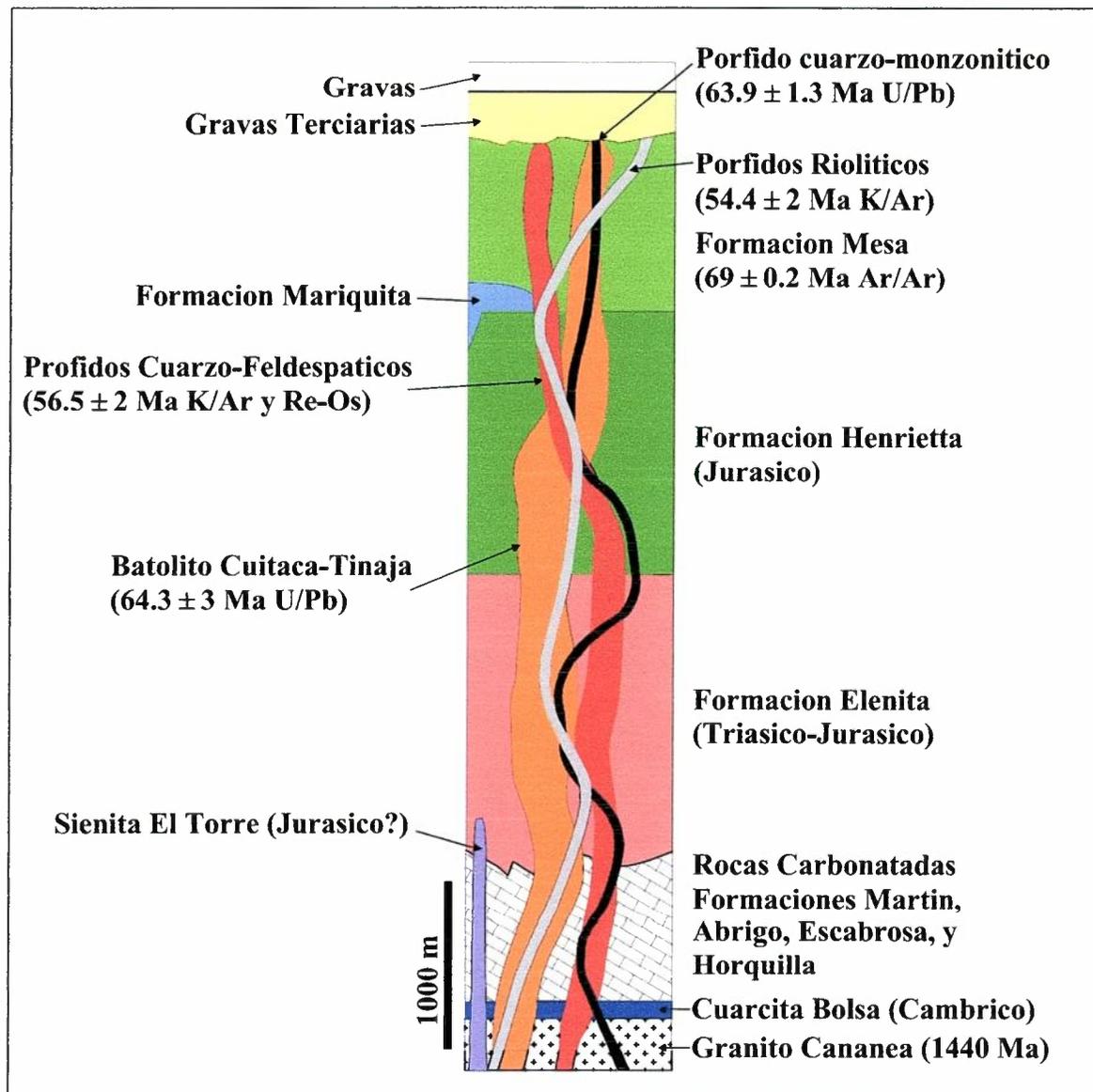


Figura 2.-Columna estratigráfica General del Área Cananea, modificado de Wodzicki (1995).

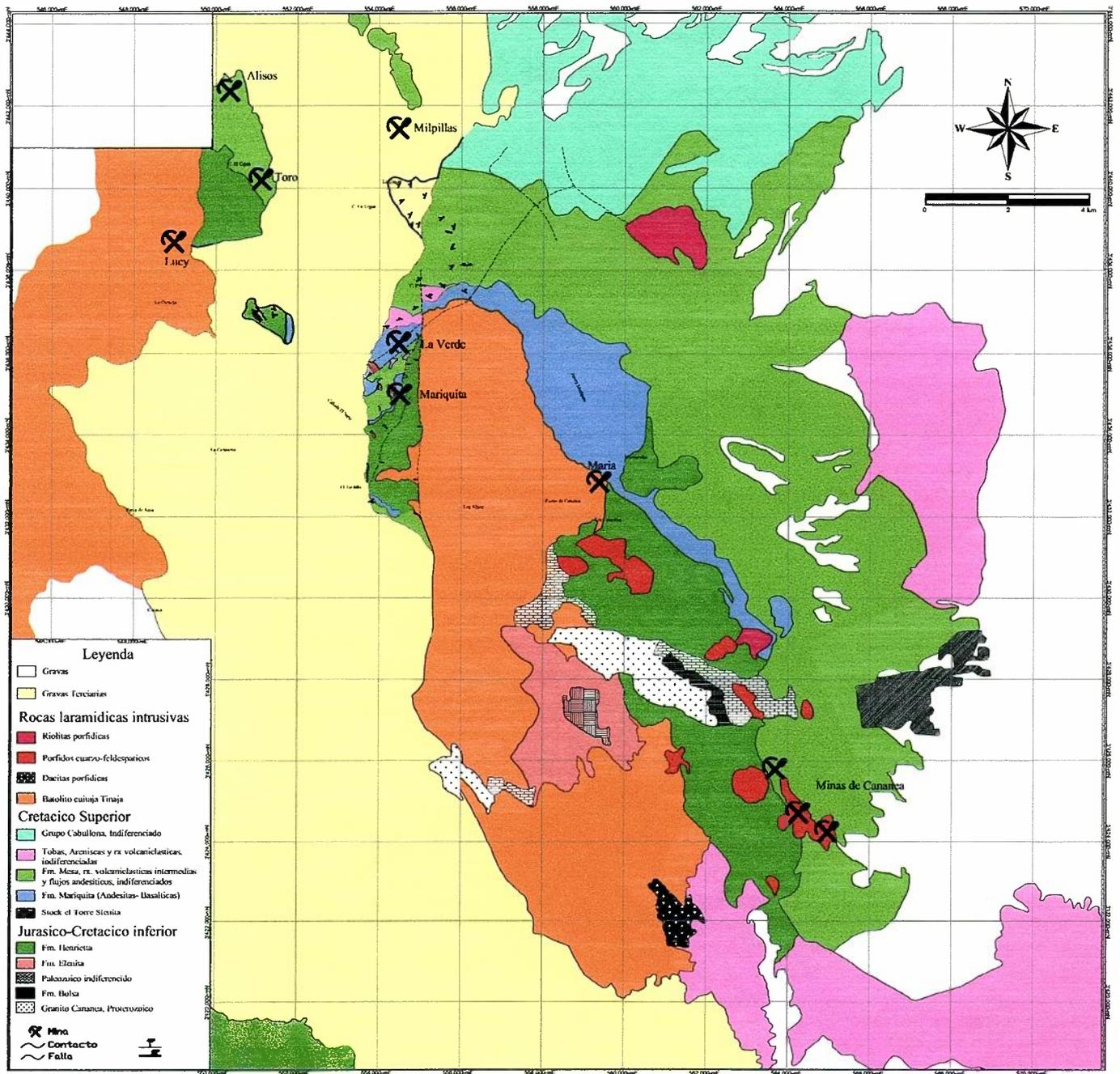


Figura 3.- Mapa geológico general de Distrito Minero de Cananea, Modificado de Noguez-Alcantara (2006) y Geólogos Frisco (2005).

III. 2.-Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias en el distrito Minero de Cananea se encuentran presentes en la Cuenca Capote en la parte centro del distrito (Figura 3), las cuales tiene edades que van desde el Cámbrico Medio hasta el Pensilvánico y cubren discordantemente al Granito Cananea. Fallamiento local, metasomatismo, e intensa alteración hidrotermal enmascaran una porción grande de la estratigrafía del Paleozoico, sin embargo, Mulchay y Velasco (1954) sugieren una correlación de las rocas sedimentarias Paleozoicas de Cananea con formaciones similares en el suroeste de Arizona, correlacionándolas con aquellas clasificadas por Ransome (1904) y posteriormente sostenida y refinada por Zendejas (1973), Barrera (1974), y Meinert (1980).

III.2.1.-Cuarcita Bolsa

Ransome (1904), define con este nombre a rocas del sureste de Arizona al Cámbrico Medio. La localidad tipo de esta formación se ubica en el Cañón Bolsa, localizado en el flanco SW de la Sierra Escabrosa, la cual se encuentra a su vez al W de la ciudad de Bisbee, Arizona

En Cananea la Cuarcita Bolsa tiene 190 m. de espesor y aparentemente esta constituida de cuatro unidades litológicas definidas por Meinert, (1980). La unidad Basal es de 40 m de espesor y se caracteriza por contener varios horizontes de cuarcitas de grano medio (1-3 mm) pobremente cementadas y moderadamente clasificadas; así como también por una cuarcita argílica de grano fino (0.1 a 1 mm) pobremente clasificada, formada en su parte superior por un conglomerado, conteniendo clastos de hasta 2 cm de diámetro. La segunda unidad es de 50 m de espesor, se caracteriza por una alternancia de horizontes de cuarcita de grano medio (1-3 mm), con delgadas capas de lutita y limonita (1-5 cm) de grano fino (≤ 0.1 mm). La tercera unidad tiene un espesor de alrededor de 60 m y se caracteriza por la presencia de una cuarcita tipo arcosa bien clasificada y de grano muy fino (≤ 0.1 mm). La estratificación de estas rocas se ve enmascarada por un alto fracturamiento y alteración hidrotermal cuarzo-sericita que afecta a los feldespatos (Meinart, 1980).

III.2.2.-Caliza Abrigo

El nombre de caliza abrigo lo aplica Ransome (1904), a las calizas que sobreyacen a la Cuarcita Bolsa, Gilluly (1937), les asigno una edad del Cámbrico Superior por su contenido fosilífero. En Cananea la caliza Abrigo tiene un espesor aproximado de 125 m y se caracteriza por unidades de delgadas laminaciones uniformemente estratificadas e intercaladas con unidades masivas que van de 0.1 a 0.5 m de espesor. Donde no es afectada por el metamorfismo la Caliza Abrigo consiste en una micrita a microesparita y en menor proporción dolomítica, de color gris-café, medianamente estratificada (0.2 – 1.0 m) y finamente laminada (0.1 - 0.5 mm), interestratificada con delgadas capas (1 – 10 mm) de micrita y de lutita argilácea. En la parte basal de la unidad con un espesor de 10 – 30 m, este se presenta libre de capas argiláceas. En la mayoría de los afloramientos en Cananea, la Caliza Abrigo parece estar en contacto por falla con la cuarcita Bolsa, como sucede en la parte sur de la mina Eureka, donde tiene un rumbo W-NW con un buzamiento de 65° al NE (Meinert, 1980). Las delgadas capas de arcilla y las rocas carbonatadas relativamente puras de la Caliza Abrigo, fueron particularmente favorables para la formación de hornfels calco-silicatados y de mármoles calco-silicatados durante etapas de metamorfismo temprano.

III.2.3.-Caliza Martín

Esta unidad fue propuesta por Ransome (1904), para una sección de calizas compactas de edad Devónico Superior, de color gris oscuro, en la que se encuentran algunos fósiles Braquiopodos entre ellos *Atrypa Reticularis* y *Spirifer Mungerfordi*, con la presencia en menor proporción de algunas capas de lutitas calcáreas. La localidad tipo para esta unidad es el Monte Martín en la Sierra Escabrosa en el Estado de Arizona y su espesor fue determinada en Bisbee con aproximadamente 102 metros.

En Cananea esta unidad calcárea tiene un espesor de aproximadamente 65 m y se encuentra constituida principalmente por micrita de color gris y ocasionalmente por capas de microesparita y dolomita, además de estar medianamente estratificada con estratos de 0.3 – 1.0 m de espesor. En las partes superiores de esta unidad, se tiene una bioesparita fosilífera con fragmentos de crinoides, braquiópodos, y posiblemente algo de oolitas. Esta unidad se puede distinguir de otras, por la ausencia de capas argiláceas y de nódulos de pedernal o arcilla (Meinert, 1980).

III.2.4.-Caliza Escabrosa

Ransome (1904), Propuso el termino Caliza Escabrosa para una sección de rocas calcáreas granulares de estratificación gruesa del Misisipico Inferior, de color casi blanco a gris oscuro. Su localidad tipo se encuentra en la Sierra Escabrosa en Arizona, reconociéndose en esta formación fragmentos de crinoides. Gilluly, Cooper y Steele (1954), reconocieron como fauna representativa en la Caliza Escabrosa, en el Sureste de Arizona los siguientes fósiles: Fenestella, Spirifer, Schuchertella, Chonetes, Linoproductus, Rhipidomela y punctospirifer, su espesor máximo conocido en esta formación es de 234 metros, con una gran pureza aunque en su parte media hacia la cima, incluye aisladamente nódulos de pedernal. En el Distrito Minero de Cananea, la Caliza Escabrosa tiene un espesor de 50 m, presenta una estratificación media a gruesa con estratos entre 0.3 a 1.5 m, y se caracteriza por la abundancia de fragmentos de crinoideo pobremente preservados. Las unidades de la Caliza Escabrosa se componen de micrita argilácea y microesparita, ocasionalmente se encuentran interestratificados con delgadas capas ondulantes de 1- 2 cm de espesor compuestas de una material argiláceo, además de contener gran cantidad de nódulos de pedernal. El contacto entre la Caliza Escabrosa y la Caliza Martin, es concordante y trancisional (Meinert, 1980).

III.2.5.-Formación Horquilla

Ransome (1904), definió Formación Horquilla a las calizas de edad Pensilvánica que sobreyacen a la Caliza Escabrosa, el espesor ha sido estimado en más de 900 metros.

En el Distrito Minero de Cananea, la Formación Horquilla pertenece al Grupo Naco, la cual fue correlacionada por Zendajas (1973). Tiene un espesor de aproximadamente 120 m y posee una estratificación gruesa (0.5-2m), constituida por microesparita de color gris rojizo y en menor proporción por un material argiláceo o micrita dolomítica (Meinert, 1980).

III.3.-Rocas Volcánicas

Las rocas Precámbricas, Cámbricas y Paleozoicas se encuentran discordantemente cubiertas por rocas volcánicas de edad Triásico – Jurásico, este periodo Mesozoico temprano de magmatismo y subducción es debido a la cercanía del Jurásico tardío, cuando la acreción de el arco andesítico en lo que hoy es Baja California causara ajustes estructurales y cambiara el estilo de subducción definido por Gastil et. al., (1978).

III.3.1.-Formación Elenita

Esta caracterizada por ser la formación más acida, desde aquí inicia el ciclo volcánico en la región. Esta constituida por flujos y tobas de composición riolítica, traquítica variando a andesitas y aglomerados, intercalados con areniscas y cuarcitas (Valentine, 1936). Esta formación es correlacionable con rocas que afloran en el monte Wrightson de edad Triásico Tardío – Jurásico Medio, descritas en las montañas Santa Rita en el Sur de Arizona por Drewes, (1971) y Riggs and Blakey, (1993) *in* Wodzicki, (1995), con un espesor de 1800 m definido por Valentine, (1936).

La Formación Elenita aflora en el Distrito de Cananea en la parte oeste y suroeste, esta a su vez, se encuentra intrusionada por la sienita El torre en la porción central oeste. Su parte basal y media esta compuesta de extensas traquitas con fenocristales euhedrales, usualmente ortoclasa, dentro de una matriz densa, con ciertas variaciones a andesitas. En cambio, su parte superior se compone principalmente de tobas de composición riolítica, constituidas principalmente de fenocristales de cuarzo en una matriz densa de cuarzo y ortoclasa. Se tiene una pequeña capa de aglomerados los cuales conforman la parte superior de la formación. Al sur de la Montaña Elenita, se encuentran flujos de composición similar a traquitas con un remarcable desarrollo de esferulitas.

En la porción oeste-central del área de Cananea las rocas volcánicas de la Formación Elenita son intrusionadas por la Sienita El Torre (Valentine, 1936), cuya composición varia desde Sienita a Granito, es típicamente de grano fino a medio (0.5-2 mm), equigranular y contiene feldespato alcalino, hornblenda, cuarzo y en menor proporción plagioclasa, con trazas de biotita e ilmenita, apatito, zircón y esfena (Wodzicki, 1995). Se ha datado el mineral hornblenda de la Sienita El Torre por métodos de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ el cual dio una edad de $58.4 \pm 0.5 (\pm 2)$ Ma (Wodzicki, 1995) y ha sido interpretada como

una edad de reseteo al dar muy similar a la obtenida para la mineralización de pórfido de cobre. Meinert (1982) siguiere una edad más antigua, tal vez edad jurasica, basado en una similitud en composición a la sienita El Torre con los plutones Triásico-Jurasico que hay en el noroeste de México, y al hecho que las falla que cortan a la Sienita El Torre no corta a la Diorita Tinaja; por lo tanto este plutón esta relacionado a una evento Jurásico.

III.2.1.-Formación Henrietta

La formación Henrietta esta en contacto estructural por falla con la Formación Elenita (Wodzicki ,1995); sin embargo, Valentine (1936) reporta clástos de la Formación Elenita en la parte inferior de la formación Henrietta, interpretandola como un contacto normal. Esta formación ocupa un área considerablemente grande en ambos lados de la Cuenca Capote con una dirección NW, e inclinación general E-NE, con un espesor de 1700 m, (Valentine, 1936; y Wodzicki, 1995). En cambio al oeste del distrito en el área de Mariquita y Milpillas, las rocas de esta Formación se inclinan hacia el W-NW (Ochoa-Landín L., com. Personal) Se componen de dacitas, latitas, también de algunas riolitas y andesitas. La formación puede ser dividida dentro de tres unidades mayores: (1) una serie basal de flujos de dacitas y latitas, aglomerados, y tobas finas; (2) un delgado flujo riolítico denominado Elisa; y (3) una serie superior de flujos traquiandesíticos, flujos de brecha, y tobas.

III.4.-Rocas Ígneas Laramidicas

III.4.1.-Formación Mariquita

Esta es la unidad Laramidica más antigua en el distrito minero de Cananea, consiste principalmente de andesita-basáltica con alto porcentaje de K; esta formación se compone de fases extrusivas e intrusivas. En la parte norte media de Cananea, la Formación Mariquita ocurre como una serie de flujos los cuales tiene una inclinación de $\sim 15^\circ$ hacia el este, y forman la parte superior de la Sierra Mariquita. Entre esta sierra y Cananea, esta formación consiste de diques y pequeños “stock” de andesita-basáltica los cuales se introducen en las tobas dacíticas de la Formación Henrietta, y de un flujo delgado de composición basalto-andesítico la cual cubre la Formación Henrietta. Hacia el sur de Cananea, la Formación Henrietta se encuentra discordantemente infrayaciendo a la

formación Mesa y los flujos de la Formación Mariquita desaparecen. La roca tipo de esta formación en superficie fresca es de color gris oscuro, y tiene una textura fuertemente porfídica la cual consiste de grandes fenocristales de plagioclasa (10-12mm) y olivino dentro de una matriz fina de plagioclasa, hornblenda, y en menor proporción de piroxeno, y magnetita (Wodzicki,1995).

III.4.2.-Formación Mesa

La Formación Mesa representa el vulcanismo Cretácico (Valentine, 1936), y varía en composición desde su parte basal como traqui-andesita a su parte superior como traquidacita, pero es predominantemente andesítica en su composición, consiste de tobas andesíticas, aglomerados, lahares y flujos. Esta formación cubre aproximadamente la tercera parte hacia el este del distrito minero y se estima que tiene un espesor de ~1500 m (Valentine, 1936). Es una importante roca huésped para la mineralización de cobre diseminado en Cananea y ha sido fechada en 69 ± 0.2 Ma, utilizando el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotita por Wodzicki, (1995).

La Formación Mesa yace discordantemente encima de las Formaciones Elenita y Henrietta pero es intrusionada por la Diorita Tinaja e intrusiones posteriores. En general los flujos andesíticos consisten de pequeños fenocristales de plagioclasa dentro de una matriz afanítica rojiza oscura. La proporción de areniscas y conglomerados volcanoclásticos contienen abundantes clastos de andesitas-basálticas de las Formaciones Mariquita y la parte inferior de la Mesa, así como dacitas de la Henrietta. Los sedimentos volcanoclásticos y aglomerados forman aproximadamente el 90% del volumen inferior de la Formación Mesa.

III.4.3.-Batolito Tinaja-Cuitaca

La roca batolítica Diorita Tinaja es textural y composicionalmente similar a la Granodiorita Cuitaca, esta última datada por Anderson y Silver (1977 b) con una edad de 64 ± 3 Ma utilizando U-Pb en zircones, correspondiente a rocas intrusivas laramidicas, con variaciones en su composición que va de gabro a monzonita, pasando por cuarzo monzonita.

La diorita Tinaja es una roca masiva verde-grisácea con una textura granítica media. Se compone de andesina y hornblenda, con pequeñas cantidades de ortoclasa, cuarzo, magnetita, apatito, y titanita. La variedad monzonítica es de color rosado, por el mayor contenido de ortoclasa que la diorita y consiste de andesina, ortoclasa, hornblenda y cuarzo, con una textura variable siendo más porfirítica en espécimen de mano (Valentine, 1936). La mayoría de los trabajos en el distrito consideran que Tinaja y Cuitaca forman parte del mismo cuerpo batolítico (Valentine, 1936; Meinert, 1982; Bushnell, 1988).

El Batolito Cuitaca esta compuesto de fases monzoníticas, granodioríticas y graníticas, las cuales intrusionan las formaciones Elenita, Henrietta y Mariquita. Se encuentra compuesta de plagioclasa, ortoclasa, cuarzo, y de pequeñas cantidades de ferromagnesianos y accesorios. La plagioclasa varía de oligoclasa a andesina, y presenta un zonamiento. El ferromagnesiano mas común es la hornblenda, con pequeñas cantidades de biotita (Valentine, 1936). La granodiorita Cuitaca es intrusionada por numerosos diques aplíticos y pegmatíticos de feldespatos potásicos \pm magnetita.

III.4.4.-Diques Máficos Tardíos

El batolito Tinaja-Cuitaca se encuentra cortado por numerosos diques basálticos cercanos a la vertical los cuales siguen dos tendencias estructurales; N60-80W y N40E (Valentine, 1936). Estos diques son abundantes siguiendo una orientación NW-SE desde Puertecitos hasta Cerro el Cobre, y a través del contacto de la granodiorita Cuitaca, donde algunos grandes diques de diabasa son encontrados. Diques basálticos similares también cortan a las Formaciones Henrietta y Mesa, los cuales fueron llamados Campana Diabasa por Valentine (1936) para distinguirlos de aquellos de composición similar pero más antiguos pertenecientes a la Formación Mariquita. Estos diques maficos no han sido vistos cortando los pórfidos cuarzo-feldespáticos pero se observan cortando a la granodiorita Cuitaca, lo que sugiere que debieron ser emplazados durante la solidificación de la Granodiorita, y aunado a que muestran una alteración propilitica débil, lo cual indicaría un emplazamiento anterior a los pórfidos y a la mineralización, como fue sugerido por Wodzicki, (1995).

III.4.5.-Pórfidos Cuarzo-Feldespáticos

Se han distinguido dos grandes tipos de “stock” porfídicos de composición felsica, que intrusionan todo el distrito de Cananea. Primeramente se tienen a los “stocks” cuarzo-feldespáticos con una orientación NW los cuales están asociados con la mineralización de cobre, y la segunda consiste de pórfidos de composición riolítica (Wodzicki, 1995). Las edades de los diferentes cuerpos varía desde 59.39 ± 2 Ma (K-Ar en flogopita hidrotermal del Tajo La Colorada, (Damon *et al.*, 1983) y 54.2 ± 2 Ma (K-Ar en sericita del porfido riolítico Teocali, (Mexicana de Cananea, 1977).

Los pórfidos cuarzo-feldespáticos asociados con la mineralización de cobre varían en su composición desde cuarzo-monzonitas a granito.

III.5.-Geología Estructural

Los patrones estructurales del área de Cananea son complejos, en los cual se tiene dos grandes episodios de fallamiento normal evidenciándose con una orientación temprana NW y NE, localizadas siguiendo la forma de intrusión de los diques de basalticos y pórfidos cuarzo-feldespáticos y orientaciones tardías de fallas normales NNE, los cuales inclinaron todas las rocas y estructuras brechoides mineralizadas hacia el este. El fallamiento pre-mineralización en el distrito, consiste de fallas de alto ángulo con un rumbo general de N60-80W y un conjunto de fallas y fracturas más jóvenes con una orientación N40E. Este fallamiento pre-mineralización corta enteramente la sección de estructuras pre-Laramidicas y posiblemente a la sienita El Torre, pero no corta a los plutones Cuitaca y Tinaja o a las formaciones Mariquita y Mesa (Valentine, 1936; Meinert, 1982).

El fallamiento post-mineralización en Cananea consiste de fallas de alto ángulo con una orientación N5-10E las cuales presumiblemente están asociadas con el fallamiento producido por el “Basin and Range”, el cual estuvo activo desde 20-5 Ma (Wodzicki, 1995). Hacia el lado este de Cananea se tiene fallas las cuales tiene un menor desplazamiento pero aparentemente controlaron la oxidación y enriquecimiento supergénico en el depósito de Cananea.

La historia de levantamiento de bloques tectónicos que ocurrieron en Cananea tuvo un fuerte impacto en el desarrollo del gran “blanket” (500 m de espesor) de mineralización

secundaria producido en la mina de Cananea y otras áreas en la parte este del distrito; sin embargo hacia el oeste, en las áreas de Mariquita y Milpillas, durante mediados del Terciario, se generaron estructuras tipo medio graben, las cuales fueron parcialmente rellenas por material derivado de las rocas preterciarias del distrito y cubrieron parcialmente a los cuerpos enriquecidos en ambos depósitos. Este escenario geológico forma condiciones ideales para la generación de cuerpos de cobre exóticos, relacionados a depósitos tipo pórfido como sucede en varias partes del mundo donde se tienen este tipo de yacimientos.

III.6.- Mina Maria

El depósito de Cu-Mo-Ag Maria está localizado en el distrito de Cananea, hacia el NW del estado de Sonora, México; se encuentra a 11 km. del pueblo de Cananea y 40 km. al sur de la frontera de Estados Unidos (Figura 1). El depósito es una brecha pegmatítica de silicato y sulfuro similar al depósito de La Colorada, localizado en el mismo distrito dentro de la mina de Cananea. Dos depósitos se encuentran presentes en el área de Maria: un pequeño cuerpo de pórfido de cobre diseminado el cual fue inicialmente descubierto en el área de Maria, y un cuerpo de brecha de alto grado que ha sido minado, (Wodzicky, 1992).

El depósito de alto grado de Maria fue descubierto por Cominco Ltd. y la mina es operada por Minera Maria S.A. de C.V. la cual es una unión entre Empresas Frisco (51%) y Cominco Resources Internacional Ltd. (49%). La mena fue tratada por técnicas de triturado convencional, molienda y flotación en la planta de Minera Maria localizada cerca de 1 km. al norte de la mina.

III.6.1.-Geología

La roca más antigua en el área de Maria es la Formación Henrietta, donde su parte inferior se encuentra intrusionada por la granodiorita Cuitaca, la cual es la roca huésped de la mineralización en el depósito Maria. La mineralización en Maria se encuentra relacionada a un pórfido cuarzo-feldespático que intrusiona a la granodiorita Cuitaca. Este pórfido ha sido datado en 58 Ma (K-Ar en biotita, por Cominco) la cual es aproximadamente la misma edad de mineralización de los pórfidos de la mina Cananea.

Dentro del área de la mina el fallamiento esta limitado a estructuras NW-W y hacia el NW, con fracturas y desplazamientos de fallas normales en menos de 50 m. Se tienen una serie de vetas verticales de cuarzo-sericita-pirita visibles por cortes en el camino, que se encuentran en superficie de la mineralización de alto grado y las cuales continúan la misma tendencia que las estructuras.

III.6.2.-Mineralización y Alteración

Dos grandes tipos de mineralización se encuentran en la Mina Maria:

1. Sistema de mineralización porfídico controlado por diseminado/veta y asociado con el stock cuarzo-feldespático (QFP).
2. Brecha de alto grado con mineralización de calcopirita-pirita-cuarzo cubriendo la mineralización sucesiva de cuarzo-feldespato/aplita.

El depósito diseminado de Maria esta centrado en la composición del stock QFP, aun así la mineralización se encuentra hospedada en la granodiorita Cuitaca y en el QFP. El zonamiento del mineral y del metal conforma el clásico modelo de Lowell y Guilbert (1970).

III.7.- Mina Mariquita

A 15km al Noroeste de la mina de Cananea, se encuentra la mina Mariquita propiedad del grupo FRISCO S.A. de C.V., actualmente en explotación con reservas del orden de 30Mt, con leyes de 0.4-0.6% de Cu. Cartografía a semidetalle en esta zona muestran una secuencia de rocas volcánicas, con rumbo preferencial NNE-SSW y echados hacia el NE, cortadas por una serie de cuerpos intrusivos de composición cuarzo-monzonitica, los cuales, en partes han alterado profundamente a las rocas volcánicas. Esta secuencia de rocas volcánicas ha sido parcialmente cubiertas por sedimentos recientes (gravas), los cuales son derivados de abanicos aluviales que descienden de este a oeste, de las montañas ubicadas al este del proyecto (Mariquita, Elenita) y depositados en una cuenca denominada Cuitaca, la cual se forma como respuesta de inestabilidad o reacomodo tectónico durante gran parte del terciario.

III.7.1.-Geología

El área de Mariquita es cubierta en un 50% por gravas terciarias mal consolidadas, las cuales en particular en esta zona, provienen de abanicos aluviales que se desprenden de las sierras de Mariquita y Elenita en una dirección este-oeste. Las rocas volcánicas que afloran en esta área han sido afectadas fuertemente por alteración hidrotermal y en algunos casos ha sido tan profunda que ha oscurecido su textura original. Sin embargo, su estratigrafía se puede inferir con cierto grado de certidumbre por la presencia de la diabasa Mariquita, la cual aflora en la parte central del área, la cual alcanza en algunas partes hasta 40 m de espesor. Esta unidad generalmente se inclina hacia el noreste, dado el acomodo al flujo que presentan sus fenocristales, y al igual que en el distrito de Cananea separa dos distintas unidades de rocas volcánicas con la misma actitud, denominadas como Formación Henrrieta debajo de ella y la Mesa por encima. Con rocas correspondientes a la Formación Henrrieta aflorando en su lado sureste y volcanoclásticas de la Formación mesa en su lado noroeste.

Esta secuencia de rocas volcánicas, es cortada por una serie de cuerpos pequeños de pórfidos de feldespato, los cuales tienen una dirección preferencial NW-SE y se presentan en casi toda el área de Mariquita, con mayor preferencia a encontrarse hacia el extremo oeste, algunos de ellos sepultados debajo de las gravas como ha sido evidenciado por métodos directos de barrenación.

Al norte del área, afloran una serie de rocas volcánicas del tipo riolitas porfídicas con ojos de cuarzo, que sugiere condiciones sub-volcánicas de emplazamiento, tal vez en forma de diques, más que como derrames o flujos volcánicos. Aunque no es concluyente, estas rocas podrían corresponder a un evento post-mineralización el cual parece ser controlado por estructuras NE-SW.

La secuencia volcánica intrusiva, ha sido cortada por una serie de estructuras, las cuales en cierta forma han moldeado la morfología actual del distrito. Al parecer las estructuras mas antiguas en el área de Mariquita-Milpillas, son aquellas con dirección NE 20° SW y echados al SE entre 25 y 60°, las cuales a la vez, son cortadas por fallamiento NE 40-60° SW con actitudes casi verticales, las cuales son a la vez cortadas por fallas casi N-S, que delinear el escarpe oeste de las sierras Mariquita y Elenita, desarrollando los sistemas de abanicos aluviales.

III.7.2.-Mineralización y Alteración

La mineralización económica en Mariquita es a partir de un manto enriquecido en calcocita, que se extiende en una dirección WNW-ESE y se inclina entre 30-40° al WSW y se proyecta debajo de las gravas no consolidadas. Su comportamiento es bastante regular, con ciertos desplazamientos por fallamiento posterior. La edad de mineralización esta basada en dos dataciones del pórfido del tajo Mariquita (Mina María) en zircones utilizando el sistema U-Pb, con edades de CA 60 y 61 Ma (Del Río-Salas et al., en preparación), lo cual da un rango de 59.1 a 63.1 Ma, que es el tiempo estimado para los pórfidos.

Las rocas que afloran en esta región del distrito de Cananea, presentan generalmente una alteración de cuarzo-sericita con variaciones en su intensidad. En algunos casos, como sucede en el tajo Mariquita, se tienen zonas con fuerte presencia de arcillas supergénicas, las cuales traen consigo problemas de recuperación durante la lixiviación de la mena.

Zonas de fuerte argilización, se presentan de manera aisladas y las más notables de ellas se observan al oeste, la cual en parte es penetrante y cubre parcial o totalmente a la roca, otras veces están más relacionadas a zonas de brecha o fuerte fracturamiento.

Zonas de fuerte oxidación son irregularmente distribuidas en el área, aunque las más expresivas en superficie corresponden a zonas de brechas. Sin embargo, una zona con fuerte presencia de óxidos de hierro, es en el área del “West fault”, la cual presenta una zona de brecha acompañada por óxidos de hierro y sílice, en parte como vetas del tipo jasperoide.

III.8.- Mina Milpillas

El deposito de Milpillas se localiza en la parte norte del distrito de Cananea, esta dentro del bloque hundido de 7 km. ancho del graben de Cuitaca, el cual corta la región de Cananea de norte a sur. La porción este del graben es un nivel superficial en cambio la porción oeste es un nivel enterrado y dominado por gravas terciarias, aluvión cuaternario, y afloramientos erráticos de unidades volcánicas de la orogenia Laramide. La parte oeste mas profunda del Graben Cuitaca se encuentra dominada por aluvión cuaternario. Cerca del limite este del Graben Cuitaca, un pequeño cabalgamiento se encuentra presente donde un afloramiento escaso alterado y oxidado revela la existencia del deposito de Milpillas. Fue

descubierto y desarrollado después de un intenso programa de exploración y más de 100,000 metros de barrenación, iniciados por Minera Cuicuilco en 1975 y continuado para viabilidad en 1998 por la compañía minera Industrias Peñoles.

III.8.1.-Geología

La mayor parte de la superficie dentro del área de Milpillas se encuentra cubierto por una secuencia de conglomerados y gravas, sin embargo existen algunos afloramientos aislados de rocas volcánicas alteradas y lixiviadas. En la parte norte y centro se tienen rocas de la formación Jurásica Henrietta, en la parte central se tiene pórfidos cuarzo-monzoníticos y en la parte SE se encuentra la formación Mesa.

Dentro del área de Milpillas, hay tres lineamientos mayores los cuales han sido descritos como: una orientación pre-mineral N-S, una orientación singenética con la mineralización NE, y una orientación post-mineral NW (de la Garza *et al.*, 2003). Sin embargo un estudio estructural detallado de las vetas de cuarzo y estructuras de mineralización, desarrollado por Correón-Pallares (2002) muestra un patrón radial y concéntrico el cual sigue echados preferenciales hacia el NE, E y SE.

III.8.2.-Mineralización y Alteración

En el depósito de Milpillas la mineralización primaria escasa y de bajo grado es reconocida (0.15-0.20 % Cu) y a causa de estos bajos grados, el programa de exploración está enfocado en áreas de enriquecimiento supergénico. Recientemente, dataciones de molibdenita en el depósito de Milpillas dieron edades de 63.04 ± 0.4 Ma y $63.07 \pm 0.4 \pm$ Ma (Valencia *et al.* 2006), utilizando el sistema Re-Os, quedando esto como la edad de mineralización del depósito.

El depósito de pórfido de cobre de Milpillas presenta un enriquecimiento secundario que consiste en “blankets” de calcocita de alto grado que son enteramente cubiertos por sedimentos aluviales Terciarios-Cuaternarios con un espesor de 50–250 m. (de la Garza *et al.* 2003).

Las zonas de enriquecimiento supergénico presentan un zoneamiento vertical con un nivel superior “blankets” y un nivel inferior de óxidos típico de los sistemas de pórfido de

cobre. El enriquecimiento secundario comprende el cuerpo de mena más importante en el depósito, el cual puede tener grados de cobre que varían desde $\geq 1\%$ a más de 10%.

Al menos tres ciclos de enriquecimiento secundario son reconocidos en el depósito (ver Anderson, 1982; Titley y Marozas, 1995; y Gilmour, 1995) el cual es el resultado de al menos seis “blankets” que ocurrieron en una profundidad de 150 a 750 metros debajo de la superficie. Los tres enriquecimientos contienen mineralización de óxidos y contiene un complejo ensamblaje consistente de “Cu verde-óxidos-carbonatos” (antlerita, brocantita, malaquita, azurita y crisocola); “Óxidos rojos de Cu” (cuprita, cobre nativo, delafossita, y menor limonita); y “Óxidos de Cu negro” (Neotocita, melaconita, tenorita, y menor “Cu Wad”) (de la Garza et. al., 2003). Debajo de estos tres “blankets” hay un horizonte intermedio que contiene una mezcla de óxidos y sulfuros. Los dos “blankets” contienen minerales de sulfuros secundarios predominantemente (Mayormente calcocita y menor novelita; de la Garza *et al.*, 2003). La disponibilidad de Cu para estos “blankets” es de 30 millones de toneladas con 2.5 % de Cu.

III.9.-Geología de La Mina Cananea

La mina de Cananea se localiza hacia el este del Distrito de Cananea, es una de las minas más grandes del mundo, y la de mayor producción de Cu en México, tiene una reserva de 1000 millones de toneladas con una ley de 0.7%

III.9.1.-Geología

La geología general del área de la Mina Cananea, consiste de afloramientos de las Formaciones Mesa y Henrietta, el contacto entre estas dos formaciones se asume sea de carácter concordante, esto debido a que no existen datos que sugieran que este sea controlado por un tipo de estructura; también se presenta intrusionando el pórfido cuarífero La Colorada, el cual presenta considerables variaciones composicionales de textura y mineralogía, en la cual los minerales originales consisten de fenocristales de cuarzo con feldespatos alcalinos (Valentine, 1936), y por último se cuenta con afloramientos de pórfidos de cuarzo-feldespáticos, y pórfidos feldespáticos.

III.9.2.-Mineralización y Alteración

En el depósito de Cananea la mineralización principal es el resultado de la alteración supergénica que sufrió el depósito, los minerales consistentes son una gama de sulfuros primarios, tales como pirita, calcopirita, bornita y en menor proporción molibdenita; y el mineral secundario principal es calcocita, y digenita en menor proporción, entre otros.

Las alteraciones presentes en el depósitos son a causa de alteración hidrotermal, los cuales estan representados por la alteración filica, y potásica. La primera de ellas (sericita >>cuarzo) se encuentra en mayor proporción en las rocas de la Formación Mesa y en los “stocks” porfídicos La Colorada, y el feldespático. El tipo y grado de alteración presente en estas rocas es de carácter penetrativo (Grijalva, 2005).

IV.- Método de Gresens

IV.1.-Introducción

Dentro de estudios geoquímicos de rocas hidrotermalmente alteradas un punto importante es lo que concierne a las pérdidas y ganancias de masa en elementos químicos que se producen durante la alteración de las rocas madres (rocas frescas). Si las rocas que se van a usar han sido alteradas al grado en que, han sufrido un cambio muy grande de masa y volumen, estas no podrán ser utilizadas para ser comparadas con muestras frescas similares (Gresens, 1967; Babcock, 1973; Grant, 1986). En su clásico estudio de este problema, Gresens (1967) hizo una suposición fundamental en la cual uno o más componentes son inmóviles durante la alteración, él definió que Al_2O_3 , TiO_2 y Zr son inmóviles. Una vez que estos componentes han sido escogidos, la suposición de su inmovilidad debe de ser verificada comparándola con la movilidad de otros elementos, junto con información experimental de la solubilidad de esos elementos, como sugiere Appleyard (1980). El cambio de volumen puede ser estimado si la alteración es pervasiva; esto es, si el mismo cambio de volumen se aplica a todos los componentes, la pérdida o ganancia del peso neto de los componentes móviles puede ser calculada (Fv). El método de Gresens a tenido una amplia aceptación y ha sido aplicada para la investigación de depósitos mesotermales en vetas de Au (e.g. Studemeister y Filias, 1987; Kerrich y Fyfe, 1981) y en depósitos de Sulfuros Masivos Volcanogénicos (VMS) (e.g. Gibson et al., 1983; Morton y Nebel, 1984), como se menciona al principio de este escrito, pero la aplicación a otros sistemas hidrotermales ha sido menos común. El modelado de pérdidas o ganancias es concurrente con alteraciones hidrotermales en la cual es posible usar las ecuaciones de Gresens o Gresens modificado en programas gráficos desarrollados para computadoras profesionales (Leitch y Day, 1990) o programas de hojas de cálculo. En el presente trabajo se utilizaron las hojas de cálculo en el programa Excel, dado que los programas diseñados para el manejo de esta ecuación, GRES y NEWGRES, fueron diseñados para correr en una plataforma Mac.

IV.2.-Desarrollo Histórico

Leith y Mead (1915) usaron el método de “Línea Recta” (una grafica con porcentajes del porcentaje de peso por cada constituyente en su fase sin alteración, multiplicado por 100). De esta grafica se puede saber las perdidas o ganancias si un elemento es asumido como constante. Goldich (1938), Akella (1966) u Krauspkopf (1979) usaron un método similar, sin embargo estos autores posteriores ignoraban del diagrama de Leite y Mead “Staright-Line “. Gresens (1967) fijó los limites en su articulo sobre balance de masas el cual fue publicado por estas fechas, y un método similar fue descrito por Beswick y Soucie (1978) para determinar los cambios metasomáticos en Cinturones Verdes Arquéanos. Grant (1986) favoreció la descripción y la relación entre los cálculos de masa y volumen. Brimhall y Dietrich (1987) describió la relación entre la composición, volumen, densidad, porosidad y tensión en sistemas hidrotermales metasomatizados. El método de Gresens ha sido refinado por trabajos mas recientes como los de MacLean y Kranidoits (1987), Barrett y MacLean (1991); Barret et al. (1991 a,b,c) y Barret y MacLean (1994); el método de Gresens también forma el fundamento del método del porcentaje de elementos de Pearce (Pearce, 1968; Fowler, 1990; Stanley y Madeisky, 1993).

IV.3.-Aplicación

Como se mencionó líneas arriba, el método de Gresens se ha aplicado en la determinación de pérdidas y ganancias en rocas alteradas en depósitos minerales del tipo VMS, y oro en zonas de cizalla; sin embargo el uso directo de este método, también ha sido aplicado, en menor proporción, en depósitos minerales tipo pórfido de cobre como el trabajo desarrollado por Camus (1975) en el depósito El Teniente en el norte de Chile, describiendo los cambios de masa en elementos mayores dentro de rocas de composición andesítica, cuarzo-dioritas, y dacítica, utilizando las perdidas o ganancias de elementos químicos individuales sufridas en las rocas durante la mineralización y a las diferentes alteraciones que sufrieron a través de esta.

Tratando de implementar este método en el distrito de Cananea, en un ambiente tipo pórfido de cobre, se seleccionó el depósito María, una brecha mineralizada con cobre y molibdeno, asociada a un stock cuarzo-monzonitico y zonas pegmatíticas descritas por Wodzicki (1995), con una serie de fallas y fracturas en dirección W-NW y NW, con

desplazamientos de menos de 50 m y presencia de vetas verticales de cuarzo-sericita-pirita encima de la mineralización de alto grado con direcciones en el mismo sentido.

En el distrito de Cananea y dentro de la granodiorita Cuitaca, existen una gran cantidad de zonas de alteración, con características muy similares aquellas presentadas en superficie por el depósito de María, los cuales de la misma forma podrían corresponder a cuerpos de mena enterrados, por lo que este estudio y parte importante de esta tesis, tiene como finalidad hacer un análisis detallado de pérdidas y ganancias en zonas alteradas de rocas que afloran encima del cuerpo mineralizado de María y compararlos con otra zona en el distrito conocida como Lucy, con algunas características similares y localizada al oeste del distrito de Cananea (Figura 3). Este estudio permitirá hacer una descripción en ambos depósitos, compararlos desde un punto de vista de pérdidas y ganancias y cambios químicos en zonas alteradas, sabiendo que su origen aparentemente es distinto con una característica en común muy estrecha que es la de contener cuerpos de mena enterrados en una roca hospedante similar.

A diferencia de los estudios anteriores efectuados en zonas de alteración en este tipo de yacimientos, para la realización y empleo del método de Gresens, en esta zona, la toma de muestras fue exclusivamente en superficie y de un solo tipo (granodiorítico), siguiendo un muestreo lineal, pasando de rocas frescas a más alteradas situadas encima del centro de mineralización, con variaciones solo en alteración de cuarzo-sericita y algo de cloritización en las muestras. Se espera que la implementación de este tipo de muestreo y metodología en rocas alteradas en superficie pueda ayudar en la identificación de cuerpos enterrados, definiendo blancos de exploración a la par de implementación de programas de exploración tradicionales.

IV.4.-Geología y Características

La geología perteneciente a los dos depósitos comparados en este estudio, que aunque se encuentran dentro de un mismo escenario geológico-tectónico y de alteración – mineralización, con una separación espacial relativamente corta (figura 3), ellos presentan ciertas variaciones que deben ser visualizadas para una mejor evaluación de los datos reportados en este estudio; tales diferencias y correspondencias se describen a continuación:

IV.4.1.-Geología de la Mina María.

El en el área del depósito de Maria, las tobas dacíticas y flujos de la parte inferior de la formación Henrietta son cortados por la Granodiorita Cuitaca, la cual es la roca huésped para la mineralización diseminada y masiva en pegmatitas. Cerca del contacto con el intrusivo, las rocas volcánicas son cambiadas a hornfels por metamorfismo de contacto y localmente cortadas por vetillas de composición cuarzo-sericita. Hacia fuera del contacto, las rocas volcánicas presentan una alteración propilitica débil, caracterizada por la alteración de hornblenda o clorita; alteración de plagioclasa a epidota y arcillas, con concentraciones locales de epidota en fracturas.

La composición del plutón Cuitaca presenta una variación en su composición de granodiorita a monzogranito; la roca que mas predomina en el área es la granodiorita de hornblenda-biotita, la cual tiene una composición de 24% cuarzo, 20% feldespato potásico, 45% plagioclasa, 2-3% biotita, 2-3% hornblenda, con accesorios del tipo apatito, magnetita, esfena, y zircón (wodzicki, 1995).

En el área de Maria la granodiorita cuitaca es cortada por un pórfido cuarzo-feldespático el cual aflora como una serie de diques los cuales son los que forman una prominente colina al NW de la Mina Maria (Figura 3). El pórfido cuarzo-feldespático consiste de dos fases, una más abundante la cual contiene fenocristales de cuarzo y otros menos abundantes con grandes feldespatos (6 mm) pero con pocos fenocristales de cuarzo. Ambos tipos de pórfidos se encuentran intensamente alterados en afloramientos así como núcleos de barrenación, esto causa que la identificación de sus características primarias sea difícil. Los feldespatos son ampliamente reemplazados por sericita, pero un poco de feldespato queda como remanente. Los raros fenocristales de biotita se encuentran casi irreconocibles y cloritizados.

IV.4.2.-Geología de la Mina Lucy:

El depósito de Lucy se ubica aproximadamente a 5 km al oeste noroeste de la mina Mariquita (Figura 3), se encuentra el tajo Lucy, el cual fue desarrollado exclusivamente dentro de la granodiorita Cuitaca (Figura 5 y 6). Esta conformado por un tajo de forma semicircular de aproximadamente 250 m por 300, y cerca de 80 m de profundo. En forma general la roca presenta una textura granular hipidiomorfica, con cuarzo (~20%), feldespato

(25%), plagioclasa (40%), y presencia hornblenda y biotita cloritizada. Mapeo en detalle de este tajo, muestra que lo fuerte de la mineralización se encuentra concentrado dentro de una zona en el centro del tajo, con una forma ligeramente ovalada y sin raíz, avalada por barrenación. Su textura en esta zona, es en parte fina granular con huecos irregulares rellenos con cuarzo + turmalina + molibdenita y calcopirita. A diferencia de María en Lucy no se observa un pórfido que corte a la granodiorita y la mineralización parece más asociada a zonas enriquecidas dentro de la misma granodiorita. Aunque se nota un débil enriquecimiento secundario, se tiene importante ley de sulfuros primarios, los cuales pueden tener alrededor de <0.8 % de Cu y 0.1% de Mo, asociado a una intensa alteración de cuarzo-sericita, con parches de feldespato potásico, lo cual sugeriría una sobre imposición de alteración. Común en este tajo es la presencia de fracturas casi horizontales, las cuales parecerían ser respuesta a esfuerzos tangenciales o de relajamiento durante la intrusión de la granodiorita, es decir fractura en cúpulas intrusivas (Ochoa-Landín L., com. Personal), las cuales regularmente se encuentran rellenas con cuarzo + feldespato potásico + sulfuros (Mo y Cpy).

El cuerpo de Lucy se manifestó en superficie en zonas irregulares formadas de vetillas de cuarzo + sericita y sulfuros, con fuerte presencia de turmalina y acompañados con óxidos de hierro (geólogos de FRISCO, comunicación Personal), variando lateralmente a roca mas fresca, presentando solo cloritización en sus ferromagnesianos. Hacia el sur de Lucy, dentro de la misma granodiorita Cuitaca, se tienen áreas con vetillas de cuarzo + sericita + óxidos de hierro, formando un stockwork, en partes con cuarzo de aspecto pegmatítico, conocida como área del Colorado, presentando características muy similares a Lucy y María. Esta área fue explorada y barrenada sin resultados favorables.

Las estructuras mas significativas en esta área es la presencia de fallamiento y lineaciones N-S, NNW-SSE, con contactos intrusivos con las rocas de la Formación Henrietta aflorando al este del tajo, las cuales en parte son cubiertas por gravas mal consolidadas depositadas a partir de abanicos aluviales, provenientes del este, partiendo de las sierras Mariquita y Elenita, que bordean en su lado este al área de Mariquita. Estas gravas, pueden alcanzar espesores del orden de 300 m cerca al tajo Mariquita, pero se adelgazan hasta desaparecer en el área de Lucy.

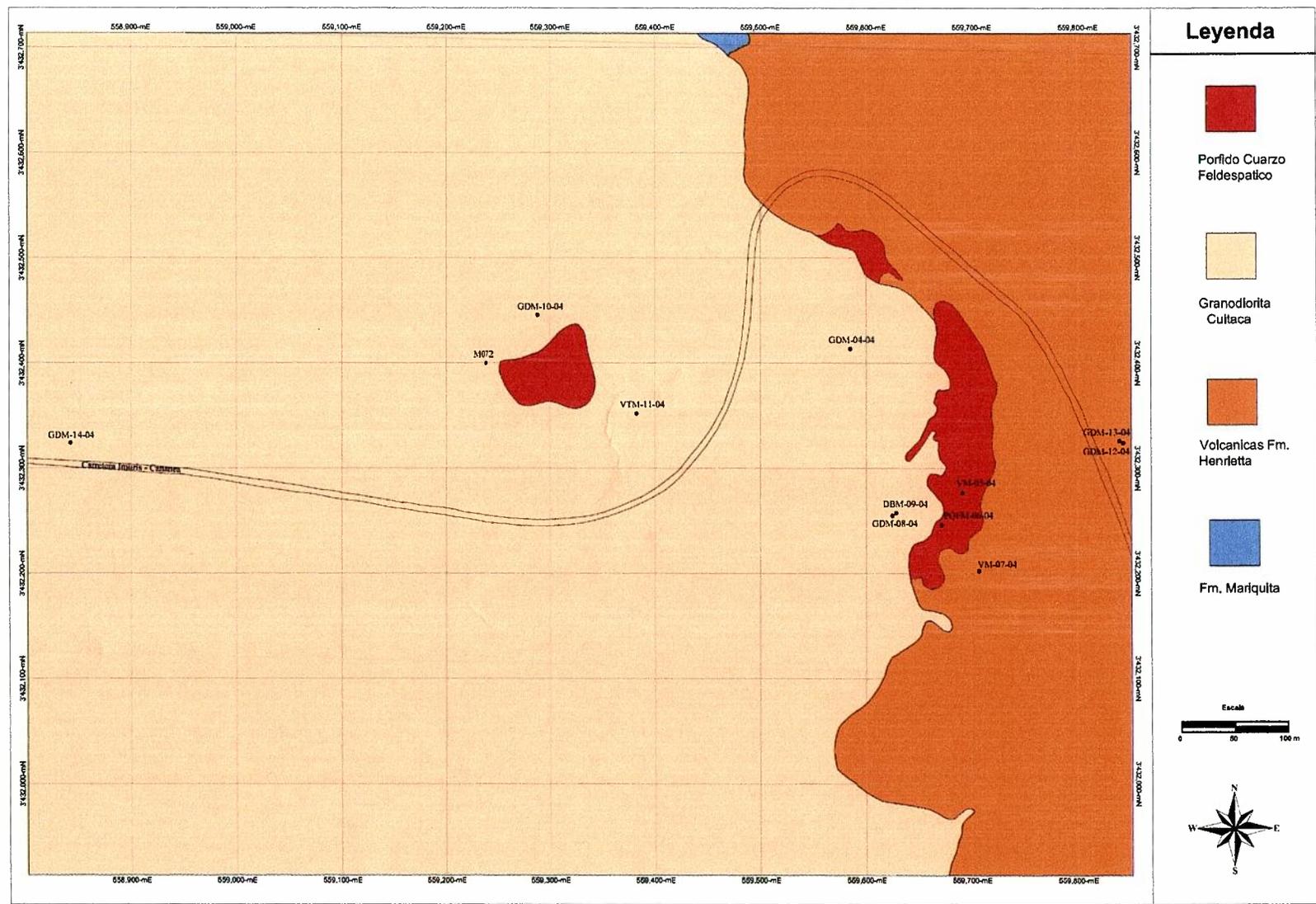


Figura 4.- Mapa Geológico de la Mina Maria, con la localización de las muestras (Geólogos Mina Maria, FRISCO, 1992).

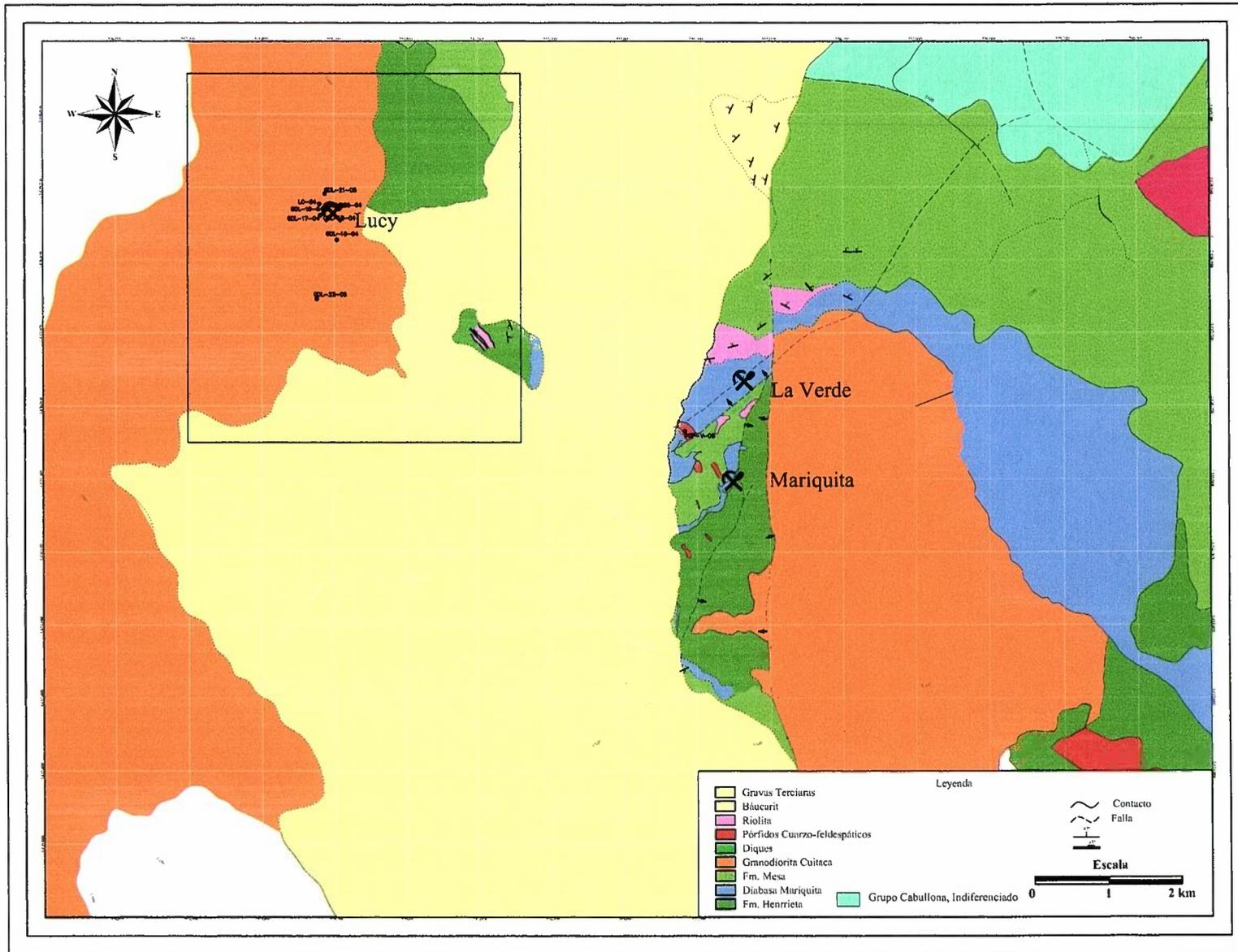


Figura 5.- Mapa Geológico de la Mina Lucy, con localización de muestras. (Una ampliación se presenta en la siguiente página) (Geólogos Mina Maria, FRISCO, 2005).

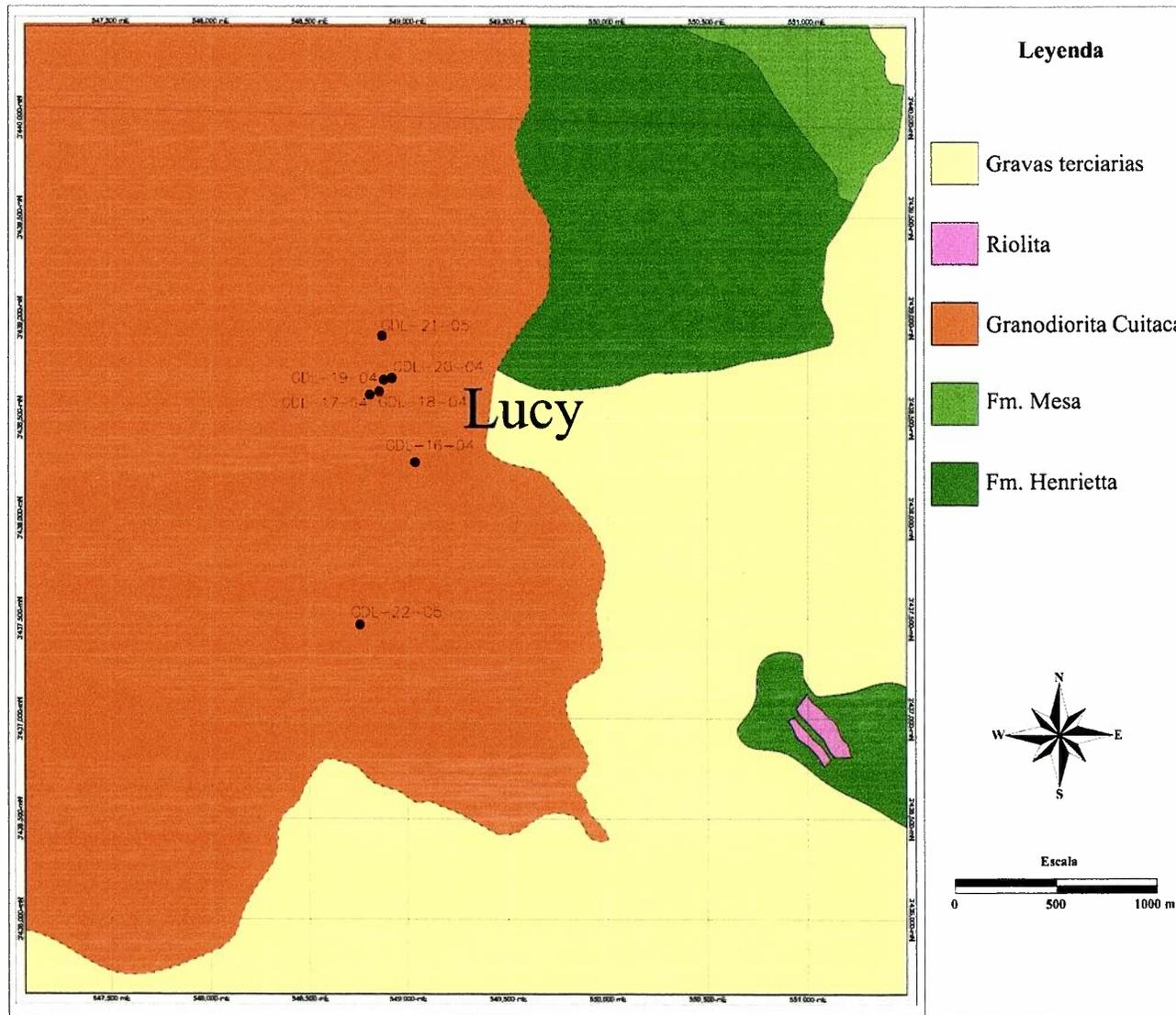


Figura 6.- Ampliación de localización de muestras en el Tajo Lucy y sus alrededores

IV.5.- Geoquímica

Para el presente estudio se recolectaron de manera estratégica, un total de 15 muestras, de las cuales 8 corresponden al depósito de María y las 7 restantes a Lucy. Todas ellas fueron quebradas a tamaño gravilla con diámetros menores a 1 pulgada en los laboratorios de preparación de muestras de la Estación Regional del Noroeste de la Universidad Autónoma de México (ERNO) y pulverizadas para su análisis en el laboratorio de preparación de muestras de la Universidad de Sonora., utilizando un contenedor de ágata. Las muestras fueron enviadas a los laboratorios de Chemex, donde fueron ensayadas por mayores y trazas por los métodos XRF y ICP-MS respectivamente, obteniendo los siguientes elementos: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, Cr₂O₃, TiO₂, MnO, P₂O₅, SrO, BaO; y Ag, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr. La localización y distribución de todas estas muestras son mostradas en las Figuras 4 y 6, para las dos áreas. (Los resultados de los análisis se muestran en el Anexo 2)

Tal y como fueron recibidos los resultados de elementos traza del laboratorio, se elaboró una gráfica conocida como “aracnigrama” utilizando solo los valores de los elementos trazas en granodiorita de las dos áreas, normalizándolos contra el promedio de la corteza continental superior (Taylor & McLennan, 1981), para observar solo su comportamiento y variabilidad entre ellas (Figura 7). En esta gráfica se puede apreciar que los valores de los elementos en ambas localidades no varían significativamente, solamente se tiene un enriquecimiento anómalo de uranio, un decremento en potasio, un decremento en terbio y decrementos en bario para la granodiorita Lucy (GDL), y en general para la granodiorita Maria (GDM) todas las muestras se mantienen estables. Cabe mencionar que para este modelo comparativo se podría haber normalizado en contra de una condrita, por ejemplo la definida por Sun y McDonough (1989) u otro estándar. El uso de este tipo de gráficas utilizando este método, es solo para ejemplificar el poco uso que se le puede dar para el tratamiento en rocas alteradas, ya que realmente no reflejan comportamientos importantes comparativos de estos elementos. Sin embargo en cierto tipo de alteraciones el comportamiento de los elementos químicos puede explicarse en función de los enriquecimientos y empobrecimientos relativos.

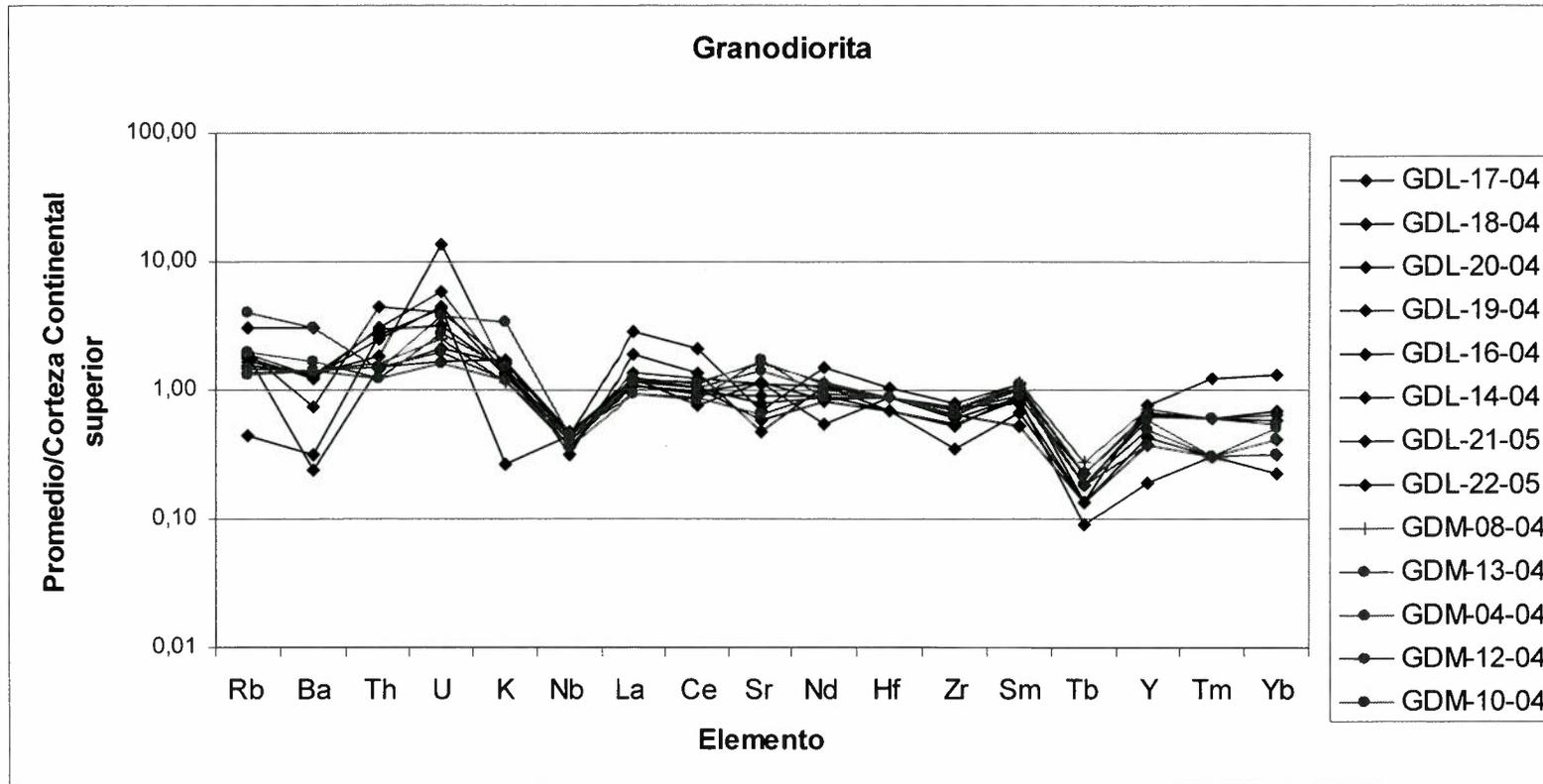


Figura 7.- Comparación de granodiorita con corteza continental superior (Taylor & McLennan, 1981). GDL –Muestras de Lucy; GDM-Muestras de María. Donde se tiene una similitud de los patrones entre ambos depósitos.

IV.6.-Preparación de las muestras para la utilización del método Gresens.

Los polvos de las mismas muestras alteradas y frescas (Tabla 2) analizadas por mayores y trazas fueron pesados y medidas sus densidades respectivas para el uso y aplicación del método de Gresens,

Para la utilización de la ecuación de Gresens se debía obtener la densidad de las muestras las cuales se obtuvieron de la siguiente manera, realizándose tres duplicados por cada una:

Determinación de la Densidad

Para medir la densidad a cuerpos pequeños se utilizó un picnómetro.

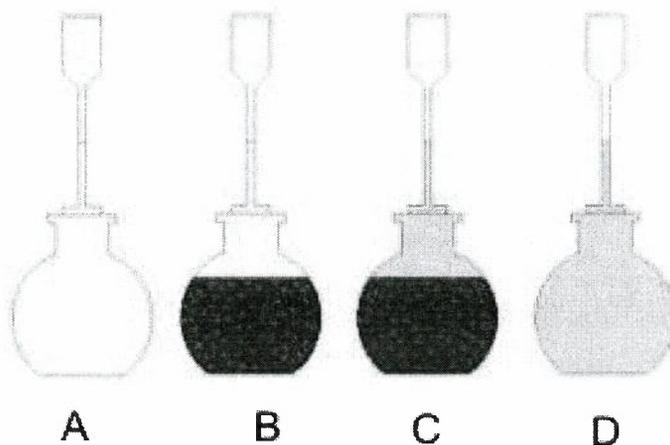


Figura 8.- Picnómetro.

El Picnómetro es un frasco pequeño con tapa esmerilada perforada por un tubo capilar, primeramente se pesa el picnómetro solo, el cual se considera como peso A (Figura 8), después se pesa con la muestra pulverizada adentro, el cual se considera el peso B, este se llena enseguida con agua y se vuelve a pesar, esta será el peso C, por fin se saca el polvo y se pesa el picnómetro lleno de agua, siendo esta el peso D.

La diferencia $D - A$ nos da la masa del agua que cabe en el picnómetro,

La diferencia $C - B$ nos da la masa del agua estando sumergida la muestra pulverizada y es evidente que la diferencia entre estas dos cantidades nos da la masa del agua que desaloja la muestra pulverizada y al mismo tiempo su volumen:

$$v = (D - C) - (C - B).$$

La masa de los fragmentos es $m = B - A$, de modo que la densidad es:

$$d = \frac{B - A}{(D - A) - (C - B)}$$

La densidad esta dada en gr/cm^3 .

Las densidades obtenidas se dan en la Tabla 1

MUESTRA	DENSIDAD
GDM-10-04	2,60065316
GDM-12-04	2,69100728
GDM-04-04	2,68835464
GDM-13-04	2,66783718
GDM-08-04	2,74342413
GDL-14-04	2,68544073
GDL-16-04	2,65985617
GDL-17-04	2,64550462
GDL-18-04	2,49767134
GDL-19-04	2,68835464
GDL-20-04	2,78970895
PQFM-06-04	2,64567325
GDL-22-05	2,64896517
GDL-21-05	2,59902328

Tabla 1.- Densidades obtenidas.

Muestra Fresca	GDL-22-05	GDM-14-04
Muestras Alteradas	GDL-16-04	GDM-08-04
	GDL-17-04	GDM-13-04
	GDL-18-04	GDM-04-04
	GDL-19-04	GDM-12-04
	GDL-20-04	GDM-10-04
	GDL-21-05	PQFM-06-04
		M072-300M

Tabla 2.- Lista de muestras para cada localidad, para la Mina Maria (GDM), y para la Mina Lucy (GDL), muestras frescas (sombreado) y muestras alteradas.

IV.7.-Análisis con el Método de Gresens

Para poder comprender como se aplica el método de Gresens, primeramente se tiene que definir los siguientes parámetros:

Fv- Factor de volumen o el cambio relativo en el volumen, definido como el porcentaje de volumen final vs el volumen inicial debe de ser determinado (adición de masa positivamente, Figura 9). De esta manera Fv se puede estimar a través de la examinación de los porcentajes de óxidos inmóviles como lo son TiO_2 o Al_2O_3 , o elementos como Zr, Y, o Nb, en las rocas frescas y las alteradas. Para refinar esta estimación, las líneas son graficadas con diferentes valores de Fv contra concentraciones de cambio aparente para cada elemento. Si los factores de volumen para varios óxidos que se han asumido como inmóviles coinciden, la confianza de inmovilidad incrementara; esto puede ser probado estadísticamente analizando su varianza. Usualmente los factores de volumen estimados para diferentes óxidos van a diferir ligeramente; si uno o mas difieren mucho, su suposición de inmovilidad será probada como incorrecta, y ellos serán descartados. Habiendo determinado un promedio para el factor de volumen, podrá ser aplicado a un óxido móvil para obtener la masa real de perdida o ganancia. Los cambios resultantes pueden ser comparados con la mineralogía observada, y la importancia de los cambios de volumen pueden ser evaluados. Por ejemplo, las perdidas de volumen neto = "leaching", o ganancias de volumen neta = deposición, como lo son hidratación, carbonización, o adición en vetas (Figura 9); se debe de notar que ambos procesos pueden funcionar juntos como uno solo. La co-variación del cambio de masas puede ser evaluada estadísticamente o gráficamente (ejemplo, un decremento en K y Si implica una cloritización; y un incremento en K con un decremento de Si implica una sericitización, etc.).

Ilustración de cálculo de balance de masa o volumen con una roca fresca ($16\text{ cm}^3 = 100\%$) con adición de volumen ($16\text{ gm o cm}^3 = 100\%$) con substracción de volumen ("leaching"). El balance de masa recalcula los componentes inmóviles (negro) hacia su composición original y multiplica los componentes móviles (blanco) por el porcentaje $R^{A/B}$ (Factor de corrección). Hay que notar que la masa del componente inmóvil (negro) en la roca alterada recalculada es la misma que la roca fresca pero el volumen calculado continuo consistente con la adición de masa o volumen (+25%) y la substracción de masa o volumen o "leaching" (-25%) (Figura 9).

La ecuación de Gresens es la siguiente

$$X_n = W^B - W^A = w \{[(Fv) (X^B) (S^B/S^A)] - X^A\} \quad (1)$$

Donde: X_n	Es el cambio de la proporción de peso en el componente.
W^A, W^B	Son los pesos de los componentes n en la roca fresca A y en la roca alterada B.
w	Es el peso inicial en la roca fresca.
Fv	Es el factor de volumen, el porcentaje de volumen de la roca alterada vs la roca fresca.
X^A, X^B	Son las proporciones de peso en los componentes n en roca fresca A y en la roca alterada B, usados directamente de los análisis químicos.
S^A, S^B	Son las densidades específicas de la roca fresca y de la roca alterada, medidas directamente de las rocas.

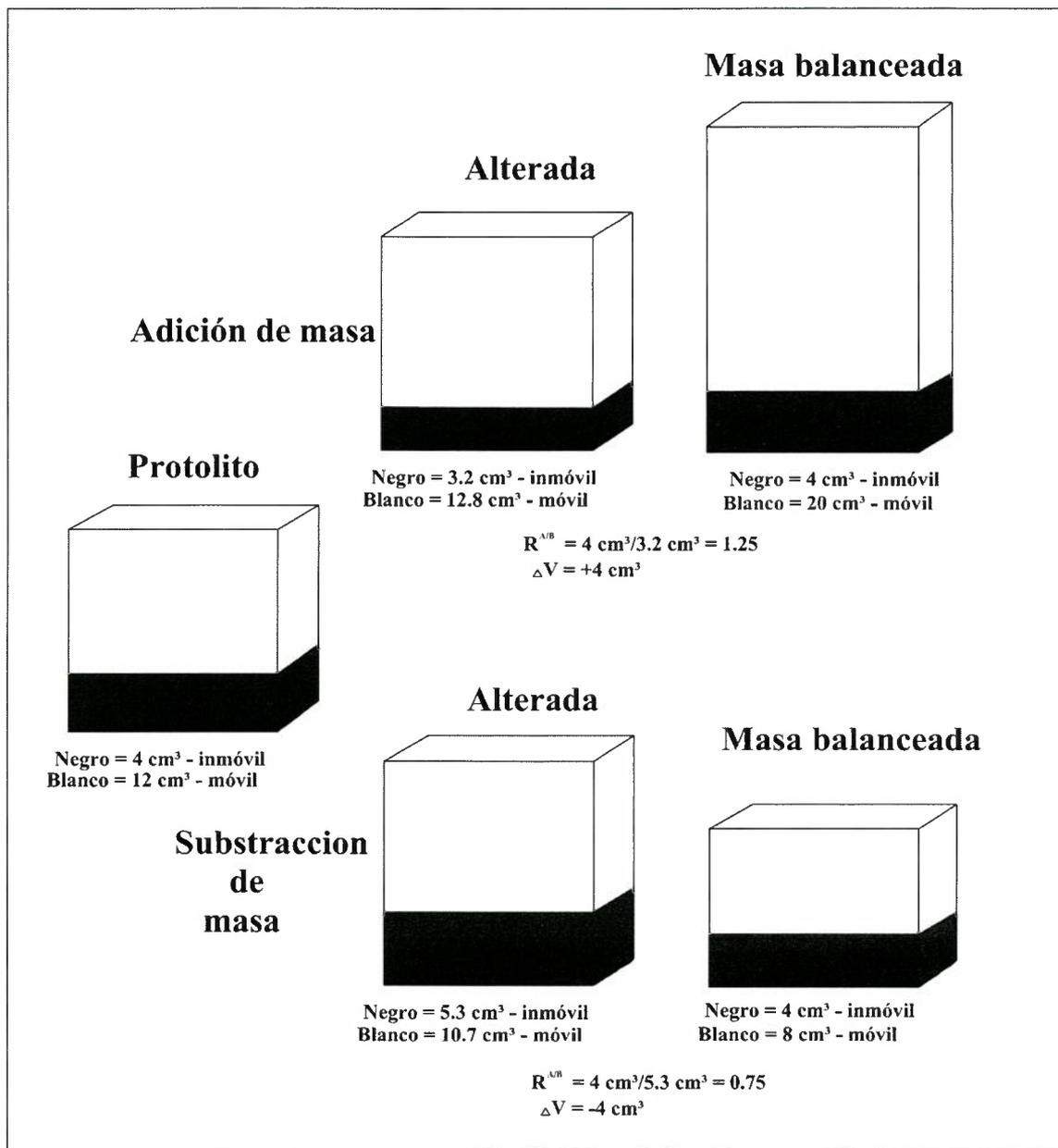


Figura 9.- Ejemplo de pérdidas y ganancias.

Normalmente, w es fijado a 100 gr. Por lo tanto X^A y X^B estarán en porcentaje de peso, mientras que X_n será el cambio en porcentaje de peso del componente n . Hay que notar que la variación en la gravedad específica (S^A , S^B) es normalmente menor (comúnmente menor que 5%, ejemplo 2.93 a 3.05) por lo tanto no es necesario medir una densidad específica ya que un pequeño cambio en la composición química es buscada.

$$\text{Por definición: } F_v = V^B/V^A = (M^B/M^A) (S^A/S^B) \quad (2)$$

Donde: V^B/V^A es el total del porcentaje de volumen, M^B/M^A es el total de porcentaje de masa, y S^A/S^B es el porcentaje de densidad. M^B/M^A (y por consiguiente F_v) puede ser estimado con una inversa del porcentaje de peso del elemento inmóvil.

$$M^B/M^A = R^{A/B} = X^A/X^B \quad (3)$$

Sustituyendo la ecuación 3 dentro de la ecuación 2 entonces el resultado será el siguiente:

$$X_n = W^B - W^A = 100 \{[(X^A/X^B) (X_n^B)] - X_n^A\} \quad (4)$$

IV.7.1.-Diagrama composición-volumen, para comprobar la relativa inmovilidad de componentes.

El propósito de realizar este tipo de diagrama es el de comprobar la relativa inmovilidad de los componentes. El promedio de los factores de volumen para varias muestras se muestran en forma tabular en la Tabla 3 para la Mina Maria, y en la Tabla 4 para la Mina Lucy; y en base a estos valores de pérdidas y ganancias aparecen graficados verticalmente en la Figura 10 y en la Figura 11 respectivamente, esto para ver la supuesta inmovilidad de los elementos que muestran un comportamiento similar (si las curvas son relativamente planas). Si las curvas son fuertemente irregulares, esto puede ser a causa por el rechazo de uno o más componentes supuestos como inmóviles. Mientras mas cerca de la horizontal estén las curvas mayor será la suposición de todos estos elementos de inmovilidad.

La formula para el cálculo de factor de volumen es la siguiente:

$$F_v = V^B/V^A = (M^B/M^A) (S^A/S^B)$$

Donde:

$$M^B/M^A = R^{A/B} = X^A/X^B$$

	Al2O3	TiO2	Zr	Promedio
GDM-08-04	-0,03183262	-0,05849541	-0,02682702	-0,03883079
GDM-13-04	-0,0157085	-0,06160174	-0,06216746	-0,04594072
GDM-04-04	-0,02540303	-0,05737584	-0,05112575	-0,04441309
GDM-12-04	-0,02053177	-0,08725913	-0,02555703	-0,0434072
GDM-10-04	0,04485375	-0,01137273	-0,0078953	0,00930061
PQM-06-04	0,09805289	0,36302669	0,20039268	0,23439153
M072-300M	-0,0510242	0,00051654	-0,00179531	-0,01679238

Tabla 3- Factores de volumen para la Mina Maria.

	Al2O3(%)	TiO2(%)	Zr(ppm)	Promedio
GDL-17-04	-0,04668476	-0,32098394	-0,30249883	-0,20436576
GDL-18-04	-0,08075156	-0,12655002	-0,16345523	-0,12226463
GDL-20-04	-0,07969391	-0,20321881	-0,33559114	-0,19372944
GDL-19-04	-0,063348	-0,32122859	-0,35523435	-0,22599784
GDL-16-04	-0,06926321	-0,23469608	-0,25654378	-0,17848087
GDL-21-05	-0,04702656	-0,24073492	-0,15697371	-0,14095991

Tabla 4.- Factores de volumen para la Mina Lucy.

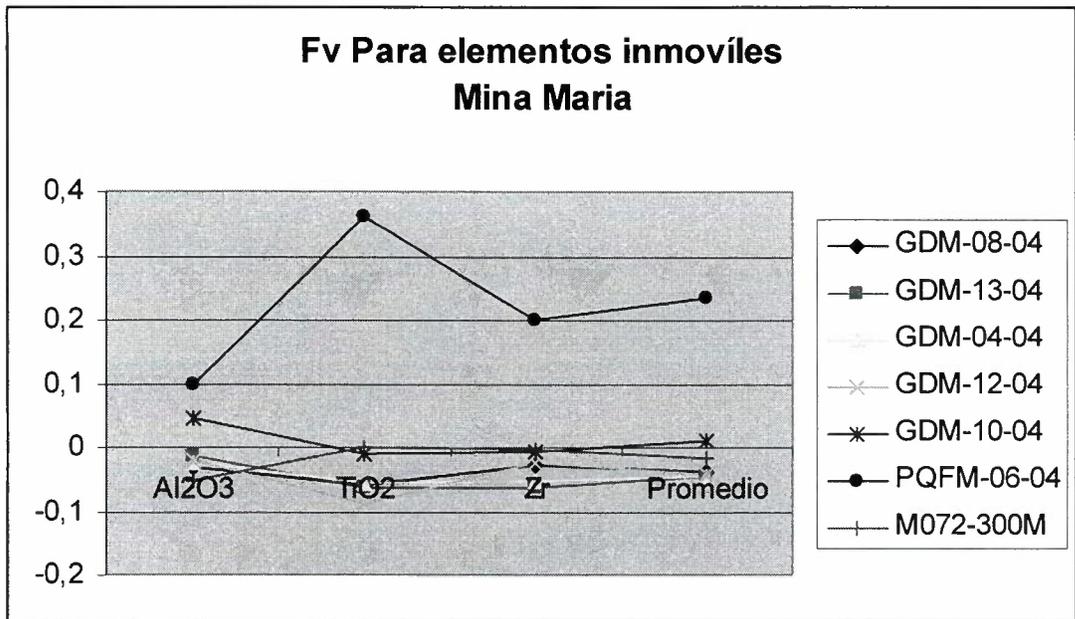


Figura 10.- Grafica de Fv para de componentes inmóviles para la Mina Maria.

En esta grafica se observa que las muestras GDM-08, 13, 12, 10 presentan una relativa estabilidad, al acercarse a la horizontal en su posición, evidenciando la supuesta inmovilidad para estos elementos; la muestra GDM-10-04 tiene un levantamiento en Al₂O₃ solamente ya que en sus otros componentes no varia mucho; en lo que respecta a la muestra PQFM-06-04, es una muestra que presenta altos movimientos en lo que respecta a TiO₂, y Zr, el Al₂O₃ se separa ligeramente hacia el lado positivo pero no tanto como los otros elementos para la misma muestra. Pero en general nos muestra la relativa estabilidad e inmovilidad de los supuestos elementos. Ya que su variación mayor no pasa de 0.35.

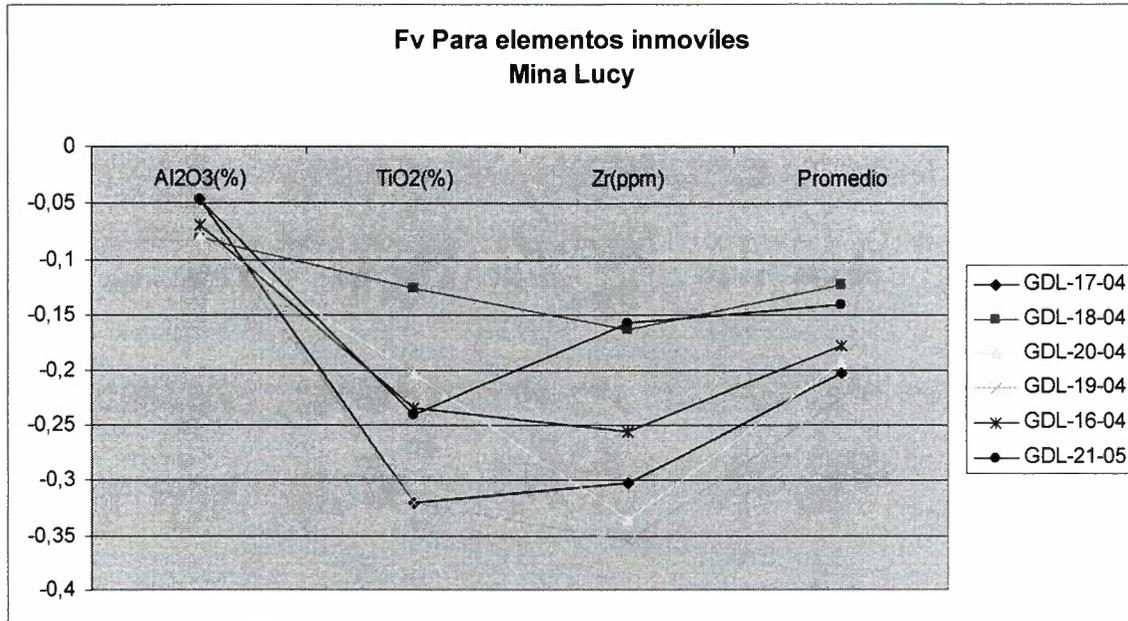


Figura 11.- Grafica de Fv para de componentes inmóviles para la Mina Lucy.

En esta grafica se observa que todas las muestras tienen una tendencia de variar hacia el lado negativo incrementándose primeramente con la muestra GDL-19-04 con una mayor influencia del Zr, y en menor influencia en TiO₂, con una relativa inmovilidad total del Al₂O₃, pero en general aunque las muestras se mueven hacia el lado negativo mantiene cierta orientación hacia la horizontal ya que los desplazamientos mayores son apenas de 0.35.

IV.7.2.-Pérdidas y ganancias de muestras

Asumiendo la inmovilidad de los elementos Al_2O_3 , TiO_2 y Zr los cuales se obtuvieron anteriormente, se realizaron los cálculos de pérdidas y ganancias. Su cálculo y determinación debe hacerse para cada elemento de cada una de las muestras, se deben realizar una serie de cálculos de cada uno de ellos utilizando la ecuación de Gresens (Ecuación 4, p.39), el cual uno de los cálculos se ejemplifica para la Mina Lucy en la Tabla 5 y el resto se incluye en el anexo, al final del escrito. Posteriormente se agruparon todos estos resultados para conformar la Tabla 6 para los datos de la Mina Maria, y la Tabla 7 para los datos de la Mina Lucy.

Partiendo de los cálculos obtenidos en las tablas 6 y 7, se graficaron en función de pérdidas y ganancias (X_n) vs distancia de roca fresca a roca alterada. Las graficas son el resultado de los cálculos realizados utilizando el método de Gresens, mostrados en las Figuras 11 para la Mina Maria y Figuras 12, para la Mina Lucy.

En las tablas 6 y 7 se comparan las pérdidas o ganancias en volumen contra la distancia a la cual fueron tomados con respecto con la muestra más sana (menos alterada) que va de izquierda a derecha en las distintas figuras. En el eje vertical si los valores están por encima del cero se gana masa y viceversa; fueron graficadas para los elementos mayores en porcentaje.

En las tablas que se presentan en las Figuras 12 para la Mina Maria, se puede observar que, los elementos SiO_2 y Al_2O_3 hasta la muestra PQFM-06-04 a 829m de distancia no presentan una pérdida o ganancia de masa significativa, en lo que respecta a los faltantes elementos hasta este punto, tienen una variación de pérdidas y ganancias que se mantiene constante.

El punto mas significativo y en la que coinciden la mayoría de los elementos es lo que pasa entre las muestras PQFM-06-04 hasta el final GDM-12-04 (829 a 999.49 m), y mas importantemente es que dentro de este intervalo es donde el muestreo cruza el pórfido cuarzo feldespático (PQFM-06-04 a 829m), el cual es la fuente de la mineralización diseminada que se encuentra en la mina; en este intervalo hay un disparo en la ganancia de masa pero a su vez un decremento de ganancias, en los elementos que ganan masa tenemos a el SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O y K_2O ; en los elementos que pierden masa tenemos CaO , y MgO .

Para los elementos CaO y MgO siempre se tienen perdiendo masa a través de casi la mayoría del muestreo, el CaO gana poco al principio pero en la primera muestra tiende a perder masa.

En las graficas que se presentan en las Figuras 13 para la Mina Lucy, se puede observar que hay tres grupos de pérdidas y ganancias de masa que se forman a través de la sección de muestreo. El primer agrupamiento que pasa a través de las muestras GDL-16-04 y GDL-17-04 (0 a 226.762 m), en la cual los elementos que se mantiene constante en la pérdida de masa son: SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃, CaO y MgO, en cambio el Na₂O mantiene constante su ganancia. El segundo agrupamiento va a través de las muestras GDL-17-04 y GDL-20-04 (226.762 a 248.951 m), esta última muestra se encuentra en la parte central del tajo, es la más alterada, en esta parte es donde hay un movimiento de pérdidas y ganancias significativas, los elementos que se mantiene perdiendo masa en este agrupamiento es el SiO₂, Al₂O₃, K₂O y los restantes elementos se mantiene en ganancia y pérdida aleatoria de masa. El tercer agrupamiento que presentan pérdidas y ganancias va desde las muestras GDL-20-04 a GDL-21-05 (248.762 a 289 m), en el cual tenemos elementos que se mantienen ganando masa, como lo son: Fe₂O₃ y MgO, y elementos que se mantienen perdiendo masa son: SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, CaO y K₂O.

Paralelamente a estas figuras, los análisis químicos de muestras alteradas (Anexo 1) llevados acabo en las dos áreas (María y Lucy), son convertidos a mg/cc y graficadas contra la distancia que va de rocas menos a mas alteradas en zonas identificadas como de cuarzo-sericita y las cuales muestran un comportamiento químico relacionado a lo observado en el campo y en el estudio de secciones delgadas, con cambios muy afines a las pérdida o ganancias descritas líneas arriba ver Tabla 7, 8 y Figura 14 a y b. En la grafica Figura 14a, correspondiente al depósito de María, se puede observar un enriquecimiento de SiO₂ en y en las cercanías al intrusivo cuarzo-feldespático causante de la mineralización en esta área, con un Al manteniéndose mas o menos estable y Ca, y Mg, comportándose de manera desordenada, con un claro decrecimiento dentro del intrusivo debido probablemente, a la fuerte lixiviación que existe en esta roca, por procesos hidrotermales en que feldespatos y micas han sido totalmente reemplazados por sílice. Junto con esto el

	GDM-14-04	GDM-08-04						Densidades	
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Xa	Xb
SiO2(%)	67,48	66,08	1,021186441	0,9996032	61,732893	-5,747107	-8,516757	2,6854407	
Al2O3(%)	15,57	16,4	0,949390244	0,9293245	15,321117	-0,248883	-1,598475		
TiO2(%)	0,5	0,56	0,892857143	0,8739862	0,5231601	0,0231801	4,6320213	2,7434241	
Zr	145,5	151,5	0,96039604	0,9400977	141,53349	-3,966507	-2,726122		
Fe2O3(%)	3,62	4,1	0,882926829	0,8642658	3,8302793	0,2102793	5,8088218	D a/b	0,9788646
CaO(%)	3,04	2,91	1,04467354	1,0225939	2,7185641	-0,321436	-10,57355		
MgO(%)	1,38	1,28	1,078125	1,0553384	1,1957945	-0,184205	-13,34822		
Na2O(%)	3,53	3,64	0,96978022	0,9492835	3,4005407	-0,129459	-3,667403		
K2O(%)	3,61	3,15	1,146031746	1,1218099	2,9427756	-0,667224	-18,48267		
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	0,9788646	0,0093421	-0,000658	-6,578552		
MnO(%)	0,05	0,07	0,714285714	0,699189	0,065395	0,015395	30,790027		
P2O5(%)	0,13	0,19	0,684210526	0,6697495	0,1775008	0,0475008	36,539039		
SrO(%)	0,04	0,05	0,8	0,7830917	0,0467107	0,0067107	16,776809		
BaO(%)	0,08	0,1	0,8	0,7830917	0,0934214	0,0134214	16,776809		
LoI(%)	0,5	1,4	0,357142857	0,3495945	1,3079003	0,8079003	161,58005		
Promedio de R a/b			Xa	Sin Alteración			Perdidas y ganancias		
0,9342145			Xb	Alterada			Muestra alterada		
							Muestra no alterada		

Tabla 5.- Ejemplo del calculo de pérdidas y ganancias en la Mina Maria.

Donde: $D^{A/B}$ El cociente entre las densidades.
 X_{rc}^B Valor recalculado para permitir un cambio en el volumen.

	M072-300M	GDM-10-04	GDM-04-04	GDM-08-04	PQFM-06-04	GDM-13-04	GDM-12-04
Distancia (m)	397	445,77	742,66	782,41	829	996	999,49
Densidades	2,853456	2,6006532	2,6883546	2,7434241	2,6456732	2,6678372	2,6910073
SiO ₂ (%)	-1,860849	2,8260468	-6,873187	-5,747107	61,271749	-7,922287	-6,273735
Al ₂ O ₃ (%)	1,2769171	-1,223846	-0,666834	-0,248883	5,7421495	-1,046998	-0,798888
TiO ₂ (%)	-0,019536	0,0243767	0,0151489	0,0231601	-0,128178	0,0183594	0,0531233
Zr(ppm)	-4,938647	5,8766558	2,2663869	-3,966507	11,848225	5,5392184	-5,859041
Fe ₂ O ₃ (%)	-2,444396	-2,501989	-0,691785	0,2102793	-1,980604	-0,080856	-1,69767
CaO(%)	0,7526009	-2,931167	-0,482331	-0,321436	-2,482267	0,0612195	-1,979091
MgO(%)	-0,848423	-1,142546	-0,367778	-0,184205	-1,261693	-0,370093	-0,600187
Na ₂ O(%)	-1,270796	-3,094668	-0,122787	-0,129459	1,6079012	-0,115977	-0,809722
K ₂ O(%)	3,1164997	5,6605834	-0,699861	-0,667224	4,0461489	-0,660713	0,1802546
Cr ₂ O ₃ (%)	0,0002226	-0,000106	-0,000962	-0,000658	0,006901	-0,001063	-0,000932
MnO(%)	0,0011132	-0,040106	0,0132639	0,015395	-0,033099	0,0036234	-0,022797
P ₂ O ₅ (%)	0,0540076	0,0283024	0,0236409	0,0475008	-0,096198	0,0487446	-0,039324
SrO(%)	-0,019555	-0,020212	0,0142262	0,0067107	-0,023099	0,0136234	0,005338
BaO(%)	0,1040076	0,1475597	0,010377	0,0134214	0,0721089	0,0093723	0,0378787
LoI(%)	4,0081859	0,6872679	0,6477878	0,8079003	0,8689803	0,0719828	2,4106979

Tabla 6.- Pérdidas y Ganancias en la Mina Maria.

	GDL-16-04	GDL-17-04	GDL-18-04	GDL-19-04	GDL-20-04	GDL-21-05
Distancia (m)	171,093	226,762	232,51	244,868	248,951	289
Densidades	2,6598562	2,6455046	2,4976713	2,6883546	2,7897089	2,5990233
SiO2(%)	-25,32762	-32,60939	-27,01466	-33,61425	-30,08373	-25,84771
Al2O3(%)	-3,095158	-4,238153	-1,268962	-4,348293	-3,21458	-2,707411
TiO2(%)	0,0428393	0,0954897	0,0030741	0,0760046	0,0068481	0,0800647
Zr(ppm)	16,757372	21,574993	8,4664528	29,495105	32,875345	3,1964752
Fe2O3(%)	-1,533762	1,1543858	-1,142699	0,2830251	1,3891537	0,8549928
CaO(%)	-0,381538	-0,101335	-1,444423	-1,449843	-0,758665	-0,302714
MgO(%)	-0,556825	0,5402309	-0,428079	-0,078931	0,1996468	0,4505496
Na2O(%)	0,7381409	-1,011173	-2,905962	-2,963969	-0,934083	-0,707624
K2O(%)	-4,104014	-2,41907	-1,203108	-1,918125	-2,061957	-1,852455
Cr2O3(%)	-0,003343	-0,003762	-0,002885	-0,003969	-0,003259	-0,002908
MnO(%)	-0,003343	0,0087149	-0,002885	-0,003969	0,1315704	0,0396446
P2O5(%)	-0,046685	0,0460512	-0,003077	-0,023812	0,0343803	0,0321971
SrO(%)	0,0066294	0,0049532	-0,005769	-0,007937	-0,006517	0,0012763
BaO(%)	-0,040028	-0,003855	-0,038654	0,090783	0,0074145	0,0038288
LoI(%)	0,3985458	0,5764692	4,4118769	1,7303093	1,4161417	0,6223914

Tabla 7.- Pérdidas y ganancias en la Mina Lucy.

Muestra	Textura	% Cristal	Accesorios	Alteración	Clasificación
GDM-04-04	Hipidiomorfica Granular	FA (25%), P (45%), Czo(15%), B(5%)	Circón, Esfena	Débil sericita	Monzogranito-Granodiorita
GDM-08-04	Hipidiomorfica Granular	FA(20-25%), P(45%), Czo(15%), B(5%), E(1%)	Esfena	Débil sericita	Monzogranito-Granodiorita
GDM-10-04	Hipidiomorfica Granular	FA(70%), Czo(20%), Mu(1%)	Circón, Esfena	N/A	Aplita o Microcuarzoesienita
GDM-12-04	Hipidiomorfica Granular	FA(30%), P(40%), Czo(25%)	Rutilo, Esfena	Moderada sericita	Qzo Monzonita-Granodiorita
GDM-13-04	Hipidiomorfica Granular	FA(35%), P(45%), B+Hornb(5-7%)	Circón, Esfena	Clorita	Monzogranito
PQFM-06-04	Porfídica	FA(15%), Czo(5-7%), P(2%)	Czo+sercita	Debi sericita+Silicificacion	Porfido Czo+feldespatico

Tabla 8.- Descripción de secciones delgadas, Mina Maria.

(FA: Feldespato potásico, P: Plagioclasa, B: Biotita, E: Esfena, Czo: Cuarzo, Hornb: Hornblenda.

Muestra	Textura	% Cristal	Accesorios	Alteración	Clasificación
GDL-17-04	Hipidiomorfica Granular	FA (45%), P (30%), Czo (15%), B (8%),	Circón, Esfena, Magnetita	Débil sericita	Monzogranito
GDL-18-04	Hipidiomorfica Granular	FA (45%), P (30%), Czo (18%), B (7%),	Circón, Esfena, Magnetita	Fuerte seriritizacion	Mozogranito-Granodiorita
GDL-19-04	Hipidiomorfica Granular	FA (44%), P (28%), Czo (13%), B (10%).	Circón, Esfena	Moderada-Débil sericita	Mozogranito-Granodiorita
GDL-20-04	Hipidiomorfica Granular	FA (45%),P (29%), Czo (16%), B (9%)	Circón, Esfena	Moderada-Débil sericita	Mozogranito

Tabla 9.- Descripción de secciones delgadas, Mina Lucy. (FA: Feldespato potásico, P: Plagioclasa, B: Biotita, E: Esfena, Czo: Cuarzo, Hornb: Hornblenda.

Maria

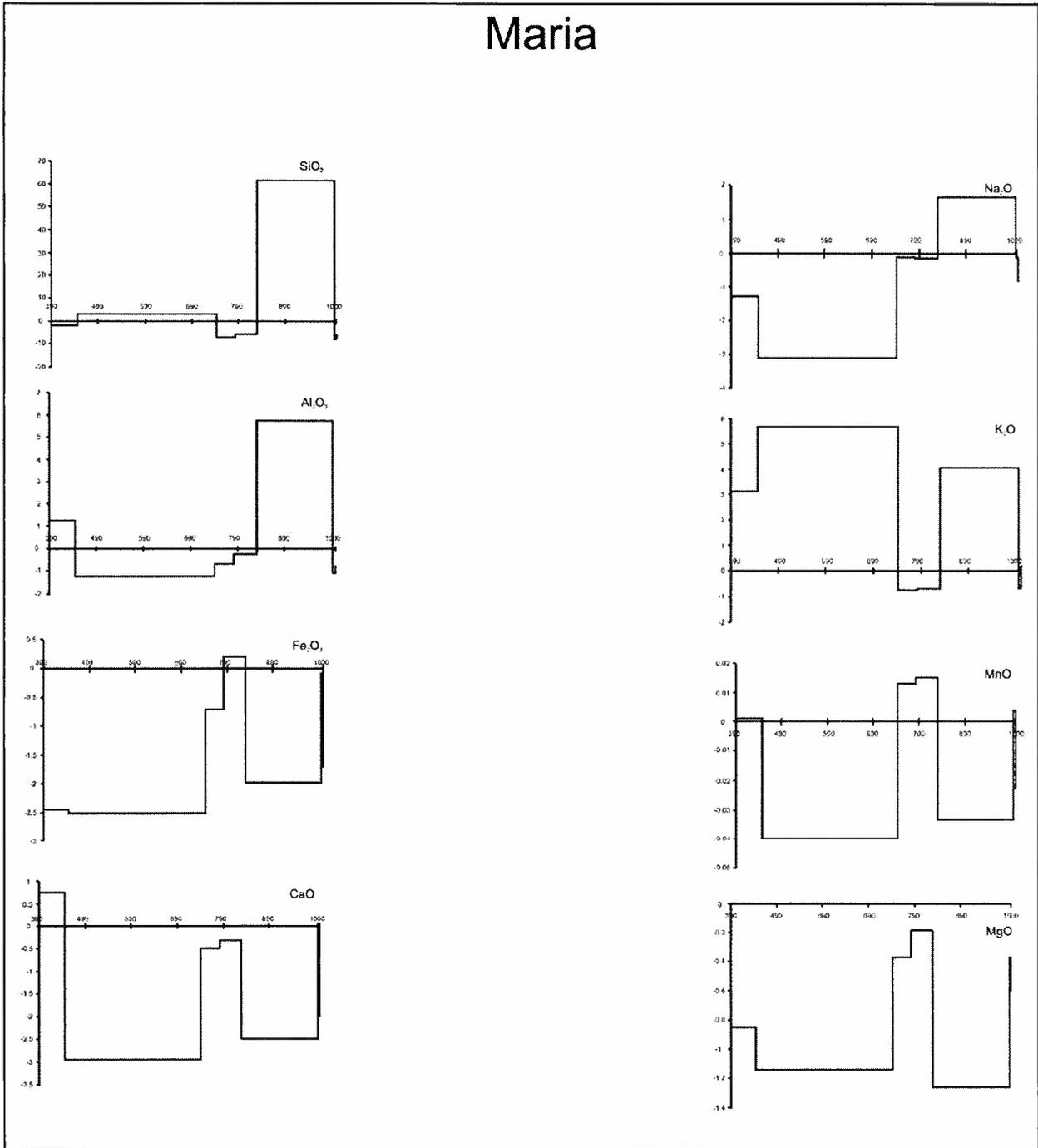


Figura 12.- Resultados de pérdidas y ganancias, Mina Maria.

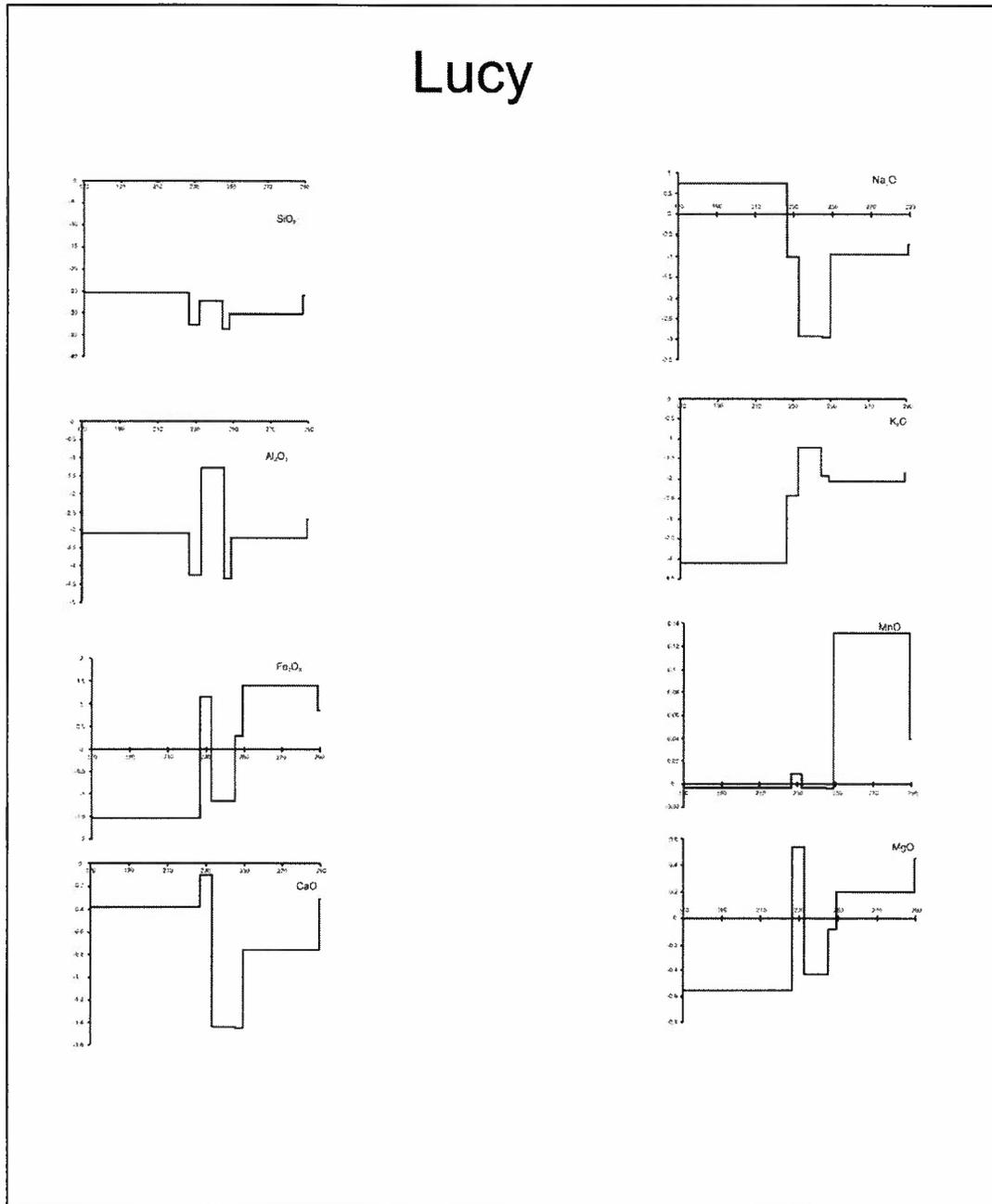


Figura 13.- Resultados de pérdidas y ganancias, Mina Lucy.

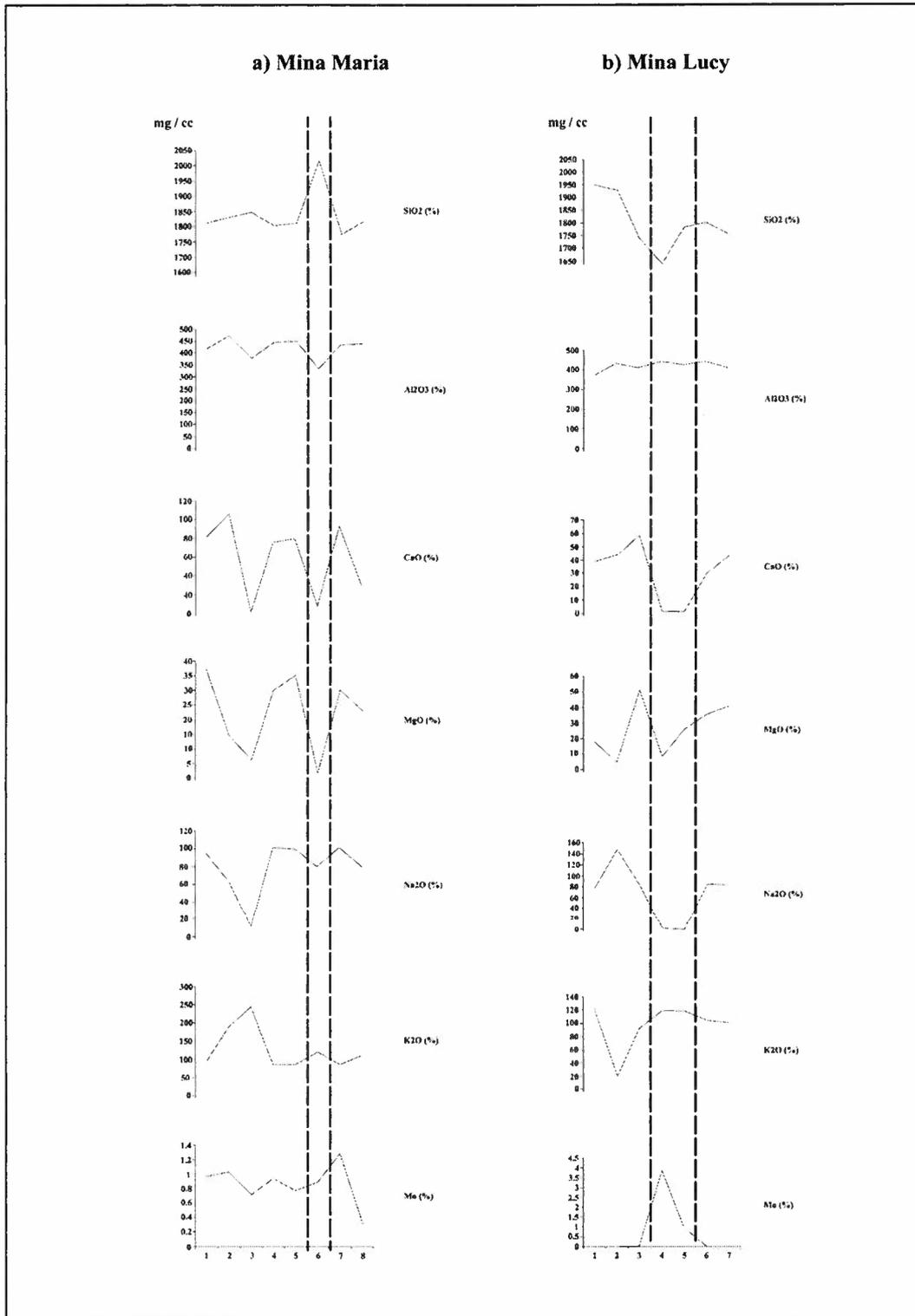


Figura 14.- Graficas de composición, mg/cc a) Mina Maria y b) Mina Lucy.
 Las líneas punteadas definen en el caso de María el pórfido cuarzo feldespático causante de la mineralización y en Lucy el límite del tajo, donde se encuentra la mineralización y rocas más alteradas.

potasio parece haber sido removido parcialmente por este mismo proceso. En el caso del molibdeno es obvio su comportamiento, mas enriquecido cerca y dentro del intrusivo, las líneas paralelas indican la posición para la ubicación del porfido en la Mina Maria.

Para la Figura 14b, es un poco diferente en lo concerniente a la movilidad de los compuestos, con Si mas empobrecida dentro del cuerpo mineralizado; el Al comportándose uniformemente y observándose un decrecimiento en Ca, Mg y Na, con un incremento en potasio. Muy probablemente, como se mencionó líneas arriba, el halo de alteración potásica dentro del Tajo Lucy, a partir de metasomátismo y la serie de reacciones de intercambio de iones de hidrogeno (hidrólisis), podrían haber causado estas variaciones; las líneas paralelas indican la ubicación del centro del tajo, y por lo tanto la zona mas alterada.

V.- Discusión y Conclusiones.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede apreciar que el uso del método de Gresens si deja ver variaciones en la perdida y ganancias, así como cambios químicos sucedido en rocas alteradas asociada a centros magmáticos-hidrotermales, como es el caso de los depósitos de María y Lucy. Sin embargo, la pregunta aún esta presente acerca del uso que se le puede dar a los resultados obtenidos para ambos depósitos. Para una explicación atractiva de estos cambios, se debe de considerar la geología de estos dos depósitos, su génesis y muy probablemente el tiempo en que fueron formados ya que las condiciones de formación pueden ser análogas. La geología en ambas áreas, aunque similares, tienen características geológicas propias que lo hacen diferentes, como es la presencia de un cuerpo intrusivo cuarzo feldespático de ~61 Ma, que corta a la granodiorita Cuitaca de ~64 Ma. La mineralización en María esta relacionada a este cuerpo intrusivo, desarrollando zonas de stockwork y mena masiva de molibdeno en pegmatitas, desarrollando zonas de alteración potásica y cuarzo-sericita, con concentraciones altas de potasio en zonas pegmatíticas. Por el otro lado, en Lucy, la mineralización esta hospedada dentro de la granodiorita Cuitaca y parece presentar una fuerte asociación genética con ella; tan es así, que en la actualidad se conoce que la mineralización de Cu-Mo, es tan antigua como la misma granodiorita. Por otro lado, la alteración, no es tan pervasiva como la documentada para María, concentrándose en el tajo como una fuerte cuarzo-sericita, con zonas de alteración potásica relacionada a vetillas alrededor del cuerpo de mena.

Al parecer cuerpos como María podría definir comportamientos irregulares de pérdidas y ganancias de volumen, acompañadas de cambios químicos como los obtenidos en este estudio, los cuales por las condiciones enlistadas líneas arriba (geología, génesis y edad), hacen que su conducta sea diferente al de Lucy. Sin embargo, tratando de sacar provecho a las variaciones obtenidas en ambos yacimientos, se pueden implementar modelos, con uso exclusivo de este método, en esta región de Cananea tratando de localizar cuerpos de mena enterrados en la granodiorita Cuitaca. Estos es, los resultados obtenidos tendrían al menos dos puntos de comparación, es decir muy probablemente se tendrían dos estilos de mineralización atractivos por explorar, los cuales emiten evidencias geoquímicas diferentes que podrían ser detectados al aplicar este método.

Como conclusión final se tienen los siguientes resultados:

1. El depósito de Lucy es diferente al de María, desde un punto de vista geológico, genético y de edad.
2. A diferencia de María, Lucy parece ser un depósito mas del tipo ortomagmático, es decir relacionado a la cristalización de la granodiorita, probablemente en sus últimas etapas y muy cercano a la superficie, como lo atestiguan la presencia de estructuras casi horizontales en la granodiorita.
3. En cambio en Lucy la mineralización es relacionada al intrusivo cuarzo feldespático, con una edad de la mineralización coincidente con el pórfido.
4. El implemento de pérdidas y ganancias de Gresens, muestra comportamientos diferentes en pérdidas y ganancias en zonas cercanas a las zonas de mena, en ambos depósitos. Claramente las diferencias presentes es por el escenario geológico distintos.
5. La presencia del pórfido de cuarzo feldespático en María, regularmente generar pérdida de volumen en Ca, Mg y ligeramente en potasio. Con un comportamiento muy similar en las graficas de intercambio químico.
6. En Lucy, a diferencia de María, se tiene un ligero incremento en potasio y en sílice., también en acuerdo con las gráfica de cambios químicos.

7. Este método fue aplicado en muestras tomadas únicamente en superficie, las cuales solo presentaban variaciones en su alteración de cuarzo-sericita, en la cual se basó el análisis y discusión de los resultados.
8. Las variaciones en pérdidas y ganancias, así como en cambios químicos, señalan comportamientos diferentes que deben ser tomados en cuenta para la exploración de cuerpos enterrados en cualquier tipo de estos depósitos.

VI.- Bibliografía

- Anderson T.H., Silver L.T. Leon, 1973.** The Cananea Granite - Implications of the Precambrian Age, (ABST) Geological Society of America, Vol. 5, Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena California, pp 534.
- Anderson, T. H., Silver, L. T., Salas, G. A., 1980,** Distribution and U-Pb isotopes ages of some lineated plutons, northwestern Mexico, Geological Society of America, Memoir 153, p. 269-283.
- Camus Francisco; 1975.** Geology of the El Teniente orebody with emphasis on wall-rock alteration: Economic Geology, v. 70 pp. 1341-1372.
- D. F. Coolbaugh, Amador Osoria Hernández, Ariel Echavarri Pérez, Remigio Martínez Muller.** El Arco Porphyry Copper Deposit, Baja California, Mexico: in Pierce F.W. and Bolm J.G., Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera, Arizona Geological Digest 20, pp. 525-534.
- Grant A. James., 2005,** Isocon Análisis: A brief review of the method and applications: Physics and Chemistry of the Earth, v. 30 p. 997-1004.
- Grant A. James., 1982,** The Isocon Diagram – A simple solution to Gresens' Equation for Metasomatic Alteration: Economic Geology, p 19761-982.
- M.A. Whitbread and C.L. Moore., 2004,** Two lithogeochemical approaches to the identification of alteration patterns at the Elura Zn-Pb-Ag deposit, Cobar, New South Wales, Australia: Use of Pearce Element Ratio analysis and isocon analysis. Geochemistry Exploration, Environment, Analysis Vol. 4 2004, pp. 129-141.
- Meinert L., 1982,** Skarn, Manto, and Breccia pipe Formation in sedimentary rocks of the Cananea Mining District, Sonora, Mexico. PhD. Thesis. Stanford University.
- Morales Arellano, Rubén; 2004,** Caracterización Geoquímica y Estudio de Inclusiones Fluidas del Prospecto El Alacrán, Cananea, Sonora, México. Tesis Maestría. Universidad de Sonora. 109 pp.
- Ochoa H., y Echavarri A., 1978,** Observaciones Preliminares sobre la Secuencia de las Intrusiones Hipabisales en le Tajo Colorada-Veta del Distrito Minero de Cananea: Dept. Geol. Univ. Sonora, Bol., v. 1, p.57-60.
- Ochoa H. y Navarro M. A., 1980,** Historia Geológica y Tectónica del Distrito de Cananea y Alteración y Mineralización de los Tajos Colorada-Veta y Kino: Dept. Geol. Univ. Sonora, Bol., v. II, No 2, p. 150-184.

- Pearce, T.H., 1968.**,A contribution to the theory of variations diagrams: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 19 p. 142-157.
- Rollinson Hugh R., 1992.** Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, PP. 352.
- Seagart, W. E., Sell, J. D., Kilpatrick, B. E., 1974,** Geology and mineralization of La Caridad porphyry copper deposit, Sonora, Mexico. Economic Geology, v..67 pp. 1069-1077.
- Sillitoe, R.H., 1975,** Subduction and porphyry copper deposits in Southwestern North America – a reply to recent objections: Economic Geology, v. 70, p. 1474 - 1477.
- Valencia, M.M., Ruiz, J., Barton M.D., Patchett, P.J., Zurcher, L., Hodkinson, D.G., and Roldan-Quintana, 2001,** A Chemical and isotopic study of the Laramide granitic belt of northwestern Mexico; identification of the southern edge of the North American Precambrian basement: Geological Society of America Bulletin. V. 113, p. 1409-1422.
- Valentine W.G., 1936,** Geology of the Cananea Mountains, Sonora, Mexico; Geological Society of America, Bulletin, Vol. 47, pp. 53-86
- Víctor A. Valencia, Benito Noguez-Alcántara, Fernando Barra, Joaquín Ruiz, George Gehrels, Francisco Quintanar, and Martín Valencia- Moreno. 2006.** Re-Os molybdenite and LA-ICPMS-MC U-Pb Zircon geochronology for the Milpillas porphyry copper deposits: insights for the timing of mineralization in the Cananea District, Sonora, Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 2006, pp. 1-15.
- Wodzicki, W.A., 1995,** The Evolution of Laramide Igneous rocks and porphyry copper mineralization in the Cananea district, Sonora, Mexico. Thesis Doctoral, University of Arizona, 183 pp.
- Wodzicki, W.A., 1992,** The Geology of the Maria Deposit, Sonora, Mexico. p. 401-405.

VII.- Anexos

Calculo de Pérdidas y Ganancias

Mina Maria

	GDM-14-04	GDM-08-04						Densidades
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Xa
SiO2(%)	67,48	66,08	1,02118644	0,99960324	61,7328925	-5,74710746	-8,51675676	2,68544073
Al2O3(%)	15,57	16,4	0,94939024	0,92932449	15,3211174	-0,2488826	-1,59847529	Xb
TiO2(%)	0,5	0,56	0,89285714	0,87398624	0,52316011	0,02316011	4,63202125	2,74342413
Zr	145,5	151,5	0,96039604	0,94009767	141,533493	-3,96650697	-2,72612163	D a/b
Fe2O3(%)	3,62	4,1	0,88292683	0,86426581	3,83027935	0,21027935	5,80882181	0,97886459
CaO(%)	3,04	2,91	1,04467354	1,02259393	2,71856412	-0,32143588	-10,5735486	
MgO(%)	1,38	1,28	1,078125	1,05533838	1,19579453	-0,18420547	-13,3482226	
Na2O(%)	3,53	3,64	0,96978022	0,94928351	3,40054069	-0,12945931	-3,66740253	
K2O(%)	3,61	3,15	1,14603175	1,12180989	2,9427756	-0,6672244	-18,4826704	
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	0,97886459	0,00934214	-0,00065786	-6,57855245	
MnO(%)	0,05	0,07	0,71428571	0,69918899	0,06539501	0,01539501	30,7900266	
P2O5(%)	0,13	0,19	0,68421053	0,66974945	0,17750075	0,04750075	36,5390387	
SrO(%)	0,04	0,05	0,8	0,78309167	0,04671072	0,00671072	16,7768094	
BaO(%)	0,08	0,1	0,8	0,78309167	0,09342145	0,01342145	16,7768094	
LoI(%)	0,5	1,4	0,35714286	0,3495945	1,30790027	0,80790027	161,580053	
Promedio de R a/b		Xa	Sin Alteracion				Perdidas y ganancias	
0,93421448		Xb	Alterada				Muestra alterada	
							Muestra no alterada	

	GDM-14-04	GDM-13-04	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc- Xa)	Xn/Xa %	Densidades
	Xa	Xb						Xa
SiO2(%)	67,48	66,64	1,01260504	1,01928665	59,5577131	-7,9222869	-11,7401999	Xa
Al2O3(%)	15,57	16,25	0,95815385	0,96447616	14,5230018	-1,04699823	-6,72445878	Xb
TiO2(%)	0,5	0,58	0,86206897	0,86775727	0,51835945	0,01835945	3,67188955	2,66783718
Zr	145,5	169	0,86094675	0,86662765	151,039218	5,53921839	3,80702295	D a/b
Fe2O3(%)	3,62	3,96	0,91414141	0,92017332	3,53914382	-0,08085618	-2,23359626	1,00659843
CaO(%)	3,04	3,47	0,87608069	0,88186145	3,10121945	0,06121945	2,01379785	
MgO(%)	1,38	1,13	1,22123894	1,2292972	1,0099072	-0,3700928	-26,8183188	
Na2O(%)	3,53	3,82	0,92408377	0,93018128	3,41402257	-0,11597743	-3,28547962	
K2O(%)	3,61	3,3	1,09393939	1,10115768	2,94928651	-0,66071349	-18,3023127	
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	1,00659843	0,00893723	-0,00106277	-10,6276814	
MnO(%)	0,05	0,06	0,83333333	0,83883203	0,05362339	0,00362339	7,24678229	
P2O5(%)	0,13	0,2	0,65	0,65428898	0,17874464	0,04874464	37,4958747	
SrO(%)	0,04	0,06	0,66666667	0,67106562	0,05362339	0,01362339	34,0584779	
BaO(%)	0,08	0,1	0,8	0,80527875	0,08937232	0,00937232	11,7153982	
Lol(%)	0,5	0,64	0,78125	0,78640503	0,57198284	0,07198284	14,3965678	
Promedio de R a/b			Xa	Sin Alteracion				Perdidas y ganacias
0,89372319			Xb	Alterada				Muestra alterada
								Muestra no alterada

	GDM-14-04	GDM-04-04						Densidades
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Xa
SiO2(%)	67,48	67,06	1,00626305	1,00517236	60,6068129	-6,87318714	-10,1855174	2,68544073
Al2O3(%)	15,57	16,49	0,94420861	0,94318518	14,9031665	-0,66683352	-4,28281003	Xb
TiO2(%)	0,5	0,57	0,87719298	0,87624219	0,51514887	0,01514887	3,02977432	2,68835464
Zr	145,5	163,5	0,88990826	0,88894369	147,766387	2,26638686	1,5576542	D a/b
Fe2O3(%)	3,62	3,24	1,11728395	1,11607293	2,92821464	-0,69178536	-19,1100929	0,9989161
CaO(%)	3,04	2,83	1,07420495	1,07304062	2,55766896	-0,48233104	-15,8661527	
MgO(%)	1,38	1,12	1,23214286	1,23080734	1,01222234	-0,36777766	-26,6505548	
Na2O(%)	3,53	3,77	0,93633952	0,93532462	3,40721271	-0,12278729	-3,47839342	
K2O(%)	3,61	3,22	1,12111801	1,11990283	2,91013924	-0,69986076	-19,3867247	
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	0,9989161	0,0090377	-0,0009623	-9,62300498	
MnO(%)	0,05	0,07	0,71428571	0,7135115	0,0632639	0,0132639	26,527793	
P2O5(%)	0,13	0,17	0,76470588	0,76387702	0,15364089	0,02364089	18,1853012	
SrO(%)	0,04	0,06	0,66666667	0,66594407	0,0542262	0,0142262	35,5654925	
BaO(%)	0,08	0,1	0,8	0,79913288	0,090377	0,010377	12,9712438	
LoI(%)	0,5	1,27	0,39370079	0,39327406	1,14778784	0,64778784	129,557567	
Promedio de R a/b			Xa	Sin Alteracion			Perdidas y ganancias	
0,90376995			Xb	Alterada			Muestra alterada	
							Muestra no alterada	

	GDM-14-04	GDM-12-04	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	
	Xa	Xb						
SiO2(%)	67,48	67,5	0,9997037	0,99763574	61,2062647	-6,2737353	-9,29717739	
Al2O3(%)	15,57	16,29	0,9558011	0,95382396	14,7711119	-0,79888812	-5,13094489	
TiO2(%)	0,5	0,61	0,81967213	0,81797658	0,55312328	0,05312328	10,6246562	
Zr	145,5	154	0,94480519	0,94285079	139,640959	-5,85904055	-4,02683199	
Fe2O3(%)	3,62	2,12	1,70754717	1,70401498	1,92233009	-1,69766991	-46,8969588	
CaO(%)	3,04	1,17	2,5982906	2,59291584	1,06090859	-1,97909141	-65,1016912	
MgO(%)	1,38	0,86	1,60465116	1,60133182	0,77981315	-0,60018685	-43,4918007	
Na2O(%)	3,53	3	1,17666667	1,17423264	2,72027843	-0,80972157	-22,9382881	
K2O(%)	3,61	4,18	0,86363636	0,86184987	3,79025461	0,18025461	4,9932026	
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	0,99793142	0,00906759	-0,00093241	-9,3240523	
MnO(%)	0,05	0,03	1,66666667	1,66321904	0,02720278	-0,02279722	-45,5944314	
P2O5(%)	0,13	0,1	1,3	1,29731085	0,09067595	-0,03932405	-30,249271	
SrO(%)	0,04	0,05	0,8	0,79834514	0,04533797	0,00533797	13,3449346	
BaO(%)	0,08	0,13	0,61538462	0,61411165	0,11787873	0,03787873	47,348415	
LoI(%)	0,5	3,21	0,15576324	0,15544103	2,91069792	2,41069792	482,139584	
Promedio de R a/b		Xa	Sin Alteracion				Perdidas y ganancias	
0,90675948		Xb	Alterada				Muestra alterada	
							Muestra no alterada	

Densidades
Xa
2,68544073
Xb
2,69100728
D a/b
0,99793142

	GDM-14-04	GDM-10-04						Densidades
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Xa
SiO2(%)	67,48	71,06	0,94962004	0,98057994	70,3060468	2,82604682	4,18797691	2,68544073
Al2O3(%)	15,57	14,5	1,0737931	1,10880135	14,3461537	-1,22384634	-7,8602848	Xb
TiO2(%)	0,5	0,53	0,94339623	0,97415322	0,52437665	0,02437665	4,87533018	2,60065316
Zr	145,5	153	0,95098039	0,98198465	151,376656	5,87665582	4,03893871	D a/b
Fe2O3(%)	3,62	1,13	3,20353982	3,30798295	1,1180106	-2,5019894	-69,1157294	1,03260241
CaO(%)	3,04	0,11	27,6363636	28,5373757	0,10883289	-2,93116711	-96,4199707	
MgO(%)	1,38	0,24	5,75	5,93746387	0,23745358	-1,14254642	-82,793219	
Na2O(%)	3,53	0,44	8,02272727	8,28428753	0,43533156	-3,09466844	-87,6676612	
K2O(%)	3,61	9,37	0,38527215	0,39783295	9,27058343	5,66058343	156,802865	
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	1,03260241	0,0098939	-0,0001061	-1,06100927	
MnO(%)	0,05	0,01	5	5,16301206	0,0098939	-0,0401061	-80,2122019	
P2O5(%)	0,13	0,16	0,8125	0,83898946	0,15830239	0,02830239	21,7710655	
SrO(%)	0,04	0,02	2	2,06520482	0,0197878	-0,0202122	-50,5305046	
BaO(%)	0,08	0,23	0,34782609	0,35916606	0,22755968	0,14755968	184,449598	
Lol(%)	0,5	1,2	0,41666667	0,430251	1,18726789	0,68726789	137,453578	
Promedio de R a/b		Xa	Sin Alteracion				Perdidas y ganancias	
0,98938991		Xb	Alterada				Muestra alterada	
							Muestra no alterada	

	GDM-14-04	POFM-06-04						Densidades
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Xa
SiO2(%)	67,48	76,18	0,8857968	0,89911133	128,751749	61,2717487	90,7998647	2,68544073
Al2O3(%)	15,57	12,61	1,23473434	1,2532938	21,3121495	5,74214953	36,8795731	Xb
TiO2(%)	0,5	0,22	2,27272727	2,30688895	0,3718218	-0,1281782	-25,63564	2,64567325
Zr	145,5	93,1	1,56283566	1,58632686	157,348225	11,8482253	8,14311018	D a/b
Fe2O3(%)	3,62	0,97	3,73195876	3,78805435	1,63939612	-1,98060388	-54,7128144	1,01503114
CaO(%)	3,04	0,33	9,21212121	9,35058987	0,5577327	-2,4822673	-81,6535296	
MgO(%)	1,38	0,07	19,7142857	20,0106139	0,11830694	-1,26189306	-91,4270336	
Na2O(%)	3,53	3,04	1,16118421	1,17863813	5,13790123	1,60790123	45,54961	
K2O(%)	3,61	4,53	0,79690949	0,80888795	7,65614888	4,04614888	112,081686	
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	1,01503114	0,01690099	0,00690099	69,009909	
MnO(%)	0,05	0,01	5	5,07515569	0,01690099	-0,03309901	-66,1980182	
P2O5(%)	0,13	0,02	6,5	6,59770239	0,03380198	-0,09619802	-73,9984755	
SrO(%)	0,04	0,01	4	4,06012455	0,01690099	-0,02309901	-57,7475227	
BaO(%)	0,08	0,09	0,88888889	0,9022499	0,15210892	0,07210892	90,1361477	
LoI(%)	0,5	0,81	0,61728395	0,62656243	1,36898026	0,86898026	173,796053	
Promedio de R a/b			Xa	Sin Alteracion				Perdidas y ganancias
1,69009909			Xb	Alterada				Muestra alterada
								Muestra no alterada

	GDM-14-04 M072-300M		Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Densidades	
	Xa	Xb						Xa	Xb
SiO2(%)	67,48	64,19	1,05125409	0,98935485	65,619151	-1,86084905	-2,75763048	2,68544073	
Al2O3(%)	15,57	16,48	0,94478155	0,88915156	16,8469171	1,27691709	8,20113735	Xb	
TiO2(%)	0,5	0,47	1,06382979	1,00119008	0,48046426	-0,01953574	-3,90714769	2,853456	
Zr	145,5	137,5	1,05818182	0,99587467	140,561353	-4,93864689	-3,39425903	Da/b	
Fe2O3(%)	3,62	1,15	3,14782609	2,96247791	1,17560404	-2,44439596	-67,5247502	0,94111867	
CaO(%)	3,04	3,71	0,81940701	0,77115924	3,79260087	0,75260087	24,7566077		
MgO(%)	1,38	0,52	2,65384615	2,49758417	0,53157748	-0,84842252	-61,4798927		
Na2O(%)	3,53	2,21	1,59728507	1,50323481	2,25920429	-1,27079571	-35,9998784		
K2O(%)	3,61	6,58	0,54863222	0,51632803	6,72649966	3,11649966	86,3296305		
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	0,94111867	0,01022264	0,00022264	2,22643863		
MnO(%)	0,05	0,05	1	0,94111867	0,05111322	0,00111322	2,22643863		
P2O5(%)	0,13	0,18	0,72222222	0,67969682	0,18400759	0,05400759	41,5442996		
SrO(%)	0,04	0,02	2	1,88223735	0,02044529	-0,01955471	-48,8867807		
BaO(%)	0,08	0,18	0,44444444	0,41827497	0,18400759	0,10400759	130,009487		
Lol(%)	0,5	4,41	0,11337868	0,1067028	4,50818594	4,00818594	801,637189		
Promedio de R a/b		Xa	Sin Alteracion				Perdidas y ganancias		
1,02226439		Xb	Alterada				Muestra alterada		
							Muestra no alterada		

Calculo de Pérdidas y Ganancias

Mina Maria

	GDL-22-05	GDL-17-04						Densidades
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Xa
SiO2(%)	73,62	65,74	1,11986614	1,12133102	41,0106086	-32,6093914	-44,2942019	2,64896517
Al2O3(%)	13,92	15,52	0,89690722	0,89808045	9,68184735	-4,23815265	-30,4464989	Xb
TiO2(%)	0,31	0,65	0,47692308	0,47754694	0,40548974	0,09548974	30,8031422	2,64550462
Zr	85,1	171,0	0,49766082	0,4983118	106,674993	21,5749934	25,3525187	D a/b
Fe2O3(%)	1,84	4,8	0,38333333	0,38383477	2,99438578	1,15438578	62,7383576	1,00130809
CaO(%)	1,48	2,21	0,66968326	0,67055926	1,37866512	-0,10133488	-6,8469514	
MgO(%)	0,67	1,94	0,34536082	0,34581259	1,21023092	0,54023092	80,6314805	
Na2O(%)	2,97	3,14	0,94585987	0,94709714	1,95882736	-1,01117264	-34,0462167	
K2O(%)	4,59	3,48	1,31896552	1,32069084	2,17092969	-2,41907031	-52,7030569	
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	1,00130809	0,0062383	-0,0037617	-37,6169629	
MnO(%)	0,01	0,03	0,33333333	0,33376936	0,01871491	0,00871491	87,1491112	
P2O5(%)	0,06	0,17	0,35294118	0,35340286	0,10605116	0,04605116	76,7519384	
SrO(%)	0,02	0,04	0,5	0,50065404	0,02495321	0,00495321	24,7660741	
BaO(%)	0,06	0,09	0,66666667	0,66753873	0,05614473	-0,00385527	-6,42544439	
Lol(%)	0,64	1,95	0,32820513	0,32863445	1,21646922	0,57646922	90,0733161	
Promedio de R a/b			Xa	Sin Alteracion			Perdidas y ganancias	
0,62383037			Xb	Alterada			Muestra alterada	
							Muestra no alterada	

	GDL-22-05	GDL-18-04						Densidades
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Xa
SiO2(%)	73,62	65,5	1,12396947	1,19205274	46,6053434	-27,0146566	-36,6947251	2,64896517
Al2O3(%)	13,92	17,78	0,78290214	0,83032562	12,6510383	-1,26896175	-9,1161045	Xb
TiO2(%)	0,31	0,44	0,70454545	0,74722256	0,31307406	0,00307406	0,99163307	2,49767134
Zr	85,1	131,5	0,64714829	0,68634862	93,5664528	8,46645277	9,94882817	Da/b
Fe2O3(%)	1,84	0,98	1,87755102	1,99128171	0,69730132	-1,14269868	-62,1031891	1,06057396
CaO(%)	1,48	0,05	29,6	31,3929891	0,0355766	-1,4444234	-97,5961758	
MgO(%)	0,67	0,34	1,97058824	2,08995456	0,24192087	-0,42807913	-63,892408	
Na2O(%)	2,97	0,09	33	34,9989406	0,06403788	-2,90596212	-97,8438425	
K2O(%)	4,59	4,76	0,96428571	1,02269632	3,38689213	-1,20310787	-26,2115004	
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	1,06057396	0,00711532	-0,00288468	-28,846804	
MnO(%)	0,01	0,01	1	1,06057396	0,00711532	-0,00288468	-28,846804	
P2O5(%)	0,06	0,08	0,75	0,79543047	0,05692256	-0,00307744	-5,12907197	
SrO(%)	0,02	0,02	1	1,06057396	0,01423064	-0,00576936	-28,846804	
BaO(%)	0,06	0,03	2	2,12114791	0,02134596	-0,03865404	-64,423402	
LoI(%)	0,64	7,1	0,09014085	0,09560103	5,05187692	4,41187692	689,355768	
Promedio de R a/b			Xa	Sin Alteracion				Perdidas y ganancias
0,71153196			Xb	Alterada				Muestra alterada
								Muestra no alterada

	GDL-22-05		GDL-20-04		Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Densidades	
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b				Xa	Xb
SiO2(%)	73,62	64,58	1,13998142	1,08246815	43,5362731	-30,0837269	-40,8635247	2,64896517	
Al2O3(%)	13,92	15,88	0,87657431	0,8323502	10,7054199	-3,2145801	-23,0932479	Xb	
TiO2(%)	0,31	0,47	0,65957447	0,62629824	0,31684807	0,00684807	2,20905485	2,78970895	
Zr	85,1	175	0,48628571	0,46175208	117,975345	32,8753452	38,631428	D a/b	
Fe2O3(%)	1,84	4,79	0,38413361	0,36475366	3,22915374	1,38915374	75,4974856	0,94954894	
CaO(%)	1,48	1,07	1,38317757	1,3133948	0,72133497	-0,75866503	-51,2611508		
MgO(%)	0,67	1,29	0,51937984	0,49317658	0,86964683	0,19964683	29,7980344		
Na2O(%)	2,97	3,02	0,98344371	0,93382793	2,03591739	-0,93408261	-31,4505931		
K2O(%)	4,59	3,75	1,224	1,1622479	2,52804311	-2,06195689	-44,922808		
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	0,94954894	0,00674145	-0,00325855	-32,585517		
MnO(%)	0,01	0,21	0,04761905	0,04521662	0,14157041	0,13157041	1315,70414		
P2O5(%)	0,06	0,14	0,42857143	0,40694955	0,09438028	0,03438028	57,3004603		
SrO(%)	0,02	0,02	1	0,94954894	0,0134829	-0,0065171	-32,585517		
BaO(%)	0,06	0,1	0,6	0,56972936	0,06741448	0,00741448	12,3574716		
Lol(%)	0,64	3,05	0,20983607	0,19924961	2,05614173	1,41614173	221,272145		
Promedio de R a/b		Xa	Sin Alteracion			Perdidas y ganancias			
0,67414483		Xb	Alterada			Muestra alterada			
						Muestra no alterada			

	GDL-22-05	GDL-19-04						Densidades	
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Xa	
SiO2(%)	73,62	66,33	1,10990502	1,09364282	40,0057542	-33,6142458	-45,6591222	2,64896517	
Al2O3(%)	13,92	15,87	0,87712665	0,8642751	9,57170691	-4,34829309	-31,2377377	Xb	
TiO2(%)	0,31	0,64	0,484375	0,47727799	0,38600456	0,07600456	24,5176011	2,68835464	
Zr	85,1	190	0,44789474	0,44133223	114,595105	29,4951048	34,6593475	D a/b	
Fe2O3(%)	1,84	3,52	0,52272727	0,51506833	2,1230251	0,2830251	15,3817988	0,98534812	
CaO(%)	1,48	0,05	29,6	29,1663042	0,03015661	-1,44984339	-97,9623915		
MgO(%)	0,67	0,98	0,68367347	0,67365636	0,59106949	-0,07893051	-11,7806735		
Na2O(%)	2,97	0,01	297	292,64839	0,00603132	-2,96396868	-99,7969252		
K2O(%)	4,59	4,43	1,03611738	1,02093631	2,67187534	-1,91812466	-41,7892083		
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	0,98534812	0,00603132	-0,00396868	-39,686787		
MnO(%)	0,01	0,01	1	0,98534812	0,00603132	-0,00396868	-39,686787		
P2O5(%)	0,06	0,06	1	0,98534812	0,03618793	-0,02381207	-39,686787		
SrO(%)	0,02	0,02	1	0,98534812	0,01206264	-0,00793736	-39,686787		
BaO(%)	0,06	0,25	0,24	0,23648355	0,15078303	0,09078303	151,305054		
LoI(%)	0,64	3,93	0,16284987	0,16046382	2,37030927	1,73030927	270,360824		
Promedio de R a/b		Xa	Sin Alteracion			Perdidas y ganancias			
0,60313213		Xb	Alterada			Muestra alterada			
						Muestra no alterada			

	GDL-22-05	GDL-16-04						Densidades	
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Xa	
SiO2(%)	73,62	72,54	1,01488834	1,0107328	48,2923775	-25,3276225	-34,4031818	2,64896517	
Al2O3(%)	13,92	16,26	0,85608856	0,85258324	10,8248423	-3,09515773	-22,2353285	Xb	
TiO2(%)	0,31	0,53	0,58490566	0,58251072	0,35283926	0,04283926	13,8191169	2,65985617	
Zr	85,1	153	0,55620915	0,55393171	101,857372	16,757372	19,6913889	D a/b	
Fe2O3(%)	1,84	0,46	4	3,98362168	0,30623785	-1,53376215	-83,3566386	0,99590542	
CaO(%)	1,48	1,65	0,8969697	0,89329698	1,09846185	-0,38153815	-25,7796044		
MgO(%)	0,67	0,17	3,94117647	3,92503901	0,11317486	-0,55682514	-83,1082302		
Na2O(%)	2,97	5,57	0,53321364	0,53103036	3,70814093	0,73814093	24,8532299		
K2O(%)	4,59	0,73	6,28767123	6,26192586	0,48598615	-4,10401385	-89,4120664		
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	0,99590542	0,00665734	-0,00334266	-33,4265543		
MnO(%)	0,01	0,01	1	0,99590542	0,00665734	-0,00334266	-33,4265543		
P2O5(%)	0,06	0,02	3	2,98771626	0,01331469	-0,04668531	-77,8088514		
SrO(%)	0,02	0,04	0,5	0,49795271	0,02662938	0,00662938	33,1468914		
BaO(%)	0,06	0,03	2	1,99181084	0,01997203	-0,04002797	-66,7132771		
LoI(%)	0,64	1,56	0,41025641	0,40857658	1,03854575	0,39854575	62,2727739		
Promedio de R a/b			Xa	Sin Alteracion				Perdidas y ganancias	
0,66573446			Xb	Alterada				Muestra alterada	
								Muestra no alterada	

	GDL-22-05	GDL-21-05						Densidades
	Xa	Xb	Ra/b	Ra/bDa/b	Xb rc	Xn=(Xb rc-Xa)	Xn/Xa %	Xa
SiO2(%)	73,62	67,36	1,09293349	1,11393491	47,7722937	-25,8477063	-35,1096255	2,64896517
Al2O3(%)	13,92	15,81	0,88045541	0,89737392	11,2125885	-2,70741146	-19,449795	Xb
TiO2(%)	0,31	0,55	0,56363636	0,574467	0,39006475	0,08006475	25,8273387	2,59902328
Zr	85,1	124,5	0,68353414	0,69666868	88,2964752	3,19647519	3,75614006	D a/b
Fe2O3(%)	1,84	3,8	0,48421053	0,49351494	2,69499282	0,85499282	46,4670009	1,01921564
CaO(%)	1,48	1,66	0,89156627	0,90869828	1,17728634	-0,30271366	-20,453626	
MgO(%)	0,67	1,58	0,42405063	0,43219904	1,12054964	0,45054964	67,2462157	
Na2O(%)	2,97	3,19	0,93103448	0,94892491	2,26237555	-0,70762445	-23,8257391	
K2O(%)	4,59	3,86	1,18911917	1,21196886	2,73754534	-1,85245466	-40,3584894	
Cr2O3(%)	0,01	0,01	1	1,01921564	0,00709209	-0,00290791	-29,0791364	
MnO(%)	0,01	0,07	0,14285714	0,14560223	0,0496446	0,0396446	396,446045	
P2O5(%)	0,06	0,13	0,46153846	0,47040722	0,09219712	0,03219712	53,6618711	
SrO(%)	0,02	0,03	0,66666667	0,67947709	0,02127626	0,00127626	6,38129541	
BaO(%)	0,06	0,09	0,66666667	0,67947709	0,06382878	0,00382878	6,38129541	
LoI(%)	0,64	1,78	0,35955056	0,36645956	1,26239137	0,62239137	97,2486519	
Promedio de R a/b			Xa	Sin Alteracion			Perdidas y ganancias	
0,70920864			Xb	Alterada			Muestra alterada	
							Muestra no alterada	

Tablas
Resultados de Análisis

Muestras	GDL-17-04	VM-05-04	LC-02-04	GDL-18-04	LC-03-04	PQFM-06-04
Ag(ppm)	1	1	1	1	1	1
Ba(ppm)	894	1125	142	167,5	799	828
Ce(ppm)	77,4	75,1	20,5	87,1	56	35,3
Co(ppm)	10,8	0,7	49	1,1	34,3	0,8
Cr(ppm)	20	10	360	10	110	10
Cs(ppm)	11	1,4	21,7	4	22,7	2,5
Cu(ppm)	154	116	40	3550	102	41
Dy(ppm)	2,4	7,1	4	0,7	5,5	1,7
Er(ppm)	1,3	4,7	2,5	0,4	3	1,3
Eu(ppm)	1	1,6	1,3	0,5	1,8	0,4
Ga(ppm)	20	14	18	22	20	12
Gd(ppm)	3,9	6,7	3,7	2,3	6,6	1,7
Hf(ppm)	5	8	2	4	4	3
Ho(ppm)	0,4	1,6	0,9	0,1	1,1	0,4
La(ppm)	40,1	33,6	9,4	56,8	25,8	17,3
Lu(ppm)	0,2	0,7	0,3	0,1	0,4	0,3
Mo(ppm)	6	2	2	1545	2	4
Nb(ppm)	11	15	3	8	8	12
Nd(ppm)	27,9	34,3	11,8	27,5	31,6	11,2
Ni(ppm)	23	5	209	5	43	5
Pb(ppm)	14	21	5	184	10	22
Pr(ppm)	8,2	9,1	2,7	8,6	7,6	3,6
Rb(ppm)	207	163	191	205	223	180,5
Sm(ppm)	4,7	7,1	3,3	3,8	7	2
Sn(ppm)	1	2	2	5	2	1
Sr(ppm)	394	105	242	168	410	79,8
Ta(ppm)	1,2	1,1	0,5	0,6	0,5	1,1
Tb(ppm)	0,5	1,1	0,6	0,2	1	0,3
Th(ppm)	26	17	1	16	3	19
Ti(ppm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Tm(ppm)	0,2	0,7	0,3	0,1	0,4	0,2
U(ppm)	11	5,8	0,5	4,1	1	2,4
V(ppm)	96	44	238	68	295	24
W(ppm)	4	4	3	59	2	3
Y(ppm)	14	44,3	23,8	4,2	29,9	12,3
Yb(ppm)	1,3	4,8	2,3	0,5	2,8	1,6
Zn(ppm)	336	72	83	12	99	24
Zr(ppm)	171,0	258	68,4	131,5	138,5	93,1
SiO2(%)	65,74	70,15	45,57	65,5	48,73	76,18
Al2O3(%)	15,52	15,02	15,84	17,78	17,49	12,61
Fe2O3(%)	4,8	2,1	11,63	0,98	11,4	0,97
CaO(%)	2,21	0,68	9,54	0,05	6,54	0,33
MgO(%)	1,94	0,15	9,54	0,34	6,37	0,07
Na2(%)	3,14	4,04	1,89	0,09	3,3	3,04
K2O(%)	3,48	5,17	2,16	4,76	2,58	4,53
Cr2O3(%)	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01
TiO2(%)	0,65	0,52	1,06	0,44	1,26	0,22
MnO(%)	0,03	0,02	0,24	0,01	0,21	0,01
P2O5(%)	0,17	0,11	0,13	0,08	0,4	0,02
SrO(%)	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01
BaO(%)	0,09	0,11	0,02	0,03	0,09	0,09
LoI(%)	1,95	0,76	1,04	7,1	0,79	0,81
Total(%)	99,77	98,82	98,71	97,15	99,2	98,87

Muestras	GDL-20-04	GDL-19-04	GDL-16-04	GDM-10-04	GDM-12-04	VM-07-04
Ag(ppm)	1	1	1	1	1	1
Ba(ppm)	909	2130	222	2150	1175	1180
Ce(ppm)	65,5	134,5	48,5	56,3	65,6	106,5
Co(ppm)	36,6	2,2	1,3	0,8	2,7	1,7
Cr(ppm)	10	10	10	10	10	10
Cs(ppm)	7,8	7,4	6,8	5,3	4,4	4
Cu(ppm)	31	6780	155	92	487	126
Dy(ppm)	1,7	1,4	2,4	2,1	1,8	7,9
Er(ppm)	0,9	0,7	2	1	0,8	4,8
Eu(ppm)	0,9	0,8	1,1	1,1	1,1	1,8
Ga(ppm)	20	24	18	13	21	15
Gd(ppm)	3,2	3,9	2,4	3,6	3,6	8,6
Hf(ppm)	5	6	5	5	5	7
Ho(ppm)	0,3	0,2	0,6	0,4	0,3	1,6
La(ppm)	35	84,6	36,9	28,3	34,9	48,2
Lu(ppm)	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,7
Mo(ppm)	3	347	3	41	19	2
Nb(ppm)	9	11	11	11	10	15
Nd(ppm)	22,8	39,2	14,3	23,9	26,3	47,8
Ni(ppm)	31	5	5	5	5	5
Pb(ppm)	31	176	18	37	18	27
Pr(ppm)	6,7	13,1	4,2	6,5	7,4	12,8
Rb(ppm)	183,5	338	48,9	441	213	223
Sm(ppm)	3,6	4,9	2,4	4,5	4,6	9,3
Sn(ppm)	1	4	2	3	3	3
Sr(ppm)	278	238	407	226	486	103,5
Ta(ppm)	0,9	1	1,5	0,8	0,8	1
Tb(ppm)	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	1,3
Th(ppm)	19	15	28	15	13	17
Ti(ppm)	0,5	1	0,5	1,1	0,5	0,8
Tm(ppm)	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,7
U(ppm)	33,7	5,3	10,6	9,5	6,8	4,5
V(ppm)	87	67	16	35	55	223
W(ppm)	3	40	45	751	15	3
Y(ppm)	9,4	8,2	16,5	10,9	8,3	45,5
Yb(ppm)	0,9	0,7	2,9	0,9	0,7	4,8
Zn(ppm)	836	23	17	64	128	84
Zr(ppm)	175	190	153	153	154	246
SiO2(%)	64,58	66,33	72,54	71,06	67,5	70,35
Al2O3(%)	15,88	15,87	16,26	14,5	16,29	14,78
Fe2O3(%)	4,79	3,52	0,46	1,13	2,12	2,44
CaO(%)	1,07	0,05	1,65	0,11	1,17	0,48
MgO(%)	1,29	0,98	0,17	0,24	0,86	0,55
Na2(%)	3,02	0,01	5,57	0,44	3	3,22
K2O(%)	3,75	4,43	0,73	9,37	4,18	4,92
Cr2O3(%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
TiO2(%)	0,47	0,64	0,53	0,53	0,61	0,55
MnO(%)	0,21	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02
P2O5(%)	0,14	0,06	0,02	0,16	0,1	0,12
SrO(%)	0,02	0,02	0,04	0,02	0,05	0,01
BaO(%)	0,1	0,25	0,03	0,23	0,13	0,14
LoI(%)	3,05	3,93	1,56	1,2	3,21	1,43
Total(%)	98,38	96,08	99,57	99	99,25	99

Muestras	DBM-09-04	GDL-14-04	GDM-04-04	LC-1-04	GDM-13-04	GDM-08-04
Ag(ppm)	1	1	1	1	1	1
Ba(ppm)	1240	846	983	217	988	990
Ce(ppm)	149	61,1	54,3	34,2	71,3	72,5
Co(ppm)	14,6	9,4	5,3	28,7	5,5	5,5
Cr(ppm)	10	10	10	40	10	10
Cs(ppm)	6,9	11,4	3,7	20,1	4,8	5
Cu(ppm)	100	21	1085	26	7	932
Dy(ppm)	11,6	2,5	2,3	3,8	2,5	2,9
Er(ppm)	6,7	1,5	1,2	2,2	1,2	1,4
Eu(ppm)	2,7	1	1,2	1,5	1,2	1,4
Ga(ppm)	23	20	21	22	21	22
Gd(ppm)	14,4	3,5	3,4	4,2	4	4,6
Hf(ppm)	11	5	5	3	5	5
Ho(ppm)	2,4	0,5	0,4	0,8	0,4	0,5
La(ppm)	70,3	32	27,7	16,4	36,2	36
Lu(ppm)	0,9	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Mo(ppm)	2	4	2	2	2	2
Nb(ppm)	24	12	9	3	10	11
Nd(ppm)	71,6	22,2	22,5	18,6	28,4	30,2
Ni(ppm)	8	10	5	70	5	5
Pb(ppm)	14	20	9	6	10	10
Pr(ppm)	18,7	6,6	6,2	4,5	8,1	8,5
Rb(ppm)	170	194,5	158,5	179,5	146,5	147,5
Sm(ppm)	14,8	3,9	4	4,2	4,9	5,2
Sn(ppm)	4	1	1	2	2	4
Sr(ppm)	293	402	602	462	578	571
Ta(ppm)	1,5	1,3	0,7	0,5	0,9	0,9
Tb(ppm)	2,1	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6
Th(ppm)	23	32	13	2	16	17
Ti(ppm)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Tm(ppm)	0,9	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2
U(ppm)	5,6	14,5	4	0,9	4,9	6,3
V(ppm)	178	76	73	277	73	71
W(ppm)	2	3	1	2	1	7
Y(ppm)	66,2	14,8	13	22	13,8	15,8
Yb(ppm)	6,2	1,5	1,1	2,2	1,2	1,4
Zn(ppm)	106	44	49	66	43	111
Zr(ppm)	409	145,5	163,5	86,8	169	151,5
SiO2(%)	52,2	67,48	67,06	45,54	66,64	66,08
Al2O3(%)	17,11	15,57	16,49	20,19	16,25	16,4
Fe2O3(%)	11,1	3,62	3,24	12,28	3,96	4,1
CaO(%)	3,29	3,04	2,83	6,62	3,47	2,91
MgO(%)	2,4	1,38	1,12	6,03	1,13	1,28
Na2(%)	3,45	3,53	3,77	3,09	3,82	3,64
K2O(%)	3,16	3,61	3,22	2,15	3,3	3,15
Cr2O3(%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
TiO2(%)	1,83	0,5	0,57	1,01	0,58	0,56
MnO(%)	0,21	0,05	0,07	0,15	0,06	0,07
P2O5(%)	0,8	0,13	0,17	0,21	0,2	0,19
SrO(%)	0,03	0,04	0,06	0,04	0,06	0,05
BaO(%)	0,13	0,08	0,1	0,03	0,1	0,1
LoI(%)	3,31	0,5	1,27	0,8	0,64	1,4
Total(%)	99,01	99,53	99,96	98,13	100,2	99,91

Muestras	VTM-11-04	TB-05	GDL-21-05	GDL-22-05	PQF-V-1-05	M072-300M
Ag(ppm)	2	1	1	1	1	1
Ba(ppm)	999	550	930	511	1045	1545
Ce(ppm)	21,6	44,7	60,7	66,5	71,7	91,3
Co(ppm)	0,9	2,5	9,8	3,1	1	0,8
Cr(ppm)	10	10	20	10	10	10
Cs(ppm)	9,3	1,8	4	9,6	2,2	7,5
Cu(ppm)	497	8	107	14	273	672
Dy(ppm)	1,1	2,6	2,3	1,4	3,6	2
Er(ppm)	0,6	1,8	1,4	0,7	2	1
Eu(ppm)	0,6	0,6	0,8	0,5	1,1	0,9
Ga(ppm)	27	18	18	16	14	21
Gd(ppm)	1,7	2,6	3,5	2,7	4,1	4
Hf(ppm)	5	5	4	4	4	4
Ho(ppm)	0,2	0,5	0,4	0,2	0,7	0,3
La(ppm)	12	16,5	32,3	36,4	37,9	51,1
Lu(ppm)	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1
Mo(ppm)	6	2	2	2	28	69
Nb(ppm)	10	8	10	12	9	8
Nd(ppm)	9,6	13	23,3	21,3	29	32,7
Ni(ppm)	5	6	15	8	5	9
Pb(ppm)	16	20	33	19	19	18
Pr(ppm)	2,4	3,7	6,6	6,6	7,7	9,4
Rb(ppm)	412	53,1	172	220	160	395
Sm(ppm)	2	2,5	4,1	3	4,8	4,8
Sn(ppm)	16	1	1	1	5	3
Sr(ppm)	151,5	115,5	321	202	98,3	179
Ta(ppm)	0,8	0,8	1	1,7	0,7	0,6
Tb(ppm)	0,2	0,4	0,4	0,3	0,6	0,4
Th(ppm)	9	9	31	47	15	12
Ti(ppm)	1,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8
Tm(ppm)	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1
U(ppm)	7,2	1,6	8	10,1	3,3	5,3
V(ppm)	71	18	77	39	84	69
W(ppm)	78	1	4	2	23	7
Y(ppm)	5,4	17,2	13,8	8,3	23,1	11,2
Yb(ppm)	0,6	1,9	1,4	0,7	1,6	0,9
Zn(ppm)	35	52	104	45	56	51
Zr(ppm)	149,5	171	124,5	85,1	117	137,5
SiO2(%)	66,54	63,55	67,36	73,62	61,1	64,19
Al2O3(%)	16,28	14,36	15,81	13,92	18,79	16,48
Fe2O3(%)	4,04	1,49	3,8	1,84	2,08	1,15
CaO(%)	0,22	1,52	1,66	1,48	0,06	3,71
MgO(%)	0,73	2,46	1,58	0,67	0,58	0,52
Na2(%)	1,02	2,42	3,19	2,97	1,37	2,21
K2O(%)	5,37	2,53	3,86	4,59	3,6	6,58
Cr2O3(%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
TiO2(%)	0,59	0,23	0,55	0,31	0,66	0,47
MnO(%)	0,01	0,07	0,07	0,01	0,01	0,05
P2O5(%)	0,09	0,04	0,13	0,06	0,15	0,18
SrO(%)	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02
BaO(%)	0,11	0,06	0,09	0,06	0,1	0,18
LoI(%)	3,1	10,5	1,78	0,64	11,35	4,41
Total(%)	98,09	99,24	99,91	100,2	99,84	100,15