

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA MINERA
Y METALÚRGICA**



**FACIES DE BRECHA EN EL AREA DE DAFNE
LAGUNAS NORTE – ALTO CHICAMA
Distrito de Quiruvilca, Provincia de Santiago de Chuco
Departamento de La Libertad**

Tesis
Para optar el Título Profesional de:
Ingeniero Geólogo

Presentado por:
José Arturo Macassi García

Lima – Perú

2005

**FACIES DE BRECHA EN EL ÁREA DE DAFNE
LAGUNAS NORTE - ALTO CHICAMA
Distrito de Quiruvilca, Provincia de Santiago de Chuco
Departamento de La Libertad**

	Página
Resumen	1
Agradecimientos	2
1. Generalidades	3
1.1. Planteamiento del problema y objetivo del trabajo	3
1.2. Metodología	3
1.3. Trabajos previos	3
1.4. Generalidades de la zona de estudio	4
1.4.1. Ubicación y accesibilidad	4
1.4.2. Geomorfología	4
1.4.3. Clima	8
1.4.4. Desarrollo reciente del Proyecto Alto Chicama al Yacimiento Lagunas Norte	8
2. Geología Regional (Cuenca Chicama)	9
2.1. Introducción	9
2.2. Estratigrafía	9
2.2.1. Jurásico superior	9
2.2.2. Cretácico inferior	10
2.2.3. Cretáceo medio	13
2.2.4. Rocas Ígneas	13
2.2.5. Cuaternario	15
2.3. Geología Estructural	17
2.4. Metalogenia	19
3. Geología Local (Las Lagunas Norte - Dafne)	22
3.1. Introducción	22
3.2. Estratigrafía	22
3.2.1. Grupo Chicama	22
3.2.2. Formación Chimú	23
3.2.3. Formación Carhuaz	24
3.3. Brechas Pre-emplazamiento del Diatrema Dafne	25
3.3.1. Brecha de Paleosuperficie	25
3.3.2. Brechas Freáticas	26
3.4. Brechas Freatomagmáticas – Diatrema Dafne	27
3.5. Rocas Ígneas Post-emplazamiento del Diatrema Dafne	28
3.5.1. Flujos Félsicos	28
3.5.2. Depósitos Piroclásticos y Depósitos Volcanogénicos	29
3.5.3. Complejo de Flujos/Domos Andesíticos Tempranos	30
3.5.4. Complejo de Flujos/Domos del Shulcahuanga	31

3.6.	Depósitos Cuaternarios	32
3.7.	Geología Estructural	35
3.8.	Alteración Hidrotermal	40
3.9.	Mineralización	43
3.10.	Geoquímica	50
4.	Brechas en el área de Dafne	53
4.1.	Introducción	53
4.1.1.	Descripción de brechas	53
4.1.2.	Definición de facies de brecha	53
4.1.3.	Asociación o agrupación de facies de brecha	54
4.1.4.	Clasificación Genética	54
4.2.	Desarrollo de Brechas	55
4.2.1.	Brecha Monomíctica matriz Polvo de Roca	57
4.2.2.	Brecha Monomíctica matriz Cuarzo Granular	58
4.2.3.	Brecha Polimíctica matriz Polvo de Roca	59
4.2.4.	Brecha Polimíctica matriz Polvo de Roca Retrabajada	65
4.2.5.	Brecha Polimíctica matriz Carbonosa	66
4.2.6.	Brecha Mixta matriz Polvo de Roca	71
5.	Actividad Freática y Freatomagmática en el Diatrema Dafne	76
5.1.	Introducción	76
5.2.	Forma y dimensiones de las zonas de brecha	77
5.3.	Facies de Brecha Monomíctica	80
5.3.1.	Facies Freática en Chicama	80
5.3.2.	Facies Freática en Chimú	81
5.4.	Facies de Brecha Polimíctica	82
5.4.1.	Facies de Brecha Lítica	83
5.4.2.	Facies de Brecha Retrabajada	84
5.4.3.	Facies de Brecha Mixta	85
5.4.4.	Facies de Brecha Carbonosa	86
5.5.	Interpretación de eventos de brechamiento y Secuencia Genética	87
6.	Conclusiones	102
	Referencias Bibliográficas	103
	Anexos	105

**FACIES DE BRECHA EN EL ÁREA DE DAFNE
LAGUNAS NORTE - ALTO CHICAMA
Distrito de Quiruvilca, Provincia de Santiago de Chuco
Departamento de La Libertad**

Resumen

Las diferentes descripciones y clasificaciones de brechas asociadas con sistemas hidrotermales y sistemas tipo pórfido son muy controversiales, enfrentando generalmente a científicos, exploradores y mineros. La identificación, descripción y la interpretación de estas brechas han sido importantes para el descubrimiento y desarrollo de Alto Chicama hoy Las Lagunas Norte.

Las Lagunas Norte es un sistema epitermal de alta sulfuración, se encuentra espacial y temporalmente asociado a un grupo de cuerpos de brecha polimíctica referidos como diatrema, las características y los modos de formación de estas brechas no estaban bien definidos. Las brechas tipo diatrema son producto de un tipo de explosión freatomagmática, en la que un magma se pone en contacto con aguas meteóricas dando como resultado una fragmentación explosiva, cuando el agua es transformada violentamente a vapor. Un componente juvenil magmático es asimilado en la explosión y la transferencia de calor del magma al agua controla la producción de vapor. De otro lado las explosiones freáticas se producen cuando el agua es calentada hasta el punto en que la presión del fluido excede a la presión de confinamiento de las rocas cajas y por lo tanto el agua se convierte a vapor. La fuente de calor en las explosiones freáticas pueden ser fluidos de origen magmático, pero no hay contacto entre el agua y el magma en el lugar de la explosión y no hay incorporación de material magmático en estas explosiones.

Hay evidencia que los procesos freáticos y freatomagmáticos están íntimamente ligados y/o sobre impuestos. Los productos de las explosiones freáticas generalmente preceden a los eventos freatomagmáticos. Hay evidencia de que las explosiones freatomagmáticas modificaron bruscamente la hidrología del sistema hidrotermal, causando amplias explosiones hidrotermales y contribuyendo por lo tanto al desarrollo del sistema hidrotermal. Las brechas observadas en el área de Dafne provienen de estos tipos de actividad freática y freatomagmática, que son la parte principal de este estudio.

Agradecimientos

A Minera Barrick Misquichilca S.A. por haber apoyado el desarrollo de este estudio, en especial a la gente del área de Geología del departamento de Servicios Técnicos de la mina Lagunas Norte.

También quiero agradecer a mi familia, a mis padres, hermanos, tíos y primos por haberme apoyado en la culminación de mis estudios.

1. Generalidades

1.1. Planteamiento del problema y objetivo del trabajo

Minera Barrick Misquichilca se encuentra en etapa de producción en el yacimiento que se conocía como el proyecto Alto Chicama y hoy se denomina Lagunas Norte. Se trata de un sistema epitermal de Alta Sulfuración, donde la ocurrencia de brechas es importante, tanto volumétricamente como en la metalogénesis. Es por eso que el estudio de los procesos de formación, emplazamiento y cronología de las brechas es importante para poder determinar la geometría, la estructura y las relaciones espaciales en el yacimiento.

El objetivo principal del presente estudio es poder interpretar los procesos tectónicos, volcánicos e hidrotermales que participaron en la formación de los cuerpos de brecha desarrolladas en el área de Dafne. Se intentará establecer la cronología de estos eventos y se estudiará las relaciones entre los procesos freáticos, freatomagmáticos y la mineralización.

1.2. Metodología

El estudio se ha desarrollado de la siguiente manera:

- A. Logueo de los sondajes del Proyecto Alto Chicama para determinar los tipos de brechas presentes en el yacimiento.
- B. Mapeo geológico del área de Dafne para determinar la geometría y la distribución areal de los tipos de brecha que se encuentran en el área.
- C. Correlación de sondajes a través de secciones geológicas, para efectuar interpretaciones y determinar los posibles ductos y brechas mayores del depósito.
- D. Desarrollo de un modelo geológico de las brechas en este tipo de yacimiento.

1.3. Trabajos previos

La región de Alto Chicama ha sido trabajada por carbón desde principios del siglo XIX, principalmente para el consumo doméstico. A mayor escala esta actividad comenzó a principios de 1880, con el objeto de abastecer a las fundiciones cupríferas de Agua Agria, San Felipe y Sallapuyo y fundiciones de plata como La Victoria. Entre 1880 y 1931 fue el apogeo de la minería de carbón, periodo durante el cual la compañía minera Northern explotó el yacimiento de Callacuyán (Guerra, 2002).

En 1941 las operaciones de la mina Callacuyán se redujeron solo para el consumo doméstico y al mismo tiempo pequeñas mineras empezaron a operar

en la zona tales como: La Victoria, Julio César, José Antonio, Tres Amigos, Shulcahuanga y Yanahuanga. Posteriormente entre 1970 y 1984 el área de Alto Chicama fue evaluada como parte de un proyecto de generación eléctrica mediante el uso del carbón por *Kopex* y *Universal Engineering Corporation* (1979) (Guerra, 2002).

En el año 1990 la empresa estatal Minero Perú construye un campamento minero para reanudar las operaciones en Callacuyán, las cuales fueron cesadas debido que el carbón tenía un alto contenido de azufre. Entre abril y junio de 1999, Minero Perú, desarrollo un estudio geológico y geoquímico preliminar, con el fin de evaluar el potencial metálico de Alto Chicama, lo cual permitió identificar las anomalías auríferas en Usquil, Cerro Negro y Tres Lagunas de Oro (Guerra, 2002). Con el objetivo de ampliar el potencial metálico se realizó un estudio denominado Posibilidades Mineras del Área de Alto Chicama por E. Dunin Borkowski (1989).

1.4. Generalidades de la zona de estudio

1.4.1. Ubicación y accesibilidad

El yacimiento Lagunas Norte se ubica en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad, ubicado a 130 Km al este de la ciudad de Trujillo y 42 Km al oeste de la ciudad de Huamachuco.

El acceso se hace a través de la carretera de penetración que comunica Trujillo con Huamachuco (180 Km), en un tiempo aproximado de tres horas y media hasta el puesto de control Eco 12. Por vía aérea se puede acceder desde Lima hasta el aeródromo Pata del Gallo en 1 hora y 50 minutos o desde Trujillo a Pata del Gallo en 25 minutos y de ahí a Eco 12 en aproximadamente 15 minutos (ver figuras 01 y 02).

1.4.2. Geomorfología

El área esta dominada por dos unidades geomorfológicas: el altiplano sobre los 3500 hasta los 4200 msnm, de topografía suave interrumpida por algunos valles glaciares y bajo los 3500 msnm predominan valles, con erosión activa que han generado farallones.

El yacimiento se extiende a ambos lados de la divisoria continental entre la vertiente del océano Atlántico por el oriente y la vertiente del océano Pacífico por el occidente, las nacientes del río Chuyuhual fluyen hacia el este y las nacientes del río Negro fluyen hacia el oeste. El río Negro desemboca en el río Perejil, el cual se convierte aguas abajo en el río Alto Chicama (ver figura 03).

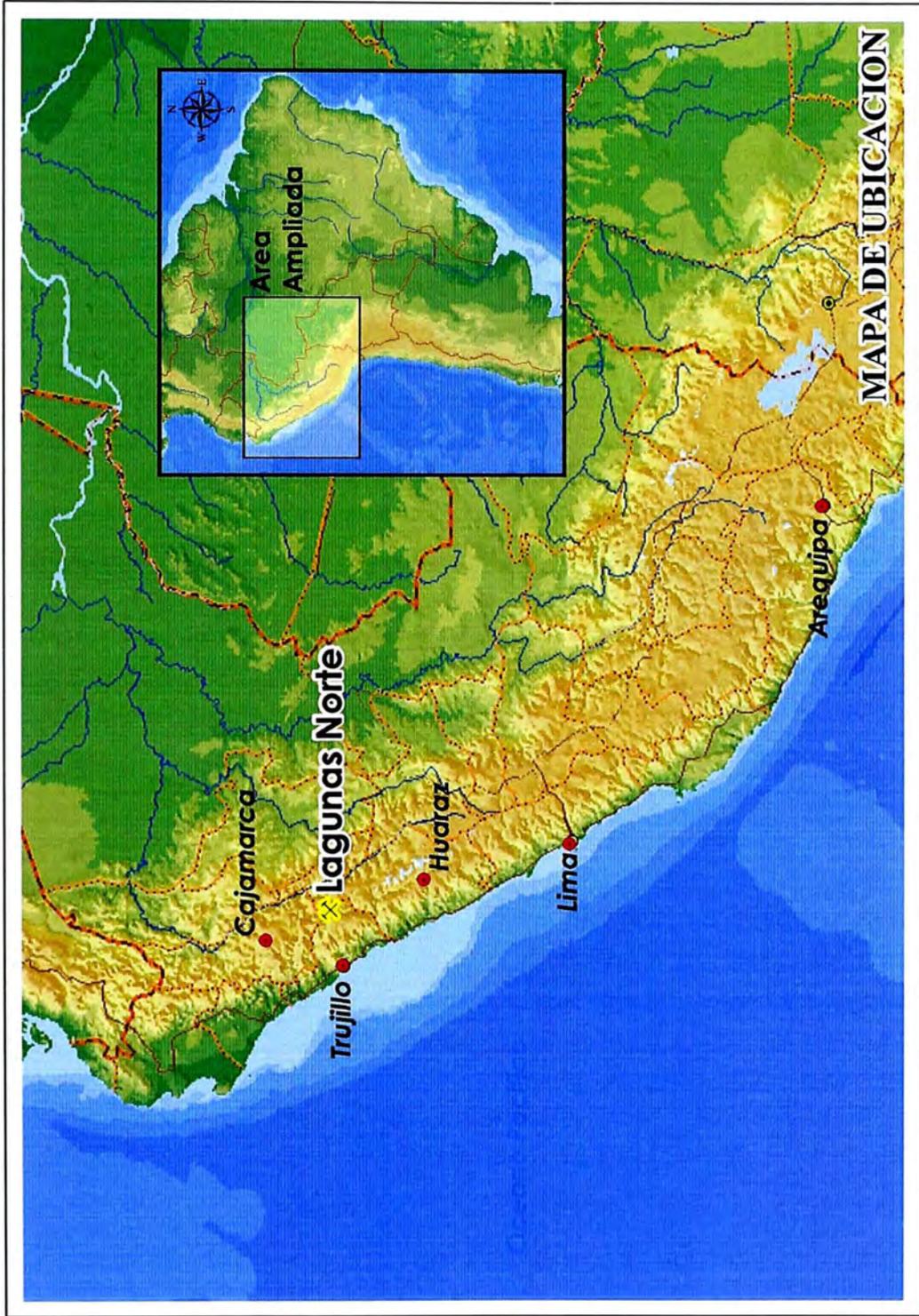


Figura 01

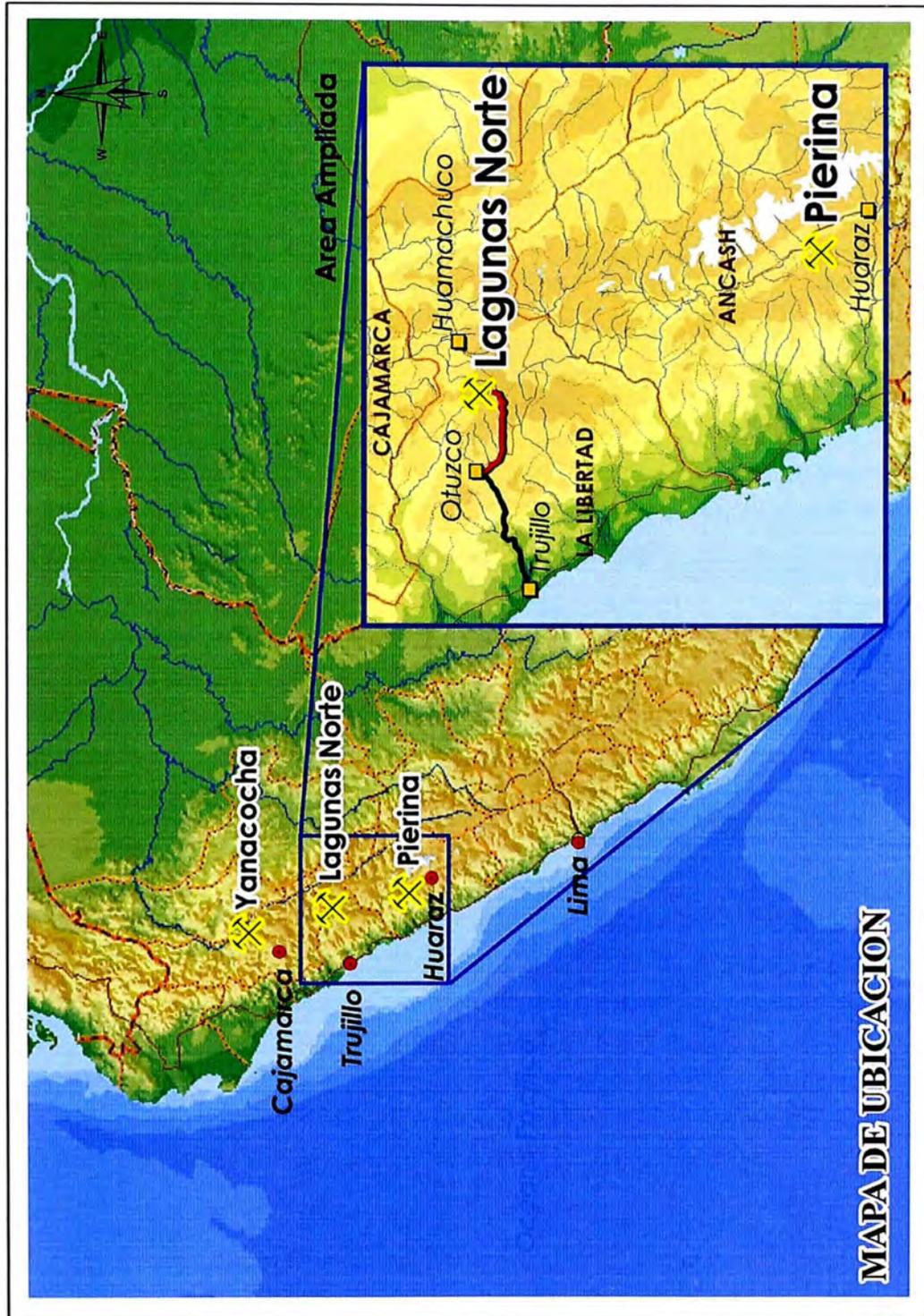


Figura 02



Figura 03

1.4.3. Clima

El clima se caracteriza por presentar dos temporadas bien marcadas, un verano o temporada seca que comienza en abril y termina en noviembre, para luego entrar en el invierno o época de lluvias, la cual se inicia en diciembre y culmina en marzo (Guerra, 2002).

1.4.4. Desarrollo reciente del Proyecto Alto Chicama al Yacimiento Lagunas Norte

Después de un programa de exploración regional y luego de identificar a Alto Chicama como área prospectiva en el 2000, se inicio el proceso de consolidación de la propiedad minera en el distrito. El primer contrato de cesión y opción correspondió al acuerdo alcanzado en abril del 2000 con *Panamerican Silver* por un total de 3472 ha, que incluye las denominadas concesiones Los Ángeles, CMNP-3, Verde-2, Verde-3, Verde-4 y Verde-6 (Guerra, 2002).

Posteriormente, un segundo contrato de cesión y opción fue celebrado en marzo del 2001, luego de la adjudicación de 17,948 ha correspondientes a las concesiones de Minero Perú, durante el proceso de licitación pública llevado a cabo por el estado peruano a través de Centromin Perú. Finalmente un total de 4500 ha de propiedades fueron incorporadas al proyecto, mediante la negociación con particulares, donde se incluyen Mirtha, José Ignacio, La Recuperada, Aleja III y Caballo Moro. El resto de las 15,000 ha denominadas Las Lagunas 1 al 24, corresponden a las propiedades caducadas o terrenos libres, los cuales fueron peticionados por Barrick (Guerra, 2002).

A finales del 2004, después de más de 156 000 m de perforación diamantina se obtuvo como reservas: 229 MT con 1.24 gr/T Au, que hacen un total de 9.2 M Oz (*Barrick Anual Report*, 2004).

Para fines de marzo del 2005 se inicia con la producción de la mina Lagunas Norte y a fines de julio se procesa la primera barra de oro.

2. Geología Regional (Cuenca Chicama)

2.1. Introducción

La región de Alto Chicama se encuentra situada en una secuencia sedimentaria Mesozoica, que aflora entre el Batolito de la Costa al oeste y el basamento Precámbrico por el este (*Marañon Fold Thrust Belt*). Se trata de una secuencia de origen clástico acumulada en una cuenca marina poco profunda con fenómenos de subsidencia. Eventos de regresión y transgresión marina han sucedido desde el Jurásico, generando una columna sedimentaria de más de 6,000 m. Aún cuando existe registro de actividad magmática desde el Jurásico (niveles andesíticos de los Grupos Pucará y Zaña), solo se encuentra sobreyacida por volcánicos del Cenozoico, asignados al Grupo Calipuy (Guerra 2002), (ver figura 04).

Según las fases tectónicas presentes en el área al parecer la secuencia completa del Mesozoico está afectada por dos etapas de deformación compresivas durante la orogénesis Andina. La primera fase correspondería a la Fase Peruana y la segunda esta inferida por la discordancia angular que ocurre en la base de los volcánicos del Eoceno del Grupo Calipuy, la cual pertenecería a la Fase Inca (Guerra, 2002), (ver figura 05).

2.2. Estratigrafía

2.2.1. Jurásico superior

Durante el Jurásico superior se desarrolló una cuenca marina entre un arco magmático al oeste (Formación Oyotún) y una zona emergida al este (Cuenca Marañón). La cuenca fue afectada por continua subsidencia y es por eso que ha sido interpretada como una cuenca tectónica desarrollada bajo un régimen extensional (subducción tipo Mariana). La región de los Andes experimentó atenuación de corteza y fue un ambiente de secuencias marinas, incluyendo productos de un arco de islas volcánico o *rift* marginal.

En la región de Alto Chicama el grupo más antiguo es el Grupo Chicama del Jurásico superior (Tithoniano-Berriasiano), el basamento rocoso sobre el cual el Grupo Chicama fue depositado no se observa en la región (Benavides-Cáceres, 1999).

Grupo Chicama (Tithoniano-Berriasiano)

Se caracteriza por la presencia de intercalaciones delgadas de lutitas, lutitas carbonosas, limolitas y niveles de arenisca con intercalaciones de

arcillas y material tobáceo retrabajado. Además niveles de pizarras y *hornfels*, estas litologías descritas corresponden a la Formación Sapotal.

El color gris oscuro de las lutitas, las intercalaciones de poca potencia y la presencia de material carbonoso son característicos de este grupo. Esta sedimentación terrígena fue depositada en una cuenca de mar interior somero, flanqueado al este por el continente emergido y al oeste por un arco de islas volcánico. Los sedimentos fueron aportados del lado continental y fueron principalmente arenas cuarcíferas, mientras que los del arco volcánico se caracterizaron por arcillas y material tobáceo. La naturaleza somera de esta cuenca generó un ambiente reductor, típico de mares interiores, que favoreció la formación de depósitos orgánicos, que se encuentra presente en las rocas como material carbonoso. (Jacay, 1992).

2.2.2. Cretácico inferior

El Cretácico inferior está caracterizado por una sedimentación clástica en un ambiente de mar abierto altamente oxigenado. Estas condiciones resultaron en una importante acumulación de sedimentos detríticos que excedieron los 2000 m de potencia. Además en este período, el arco de islas al oeste de la cuenca fue afectado por intensa erosión debido a la reducción de la actividad magmática (Benavides-Cáceres, 1999).

Las secuencias sedimentarias del Cretácico inferior son:

Formación Chimú (Valanginiano inferior)

Aflora concordante al Grupo Chicama, esta secuencia se extiende por toda el área y sus afloramientos se destacan nítidamente, originando grandes farallones y estructuralmente forma grandes anticlinales y sinclinales. Litológicamente consiste de una alternancia de areniscas y lutitas en sus niveles inferiores y de una potente secuencia de areniscas en bancos gruesos en sus niveles superiores. Las areniscas generalmente son de grano medio a grueso, con ocasionales lentes donde los granos de cuarzo son poco redondeados.

En las areniscas se observan estructuras sedimentarias tales como estratificación cruzada y *ripple marks*, además es frecuente encontrar mantos de carbón. Estas secuencias se depositaron en un ambiente litoral con arenas de playa y deltas que indican una serie de levantamientos y subsidencia (capas gruesas con granulometría más gruesa) de la cuenca, así también sucesivas transgresiones marinas.

Toda la secuencia tiene aproximadamente 600 m, siendo progresivamente menos potente al norte y más potente al sur. Los depósitos de carbón se han formado asociados a niveles de areniscas en ambientes

deltaícos, mientras los niveles lutáceos se han formado en épocas de relativa calma tectónica (Reyes, 1980).

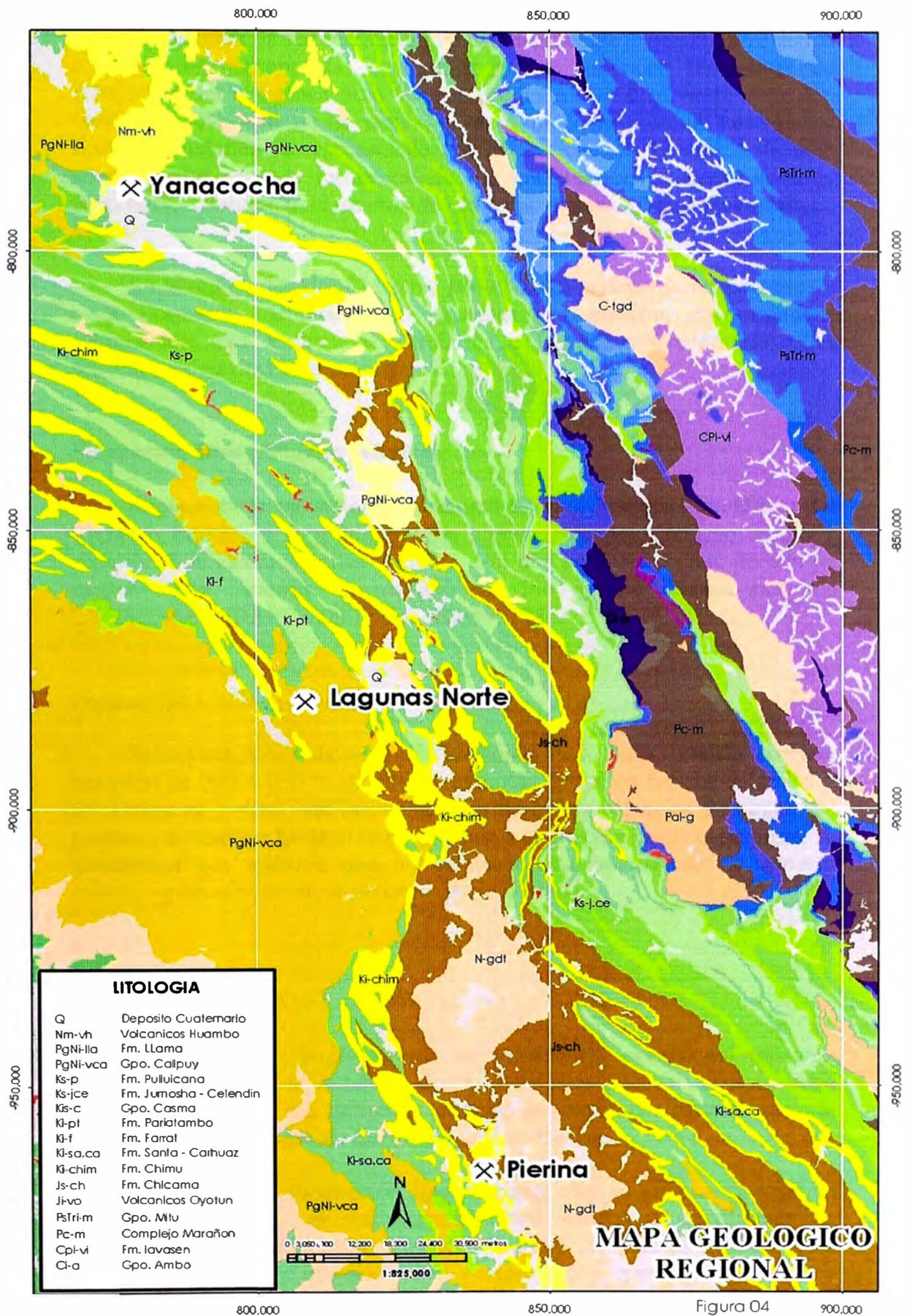
Formación Santa-Carhuaz (Valanginiano superior-Aptiano inferior)

Sobreyace concordante a la Formación Chimú y corresponde a un episodio de sedimentación en una época de pasividad tanto tectónica como magmática y la sedimentación se asocia a una transgresión marina.

En la región de Alto Chicama, la Formación Santa consiste de una secuencia de potencia promedio de 100 m conformada por lutitas. La formación Carhuaz de una potencia media de 500 m esta conformada por areniscas sucias de coloración gris con matices rojizo y violeta, intercalados con lutitas grises, en las partes superiores la secuencia contiene niveles de areniscas, las cuales se intercalan con lutitas y limolitas (Reyes, 1980).

Formación Farrat (Aptiano superior)

Sobreyace en concordancia a la Formación Carhuaz, marcando el término de la sedimentación clástica del Cretáceo inferior e infrayace a la formación Inca del Cretáceo medio, que a su vez marca el inicio de la sedimentación de una potente serie carbonatada. Se conforma de una secuencia de areniscas cuarzosas blancas de alrededor de 500 m de potencia, en bancos gruesos y estratificación cruzada, que incluye niveles de arenisca de grano grueso que llegan a formar microconglomerados. Es semejante a la Formación Chimú en su litología y morfología, sin embargo se diferencia de ésta por la ausencia de mantos de carbón (Reyes, 1980).



2.2.3. Cretáceo medio

El ambiente de sedimentación va cambiando desde netamente clástico a plataforma carbonatada. Tectónicamente se producen fenómenos de subsidencia en la cuenca pero sin una orogenia significativa en la región continental. Al oeste de la cuenca, el arco volcánico presenta una intensa actividad magmática, representada por los Volcánicos Casma. Este arco volcánico favorece la formación de un mar interior de aguas no muy profundas, facilitando el desarrollo de vida marina (Benavides-Cáceres, 1999).

En la región de Alto Chicama, las unidades sedimentarias posteriores a la Formación Chúlec están ausentes por erosión, encontrándose sobreyacidas por Volcánicos Terciarios o Depósitos Cuaternarios. Las secuencias descritas son:

Formación Inca (Albiano inferior)

Representa la transición gradacional de la sedimentación clástica del Cretáceo inferior a la sedimentación carbonatada del Cretáceo medio y superior. Son calcarenitas y lutitas, con una potencia de una decena de metros hasta alcanzar un máximo de 100 m. Se destaca por sus coloraciones rojizas y amarillentas (Reyes, 1980).

Formación Chúlec (Albiano medio)

Sobreyace concordante a la Formación Inca. Esta formada por una sucesión de 200 a 250 m de calizas arenosas grises en bancos delgados y muy ricas en fósiles, con intercalaciones de lutitas calcáreas y margas. Su potencia disminuye hacia el norte y tiende a engrosarse hacia el suroeste, se caracteriza por adquirir una coloración crema amarillenta de aspecto terroso, generado por intemperismo (Reyes, 1980).

2.2.4. Rocas Ígneas

Después de un largo periodo de subsidencia extensional tras-arco principalmente, que se extendió desde el Triásico superior al Senoniano temprano, se inició un diferente régimen geodinámico, permitiendo la construcción de la presente Cordillera de Los Andes.

El régimen de subducción tipo Mariana, con su cuenca extensional tras-arco, incluyendo el *rift* marginal oeste, cambio a un régimen de subducción tipo Andino, que prevaleció a través de todo el Cenozoico y que se caracterizó por intensos pulsos compresivos y episodios magmáticos (Benavides-Cáceres, 1999).

Las principales etapas de magmatismo reconocidas corresponden a:

Volcanismo de arco de Islas del Jurásico inferior

A la altura de Trujillo, el arco se desarrolló a unos 100 Km aproximadamente de la línea de costa actual, por lo que en la región del Alto Chicama no se encuentran los afloramientos de estas unidades (Guerra, 2002).

Volcanismo de arco de Islas del Cretáceo inferior-medio

La actividad volcánica en esta etapa fue intensa por lo que generó depósitos volcánicos y sedimentarios de hasta 9000 m. Este arco se desarrolló prácticamente sobre la línea actual del litoral y significó una migración del arco magmático hacia el este de al menos 100 Km. Sus afloramientos se encuentran en la zona costera por lo que no están presentes en Alto Chicama. La secuencia volcánica compuesta principalmente de basaltos esta representada por el Grupo Casma inferior del Aptiano medio al Albiano (Guerra, 2002).

Plutonismo del Cretáceo superior – Terciario inferior

Se produce el emplazamiento de plutones a lo largo de toda la costa (100-55 Ma), conformando el Batolito de la Costa. Estos plutones se emplazaron durante todo el Cretáceo superior y parte del Terciario inferior, donde se reconoce una diferenciación magmática desde gabros hasta granitos (Guerra, 2002).

Volcanismo continental Terciario e intrusiones asociadas

El arco magmático sigue migrando hacia el este y se desarrolla un volcanismo continental, con pequeños arcos volcánicos de rumbo SSW – NNE, tal como se aprecia en el alineamiento de las estructuras volcánicas al suroeste de Huamachuco. Las unidades litológicas no han sido diferenciadas regionalmente y se les denomina Grupo Calipuy. Según la química de las rocas corresponde a un volcanismo calco-alcalino con predominio de andesitas, pero con dacitas y riolitas. Algunos eventos de andesita basáltica se presentan como erupciones exóticas y aún no se ha explicado el marco tectónico en el que se desarrollo (Guerra, 2002).

Las estructuras volcánicas son mayormente domos o complejos de domos (La Capilla). También existen calderas que muestran extensos depósitos de ignimbritas (riodacitas) tales como las de Machala y Carabamba.

Los volcánicos se distribuyen preferentemente al sur de Quiruvilca, con una columna de más de 2000 m de potencia. En la región del Alto Chicama se presenta solo cuellos volcánicos y stock hipabisales de composición andesítica, con escasos flujos dacíticos (Guerra, 2002).

2.2.5. Cuaternario

Los principales Depósitos Cuaternarios son fluvio-glaciares, estos están bien extendidos en la región de Quiruvilca y la laguna El Toro. También son abundantes los depósitos de pie de monte, deslizamientos y depósitos coluviales al pie de farallones (Guerra, 2002).

En la figura 05 se detalla una columna estratigráfica de la zona de estudio

STRATIGRAPHIC COLUMN OF THE WESTERN CORDILLERA OF NORTHERN PERU

	Age	Map	Thickness	Strat Unit	Summary	Description
CENOZOIC	Miocene Oligocene Eocene	8 Ma	1,500	Calipuy Group	Cordilleran arc volcanics	Continental volcanics ranging from basaltic andesite to dacite and rhyolite. Facies indicate effusive, explosive and intrusive mechanisms of emplacement. Several units have been locally defined
	Paleocene Maastrichtian	46 Ma				
CRETACEOUS		72 Ma	0 - 500	Red Beds	Continental molasse	Red conglomerate and sandstones. Preserved only locally. General emersion
			200	Celendin	Marine shelf carbonates	Creamy fossiliferous marls & limestones
	Campanian		600	Cajamarca		Dark grey and blueish limestones, very fossiliferous thick beds. Intercalated thin bed of shale and marls
	UPPER Cenomanian		500	Quilquiñán		Light yellowish nodular to massive limestone and marls
		96 Ma	700	Yumagual		Dark grey limestone and marls. Uniform thick bedding. Strong relief
			150	Pariatambo		Black nodular limestone and shales
			250	Chulec		Cream sandy limestone and marls
	Albian		100	Inca		Ferruginous fossilif lithic sandstone
	LOWER Valanginian		200	Farrat		Mld to coarse grained, quartz sandstone
			700	Carhuaz		Brown to grey silstones intercalated with fine-grained lithic sandstone, and shales
			600	Chimu		Quartz sandstones. Mid to coarse grained Planar cross bedding. Strong relief. Coal beds in 1st third
	131 Ma					
JURASSIC	Berriasian-Tithonian	140 Ma	2,600	Chicama Group	Deep marine flysch	Black to dark grey shales, silstones and fine-grained lithic sandstone. Bouma sequences in turbiditic arrangements.

■ Units present in Lagunas Norte
■ Mineralized zones

Compilado : J. Macharé - Barrick 2003

Figura 05

2.3. Geología Estructural

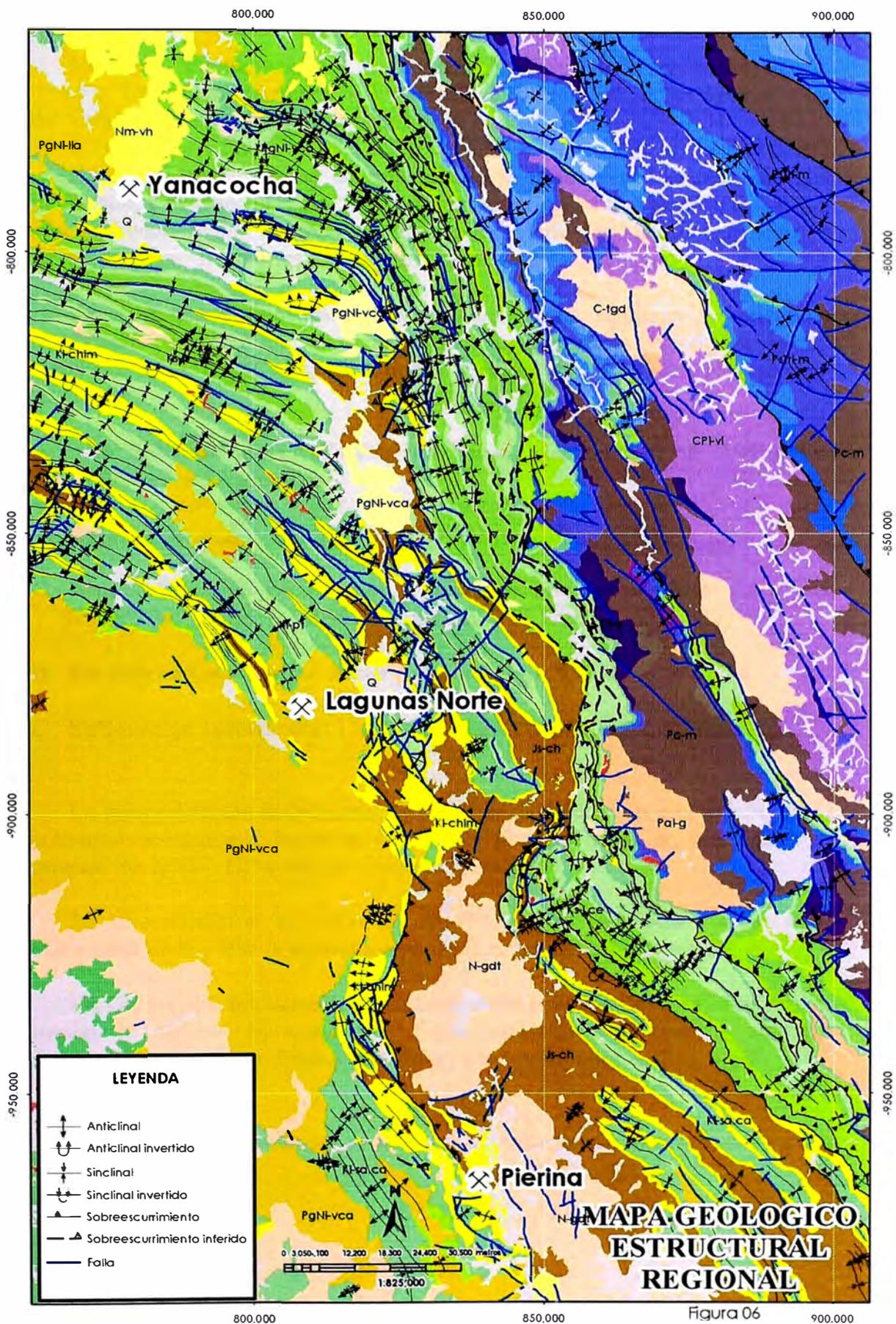
Al final del Cretáceo culmina la sedimentación marina y se produce un levantamiento de la cuenca con deformación plástica debido a esfuerzos compresivos de este a oeste y de suroeste a noreste (Benavides-Cáceres, 1999).

Esta primera fase de deformación es conocida como la Fase Peruana (84-79 Ma) del Campaniano temprano a medio, las estructuras desarrolladas en esta fase de deformación incluyen: isoclinales, pliegues recumbentes con vergencia al noreste-este; sistemas complejos de *flats*, rampas y *duplexs* que indican un gran acortamiento de la secuencia sedimentaria. Los ejes de los plegamientos tienen una orientación NNW-SSE y varían hacia el norte gradualmente a rumbos WNW-ESE. Este levantamiento está acompañado de una tectónica de deformación que produjo erosión violenta de las capas superiores y formó extensos depósitos sedimentarios continentales de edad Terciaria (Formaciones Chota, Huaylillas, Condebamba y Cajabamba).

El acortamiento de la secuencia sedimentaria por plegamiento fue acompañado por movimientos de bloque de la corteza continental a lo largo de estructuras suroeste-noreste.

Un evento compresivo, designado como Fase Incaica se presenta como una zona de intensa deformación caracterizada generalmente por levantamiento de la secuencia sedimentaria o por plegamientos con vergencia hacia el este. Las lutitas del Chicama, que son afectadas por pequeños pliegues con deformación plástica, representan el nivel principal de despegue sobre el cual las areniscas Chimú y las posteriores unidades fueron independientemente deformadas. La geometría de los pliegues es generalmente concéntrica con areniscas Chimú en los anticlinales; algunos de los pliegues son afectados por fallas de cabalgamiento generalmente buzando hacia el este o suroeste. Este evento compresivo se desarrolla principalmente en dos etapas: Incaico I (59-55 Ma) del Paleoceno tardío al Eoceno temprano el cual corta las secuencias plegadas del Mesozoico con una orientación este-oeste e Incaico II (43-42 Ma) del Eoceno medio es interpretada por una discontinuidad en rocas volcánicas del Grupo Calipuy y sustentada por datación radiométrica.

En la figura 06 se detalla el mapa de la geología regional, mostrando las principales estructuras.



2.4. Metalogenia

La region circundante a Las Lagunas Norte es definitivamente rica en metales. La mineralización es polimetálica y aurífera y esta hospedada en rocas del Cretáceo inferior y en rocas volcánicas Terciarias.

Existen diversos estilos de mineralización tales como epitermales (alta, intermedia y baja sulfuración); así como mineralización tipo pórfido de Cu-Au, que incluyen: vetas, cuerpos de brecha hidrotermales, freatomagmáticas y tectónicas, disseminaciones en rocas sedimentarias y volcánicas.

Los diferentes tipos de mineralización y sus sistemas de alteración relacionados sugieren que la región estuvo sujeta a varios periodos de intensa actividad hidrotermal. Los principales estilos de mineralización son los siguientes:

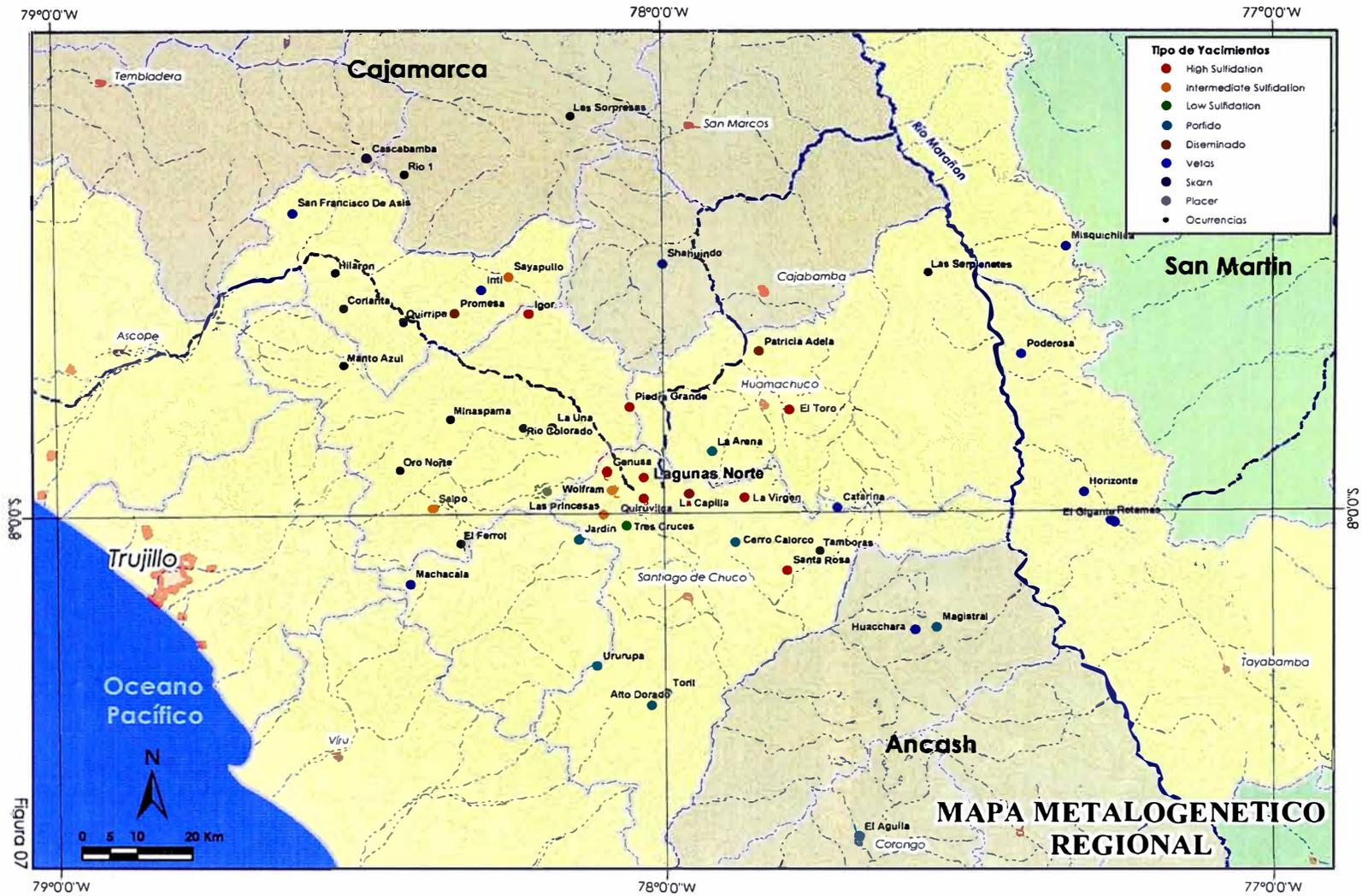
- A. **Alta Sulfuración:** La Capilla, La Virgen (Gauthier et al., 1999), Los Goitos y Las Lagunas Sur.
- B. **Baja Sulfuración:** Tres Cruces (Heyl y Livingston, 1999).
- C. **Alta Sulfuración relacionada a brechamiento de pórfidos:** La Arena, Santa Rosa (Montoya, 1999), Algamarca y El Toro.
- D. **Pórfido de Cu – Au:** La Arena (Gauthier et al., 1999).
- E. **Sulfuración Intermedia:** Quiruvilca, Salpo, Machala y Las Princesas.

La mineralización hidrotermal de alta y baja sulfuración esta relacionada a actividad volcánica e intrusiva controlada por una serie de estructuras de orientación NNW, NE y WNW. (Gaboury, 2003).

La mineralización en vetas de Au-Pb-Zn esta relacionada a un *trend* estructural ENE y EW representada por Quiruvilca, Salpo y Machala.

En Quiruvilca, las vetas polimetálicas están hospedadas en estructuras de rumbo N 60°-80° E, cortando flujos andesíticos y brechas alteradas intensamente a sericita. Estas vetas alojan una ley superior de 7 oz Ag/T.

En la figura 07 se detalla las principales ocurrencias de mineralización en la región



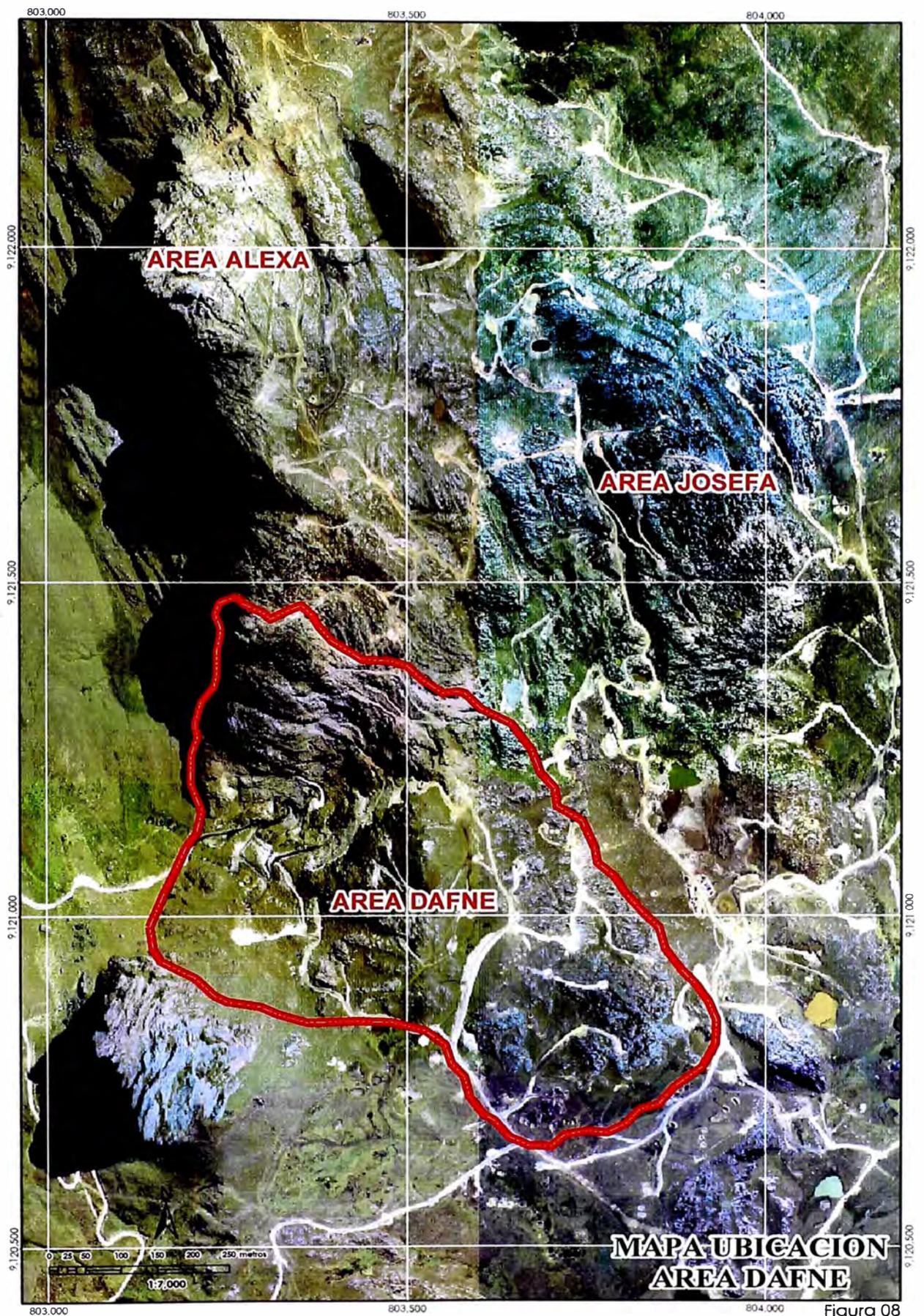


Figura 08

3. Geología Local (Las Lagunas Norte - Dafne)

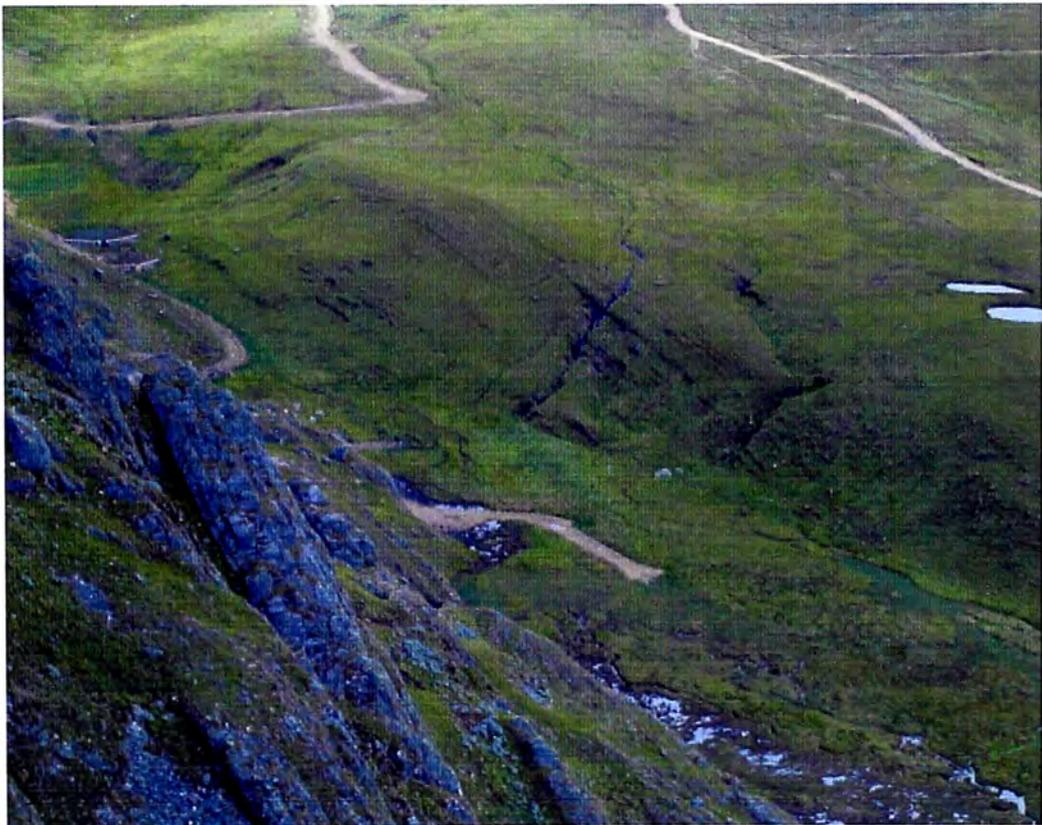
3.1. Introducción

Las rocas presentes en las Lagunas Norte incluyen rocas sedimentarias de edad Jurásica (Grupo Chicama) y Cretácica (Formaciones Chimú y Carhuaz), sobreyacida por rocas volcánicas Miocénicas del Grupo Calipuy, en el que se desarrollan gran cantidad y diversidad de brechas. En el área de Dafne se desarrolla un ambiente tipo diatrema con una distribución en superficie de 450 m de largo y 200 m de ancho.

En el área del yacimiento las rocas sedimentarias se encuentran plegadas en un gran anticlinal de orientación NNW-SSE con vergencia progresiva hacia el este de sur a norte. El Grupo Calipuy está depositado sobre una discordancia en las partes altas de los sedimentos plegados. La figura 08 detalla la zona de estudio.

3.2. Estratigrafía

3.2.1. Grupo Chicama



Fotografía N° 01. Panorámica del Valle del Perejil donde se pone en contacto el Grupo Chicama y la Formación Chimú (vista al suroeste)

Esta es la unidad más antigua en el área de estudio, consiste principalmente de lutitas y limolitas carbonosas finamente laminadas, se cree que tiene un espesor de más de 1000 m. Las lutitas y limolitas son generalmente oscuras y gris oscuras debido a su alto contenido de materia orgánica. La zona de contacto entre el Chicama y el sobreyacente Chimú es generalmente gradual y consiste de finas intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas.

3.2.2. Formación Chimú

Esta formación se caracteriza por tener secuencias de areniscas de origen deltaíco, intercalados con niveles de lutitas, localmente gradando a horizontes de carbón, se presume que esta formación posee una potencia de más de 600 m. En el área del yacimiento, las rocas expuestas pueden ser observadas en contacto directo con el Grupo Chicama.



Fotografía N° 02. Panorámica de las areniscas de la Formación Chimú al este del campamento Callacuyán (vista al suroeste)

Las unidades de arenisca varían desde microconglomerados hacia areniscas muy finas y limolitas y están formadas exclusivamente por granos de cuarzo limpios. Estas son usualmente claras a gris claras, pero algunas veces se tornan oscuras cuando se encuentran cercanas al contacto con el Chicama o grises cuando tienen un fuerte reemplazamiento por sílice.

Sus capas individuales son generalmente centimétricas a decimétricas en tamaño. Las unidades de limolitas varían de unos pocos centímetros hasta metros, están caracterizadas por delgadas intercalaciones de lutita con variables cantidades de limolitas. El rango de color va desde cremosas (mayormente presentan reemplazo de pirofilita) a grises o negras (cercanas a mantos de carbón). Los mantos de carbón están estrechamente relacionados a unidades de lutitas y son generalmente el resultado de cambios de facies laterales a lo largo de las capas de lutitas.

3.2.3. Formación Carhuaz

Cabe mencionar que la presencia de la formación Santa en el área del estudio es discutida, se cree que puede estar conformada por 100 m de lutitas en la base del Carhuaz.



Fotografía N° 03. Panorámica de las lutitas y limolitas de la Formación Carhuaz en Callacuyán (vista al noroeste)

La formación Carhuaz esta conformada por lutitas y limolitas grises con matices rojizos y violetas, estas afloran en el borde este del depósito. Se pueden diferenciar del Chicama ya que presentan localmente venillas de clorita y una coloración verdosa.

3.3. Brechas Pre-emplazamiento del Diatrema Dafne

Estas pertenecen al grupo Calipuy, que incluyen rocas que varían en composición entre intermedias a félsicas y además secuencias freáticas y freatomagmáticas, las cuales han sido depositadas en un periodo entre 20 y 16 Ma.

3.3.1. Brecha de Paleosuperficie

La Brecha de Paleosuperficie es considerada como la primera evidencia de la actividad volcánica en el área. Se caracteriza por contener fragmentos de arenisca de diferente tamaño (centímetros hasta metros), alojados dentro de una matriz tobácea cuarzo-fírica conocida como toba ojos de cuarzo.



Fotografía N° 04. Brecha de Paleosuperficie en la que se aprecia fragmentos de arenisca englobada en una matriz tobácea de ojos de cuarzo (en las cercanías del sondaje DDH-426)

Esta unidad es el resultado de eventos freáticos y freatomagmáticos, su formación se debe a: 1) Tempranas explosiones freáticas en las rocas de la Formación Chimú que depositaron abundantes fragmentos de arenisca en la superficie. 2) Actividad freatomagmática, que depositó rocas piroclásticas de caída (que relleno los espacios abiertos en las areniscas Chimú) y flujos piroclásticos (flujos piroclásticos propiamente dichos y depósitos tipo *surge*), se inyectaron en fracturas y asimilaron los fragmentos de areniscas en su recorrido (Guerra, comentario personal 2001). Los ojos de cuarzo entre 1-2 mm en la matriz tobácea son diagnósticos para ayudar a discriminar esta brecha de otras visualmente similares.

3.3.2. Brechas Freáticas



Fotografía N° 05. Borde freático en el que se observa fragmentos de arenisca en una matriz molida de granos de arena (en las inmediaciones del sondaje DDH-372)

En toda el área se pueden observar varias generaciones de este tipo de brechas, generalmente preceden a la actividad freatomagmática en los diferentes episodios volcánicos en la historia del depósito. Estas están formadas por fragmentos de arenisca en una matriz molida de granos de cuarzo o polvo de roca.

Estas brechas se formaron cuando los gases y vapores circularon a través de areniscas, pero cuando estos fluidos circularon a través de lutitas o limolitas estas engloban fragmentos de dichas rocas en una matriz de polvo de roca muy fina. Los fragmentos varían desde angulosos a subredondeados, son más redondeados si se encuentran en las cercanías de los ductos o *feeders* y más angulosos hacia los bordes en contacto con las rocas caja.

3.4. Brechas Freatomagmáticas – Diatrema Dafne

En el área de Dafne se puede apreciar varios tipos de brecha, en la parte suroeste del depósito han sido claramente identificadas por perforación diamantina. Las rocas dentro del cráter o *vent* y sus depósitos de anillo de tobas o *tuff apron* asociados son muy similares. Estos son generalmente caracterizados por abundantes fragmentos que van desde angulosos a subredondeados, incluyendo fragmentos sedimentarios y volcánicos. Los fragmentos varían en tamaño desde unos pocos milímetros hasta incluso mayores a un metro.

Los fragmentos de estas facies de brecha freatomagmática incluyen fragmentos sedimentarios del Grupo Chicama y Formación Chimú y fragmentos volcánicos líticos y juveniles. Los fragmentos juveniles son generalmente caracterizados por sus formas irregulares y comportamiento frágil, generalmente presentan formas elongadas y aplastadas; así mismo se encuentran alterados a dickita, alunita, caolín e illita-esmectita.

La matriz de estas brechas esta compuesta por polvo de roca y es de coloración negra. Esta coloración es debido al material carbonoso extraído en las explosiones freáticas y freatomagmáticas del basamento Chicama y otras de coloraciones claras a pardas debido a la molienda de fragmentos de arenisca y fragmentos juveniles molidos durante el emplazamiento de estas brechas.



Fotografía N° 06. Brecha freatomagmática con una matriz de polvo de roca de composición carbonosa, con fragmentos líticos de areniscas, fragmentos de paleosuperficie y otros fragmentos juveniles alterados a dichita y kaolín (en las cercanías del sondajeDDH-236)

3.5. Rocas Ígneas Post-emplazamiento del Diatrema Dafne

3.5.1. Flujos Félsicos

Estas se encuentran presentes en la parte norte de Dafne. Es generalmente de grano medio y contiene ojos de cuarzo entre 2 – 7 mm y cantidades variables de fenocristales de feldespato < 10 mm en una matriz feldespática fina. Pequeños diques de esta composición han sido observados localmente y posiblemente representen pequeños ductos o *feeders*. No se ha encontrado una fuente definida para estas rocas.



Fotografía N° 07. Flujos dacíticos mostrando *flow banding*
(cercañas del sondaje DDH-084)

3.5.2. Depósitos Piroclásticos y Depósitos Volcanogénicos

Estas unidades se encuentran presentes en la parte superior del diatrema en el anillo de tobas o *tuff apron*. Los depósitos piroclásticos son generalmente depósitos de caída, se trata de intercalaciones de tobas de grano fino, tobas líticas e incluso cineritas, los fragmentos líticos son sedimentarios y volcánicos y varían en tamaño, pero no son mayores a 5 cm algunos fragmentos mineralizados incluyen limolitas silicificadas (sílice parda) y rocas volcánicas alteradas a *vuggy silica*, son localmente observadas y confirman un largo periodo de extrusión, alteración y mineralización.

Los depósitos volcanogénicos son tobas retrabajadas y generalmente muestran evidencias de haber sido depositadas en agua, por presentar estructuras sedimentarias; se presentan en finas capas. El origen de estas unidades es discutida, pero probablemente guarden relación con el diatrema, estos depósitos son los equivalentes piroclásticos de las rocas que se encuentran en el ducto del diatrema.



Fotografía N° 08. Secuencia de tobas finas y depósitos volcanogénicos (a unos pocos metros del sondaje DDH-022)

3.5.3. Complejo de Flujos/Domos Andesíticos Tempranos

Esta unidad se ha reconocido solo en el suroeste del depósito. Se caracteriza por una textura homogénea, contiene fenocristales de feldespato 20-35% en una matriz feldespática fina y un alto contenido de hornblenda 15% generalmente corta y sobreyace a las brechas en Dafne.

A estas andesitas se les conoce como andesitas azules ya que presentan esa coloración cuando se intemperizan. Estas andesitas son anteriores a las andesitas del Shulcahuanga, generalmente se encuentran infrayaciéndolas.



Fotografía N° 09. Vista panorámica de la zona suroeste del depósito en la que se muestra un afloramiento de andesitas tempranas (mirando al oeste)

3.5.4. Complejo de Flujos/Domos del Shulcahuanga

Estas rocas son similares a las anteriormente descritas, pero son claramente postmineral, ya que éstas no muestran evidencia de actividad hidrotermal o mineralización, han sido mapeadas en la parte suroeste del depósito y sobreyacen parte de la mineralización. Estas rocas presentan una textura porfírica, son muy homogéneas y contienen entre el 30 - 40% fenocristales de tamaños entre 2-8 mm, 5% de biotita y hasta 10% de cuarzo, en una matriz fina.

El mayor rasgo topográfico en el área del proyecto es el Domo Shulcahuanga, que se levanta más de 100 m sobre la topografía circundante. Los afloramientos se caracterizan por presentar un *flow banding* altamente distorsionado variando de vertical hasta casi horizontal. Los flujos alrededor del domo también presentan textura de *flow banding*.



Fotografía N° 10. Vista panorámica del Domo Shulcahuanga al suroeste del depósito, en el que se observa un bandeamiento de flujo caótico (mirando hacia el sur)

3.6. Depósitos Cuaternarios

Estos depósitos son generalmente de origen fluvio-glacial y están dispersos alrededor del área del proyecto, sobre todo al este del depósito. Bloques mineralizados provenientes de la erosión del yacimiento son observados en esta área originando un depósito coluvial mineralizado, hacia el sector noreste del área del proyecto, conocido como Las Vizcachas.



Fotografía N° 11. Vista panorámica de la zona noreste del depósito en la que se encuentran depósitos cuaternarios (mirando al noreste)

La figura 09 muestra las unidades litológicas del área de Dafne.

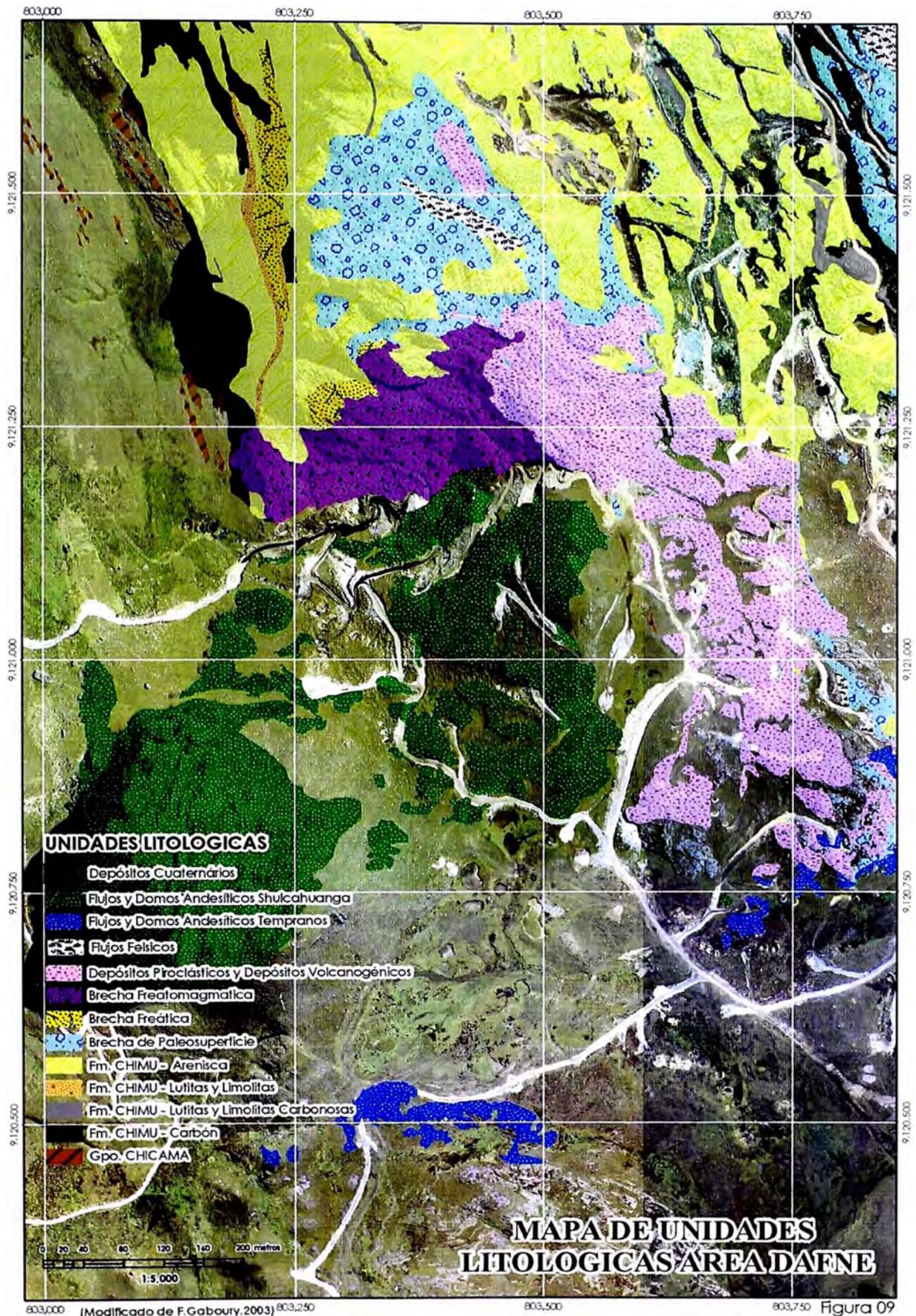


Figura 09

3.7. Geología Estructural

El área de Dafne se encuentra dentro de una secuencia de rocas plegadas y falladas, en el flanco noreste de un anticlinal con vergencia noreste en la Formación Chimú, en cuyo núcleo están expuestas rocas del Grupo Chicama.

El mapeo estructural de la zona de Dafne tanto en rocas volcánicas andesíticas Shulcahunga y en el *tuff apron* del Diatrema Dafne permitió definir los siguientes *trends* estructurales:



Fotografía N° 12. Vista panorámica de la zona noroeste del depósito, se puede observar el *trend* estructural 290°/70°-80° (mirando al este)

Un sistema de orientación 160° de azimut, y de buzamientos verticales, es desarrollado paralelo a la estratigrafía en la secuencia plegada de las areniscas Chimú. Este *trend* está asociado a la fase compresiva Peruana (84-79 Ma) del Campaniano temprano a medio.

Otro *trend* estructural con 290° de azimut y de buzamientos entre 70° – 80°, que genera un importante fracturamiento de extensión. Este *trend* se relaciona a

la fase de compresión Incaica, vale decir Inca I (59 – 55 Ma) del Paleoceno tardío al Eoceno temprano el cual corta las secuencia plegadas del Mesozoico con una orientación este-oeste.

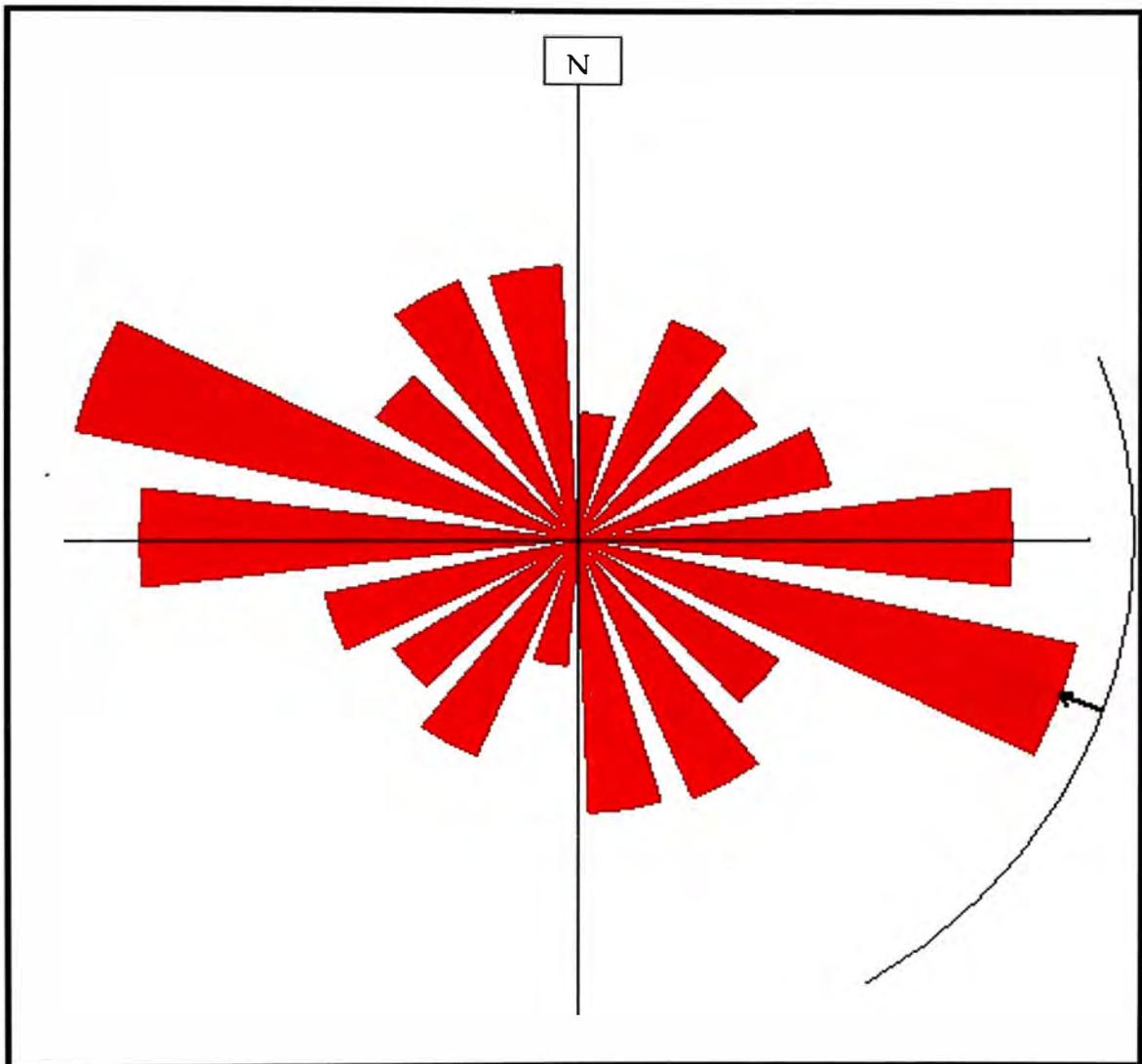
Este último sistema de fracturamiento es el que controla la mineralización en Dafne, se puede observar en las secciones litológicas las fallas F3 y F3A, que además de controlar la mineralización, controlan el emplazamiento de las brechas freáticas y freatomagmáticas. El *trend* Andino es cortado por el sistema $290^{\circ}/70^{\circ} - 80^{\circ}$ por lo que en la intersección se desarrolla un grado adicional de preparación para localizar centros de actividad hidrotermal. Hay que mencionar que la interpretación de fallas en el depósito se torna complicada, ya que estas se desarrollan en niveles de lutitas y limonitas evidenciándose solo por sus desplazamientos y en el caso de las areniscas, estas no presentan relleno de arcillas, solo se infieren mediante perforación diamantina por las zonas de testigos molidos o vacíos en las perforaciones.



Fotografía N° 13. Sistema de fallas $290^{\circ}/70^{\circ}-80^{\circ}$ en el área de Dafne (mirando al este)

Diagrama de Rosas en el área de Dafne

En el diagrama se muestra la medida de fracturas colectadas en el área de Dafne, incluye medidas de azimut y dip en rocas andesíticas del Shulcahuanga y las facies de brecha del Diatrema.

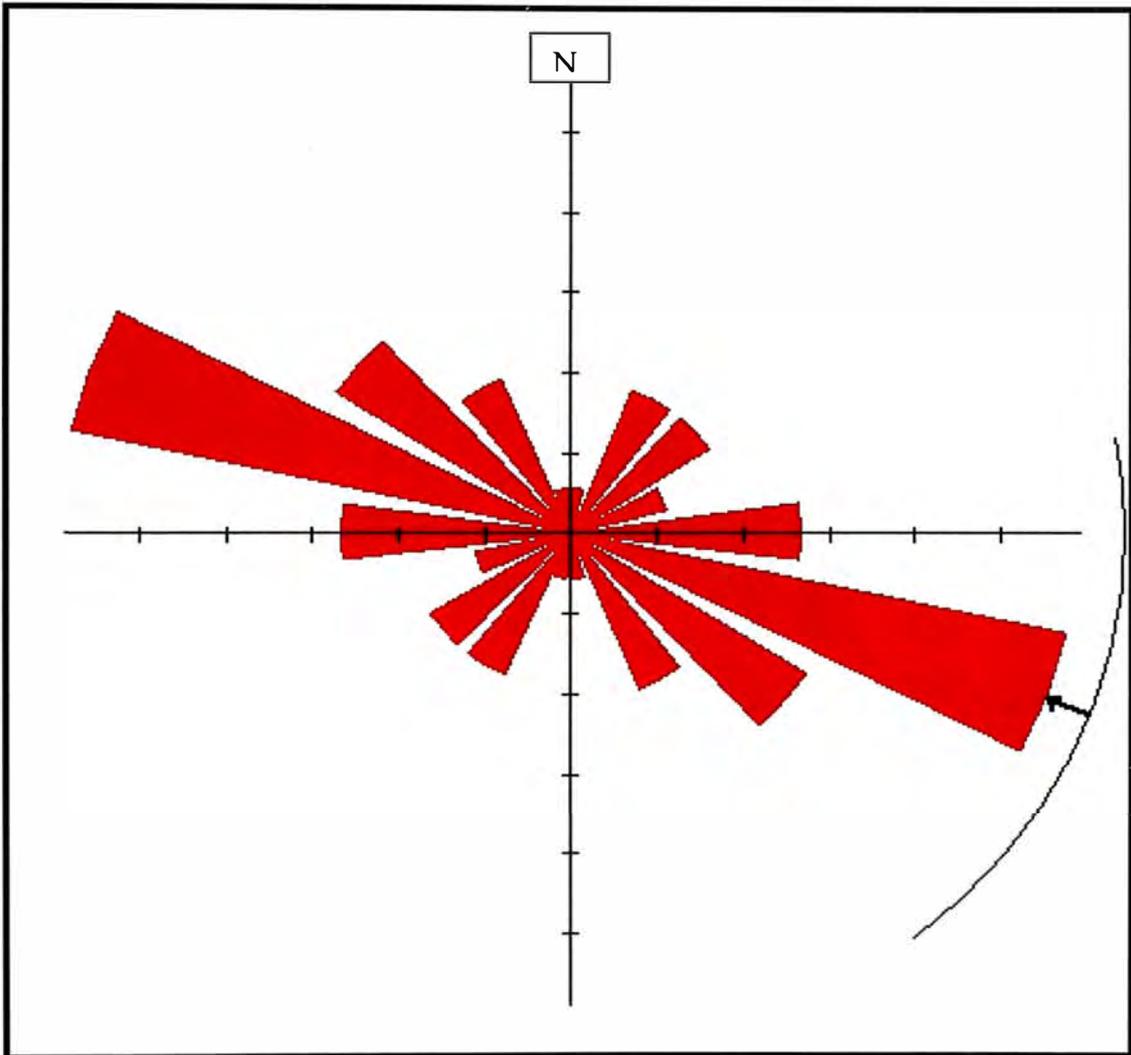


El ploteo de las estructuras arroja dos sistemas principales de fracturamiento:

- A. El sistema 290° con buzamientos verticales entre 70° y 80°.
- B. El sistema 150°- 170° con buzamientos verticales mayores a 75°.

Diagrama en el *Tuff apron* del Diatrema

En el diagrama se muestra la medida de fracturas colectadas en el área de Dafne, en sus diferentes facies de brecha (facies carbonosa, facies mixta y facies lítica).



Este gráfico nos confirma las observaciones de campo que demuestran que el sistema 290° / 70°- 80° es el que controla la mineralización en el *Tuff apron* del Diatrema.

La figura 10 muestra las estructuras presentes en el área de estudio

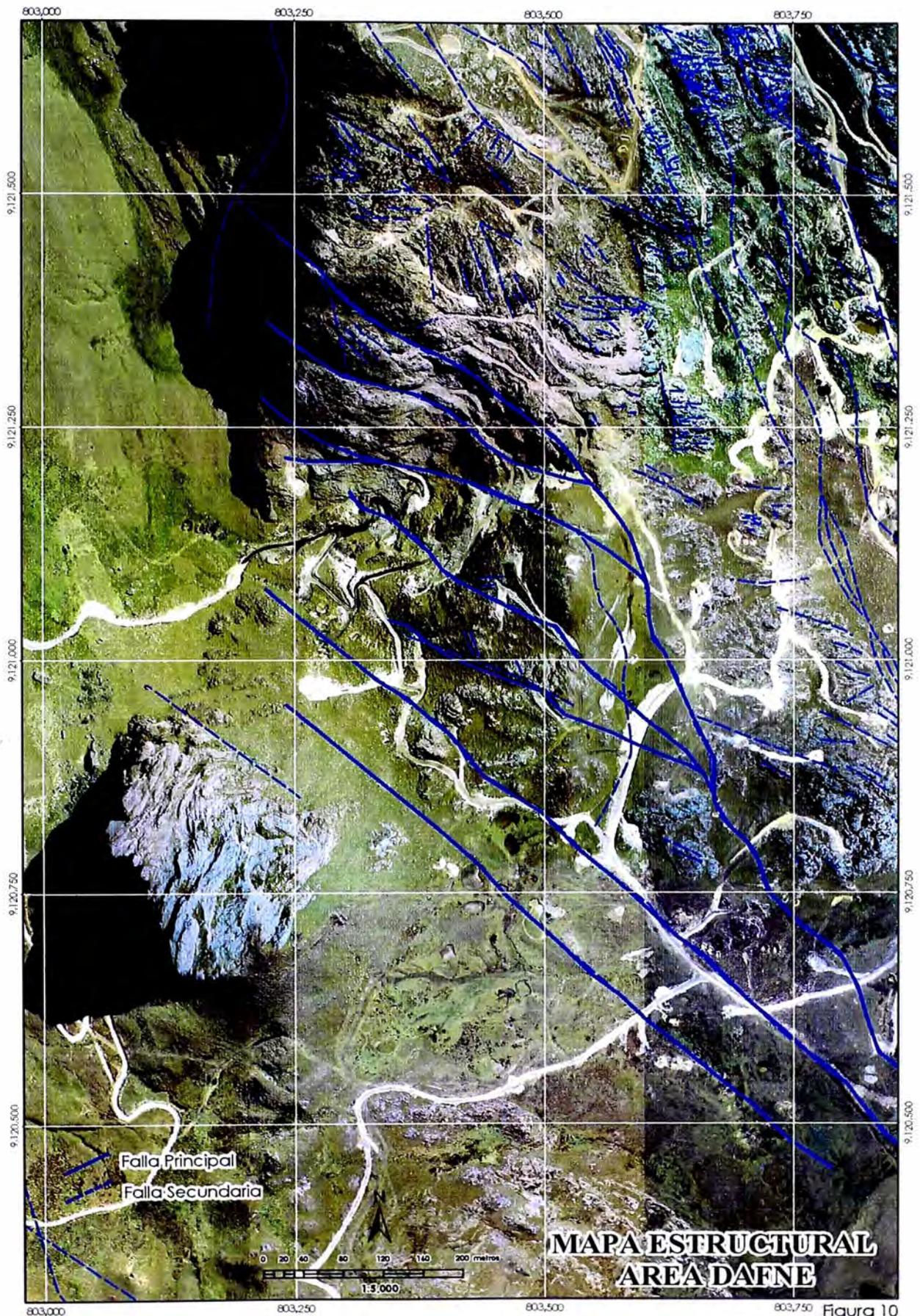


Figura 10

3.8. Alteración Hidrotermal

En la zona de influencia del diatrema se ha podido identificar alteración argílica avanzada, típica de depósitos de alta sulfuración, incluyendo sílice, alunita, dickita y kaolinita, gradando hacia la periferie a illita y esmectita y más distal una alteración propilítica. Para ello se han tomado en cuenta muestras de sondajes, estas muestras han sido caracterizadas usando espectrometría infrarroja.

Alteración de *steam heated* no está presente en el depósito; sin embargo se sospecha que ocurrieron en las partes altas de las secuencias volcánicas en Dafne, pero erosionadas actualmente. Los volcánicos postminerales son generalmente frescos, pero localmente por intenso intemperismo se produce kaolín y esmectita como reemplazo de feldespatos.

En la zona de Dafne la alteración sigue el siguiente patrón: illita-esmectita y zonas de clorita en los niveles superiores, principalmente en las andesitas del Shulcahuanga y en los fragmentos juveniles de la facies carbonosa del diatrema (*tuff apron*), niveles inferiores presentan abundante dickita que reemplaza a los fragmentos juveniles de las facies de brecha carbonosa y mixta, con zonas locales de alunita potásica (en el ducto del diatrema) y hacia las zonas en contacto con el Chimú y la paleosuperficie una intensa silicificación tanto de matriz como fragmentos desarrolladas mayormente en la Facies Lítica del diatrema.

La figura 11 muestra una sección con las unidades litológicas presentes en el área de Dafne.

La figura 12 muestra la sección anterior con el detalle de la alteración hidrotermal en Dafne.

LEYENDA

- Depósitos Cuaternarios
- Rujos y Domos Andesíticos Tempranos
- Depósitos Piroclásticos y Depósitos Volcanogénicos
- Brecha Freatomagmática
- Brecha Freática
- Brecha de Paleosuperficie
- Fm. CHIMU - Arenisca
- Fm. CHIMU - Lutitas y Limolitas
- Fm. CHIMU - Lutitas y Limolitas Carbonosas
- Fm. CHIMU - Carbón
- Gpo. CHICAMA
- Falla
- Sondajes

SECCION 4350

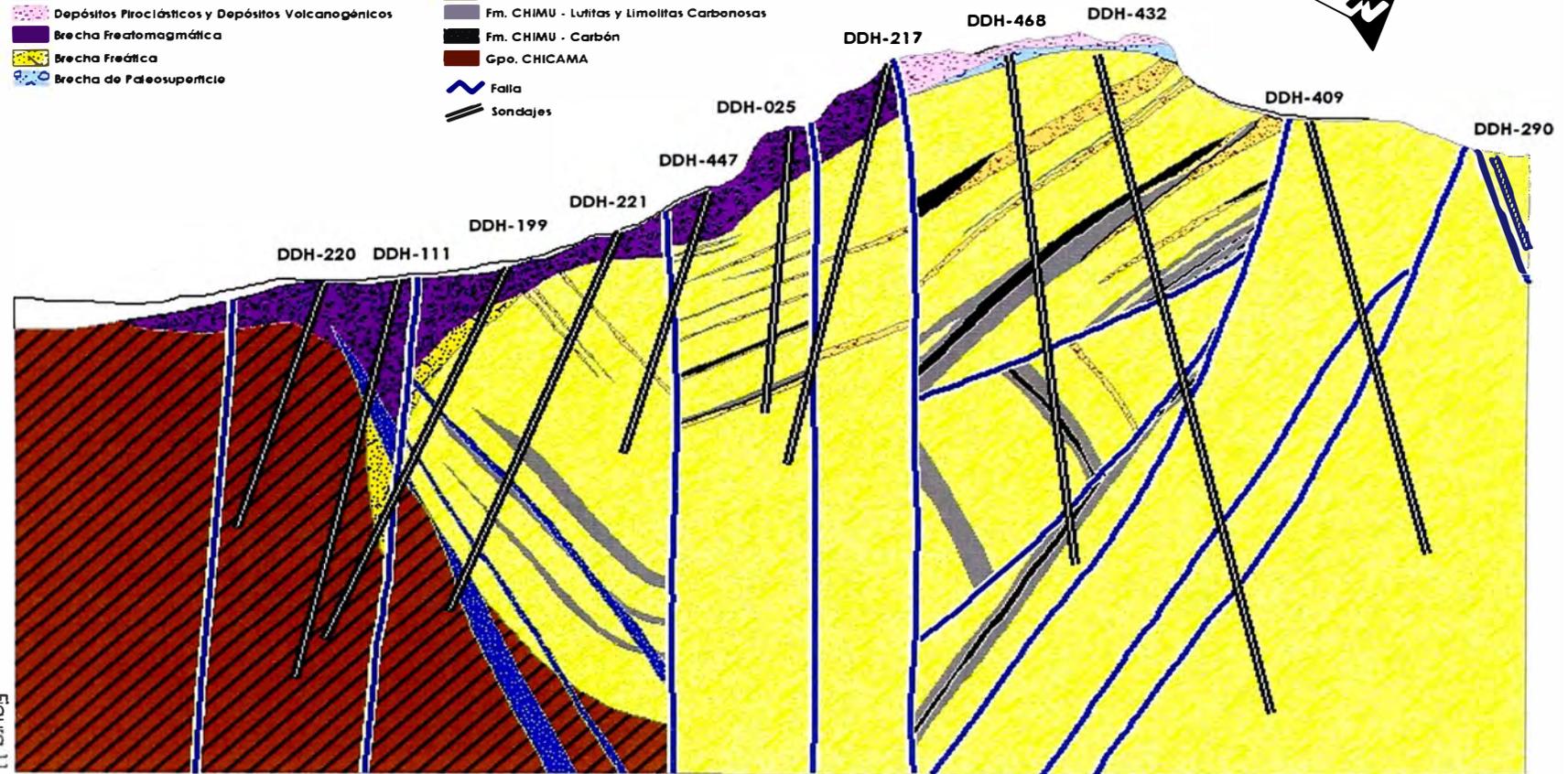


Figura 11

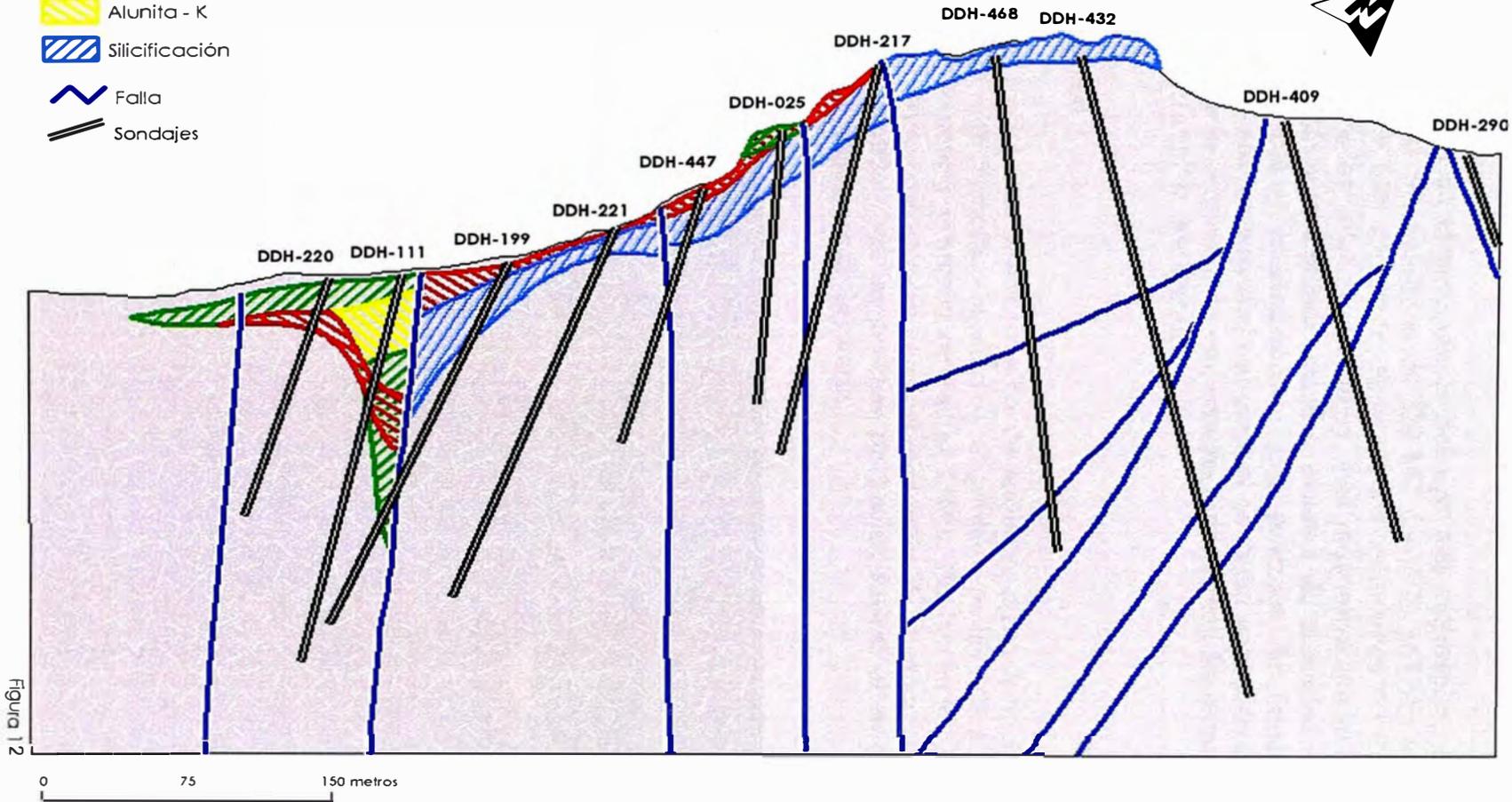
0 75 150 metros

(Modificado de F.Gaboury,2003)

LEYENDA

-  Dikita
-  Illita - Esmectita
-  Alunita - K
-  Silicificación
-  Falla
-  Sondajes

SECCION 4350

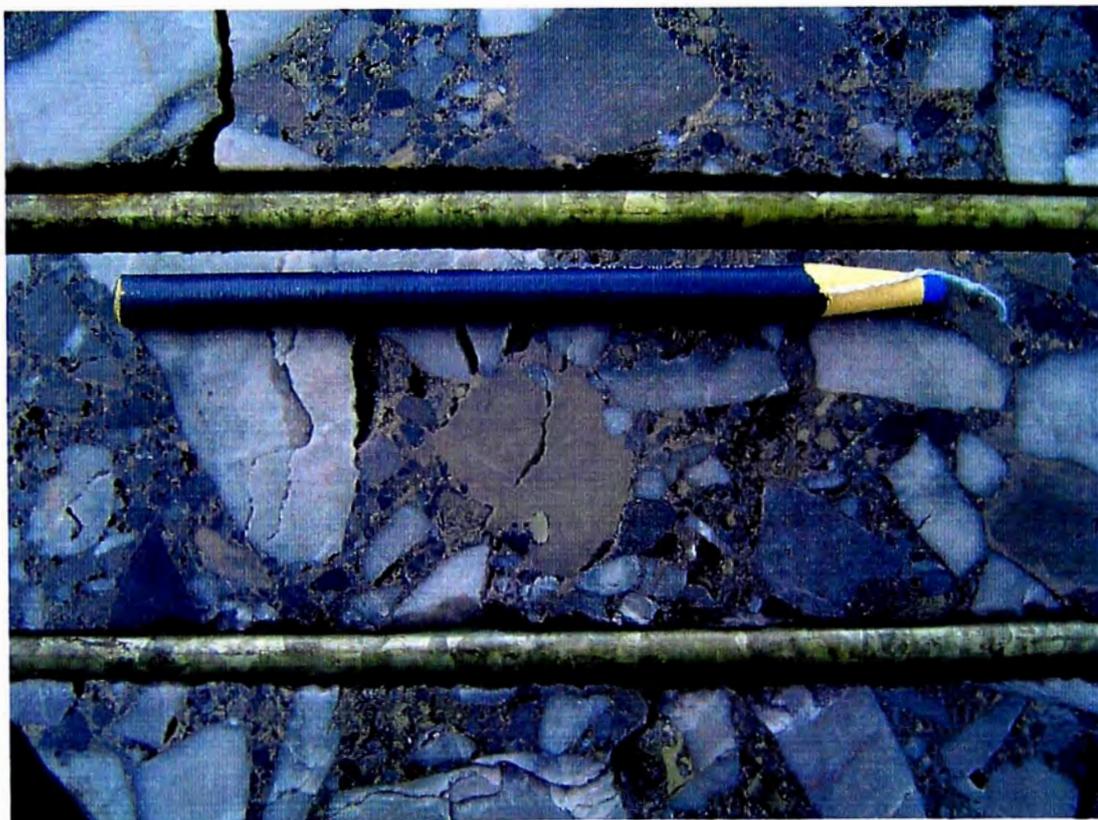


3.9. Mineralización

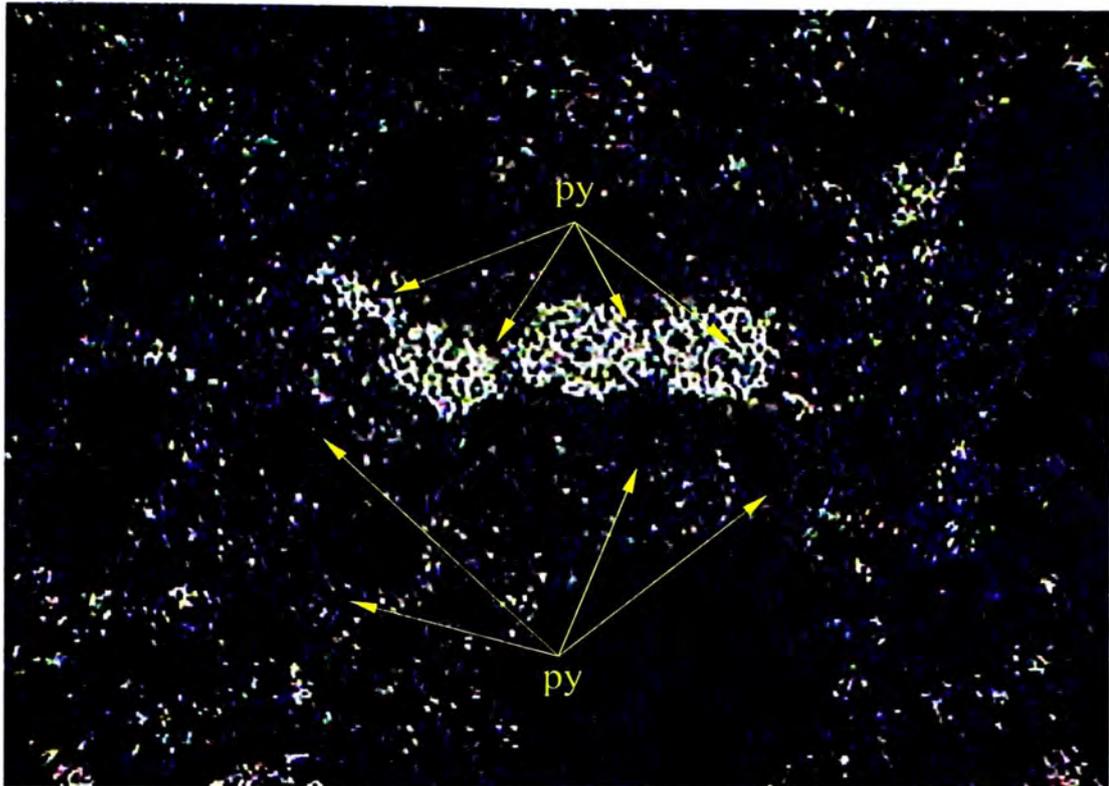
La mineralización en el proyecto es del tipo alta sulfuración, el recurso publicado a fines del año pasado es de 229 MT con 1.24 gr/T Au ó 9.2 Moz. El 80% de la reserva esta contenido dentro de los sedimentos del Chimú y el 20% esta alojado en los volcánicos Calipuy, esta mineralización se desarrolló en un periodo largo y comprende muchos eventos de actividad volcánica, alteración hidrotermal y mineralización. Los procesos de mineralización probablemente involucran actividad hidrotermal continua y las diferentes fases son el resultado de la evolución de este sistema hidrotermal. La mineralización en Dafne se manifiesta de dos formas:

Evento Inicial

Un evento inicial con mineralización de sulfuros, pirita (principalmente) con enargita, que reemplazo la matriz y fragmentos de las facies de Brecha Mixta (mayormente) y brecha de Facies Lítica. En las facies de Brecha Mixta, los sulfuros reemplazan considerablemente los fragmentos juveniles así como la matriz y en las brechas de Facies Lítica, el reemplazo se desarrolla principalmente en la matriz.



Fotografía N° 14. Relleno de sulfuros, principalmente pirita en la matriz.



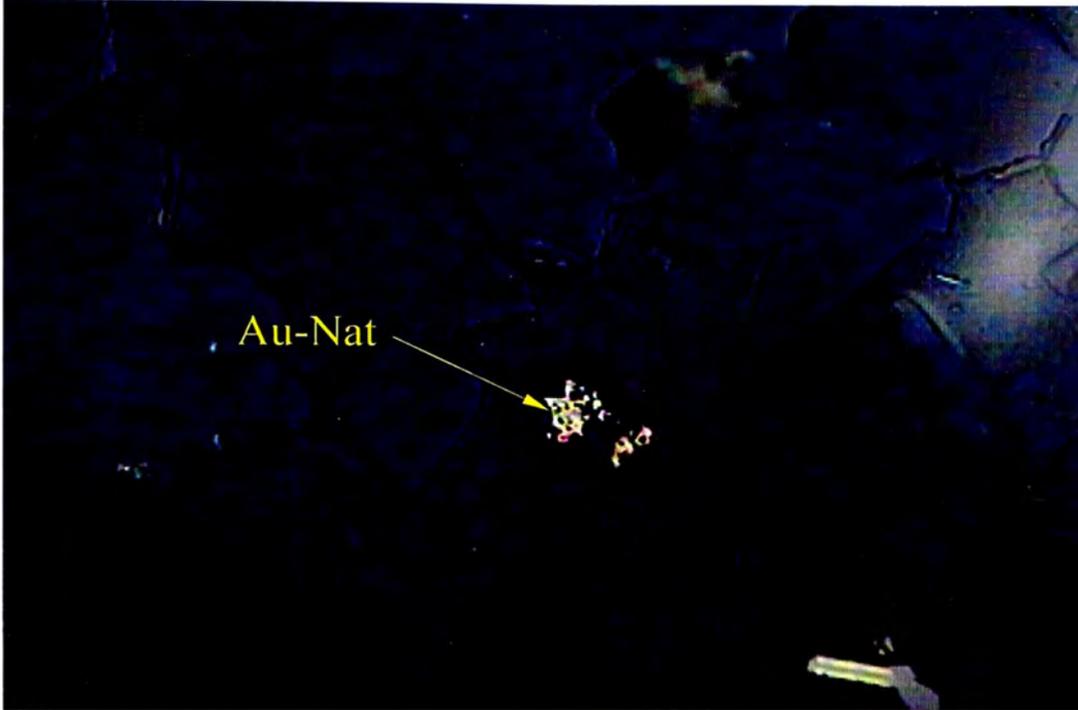
Fotografía N° 15. Luz transmitida. Nícoles cruzados.
Distribución de granos microscópicos de pirita (py), formando
nidos y rodeando individuos de minerales transparentes.

Evento Final

Un evento de alteración-mineralización, con intensa silicificación de la matriz y de los fragmentos de brecha en la facies de Brecha Lítica del diatrema principalmente y en algunas zonas de brecha de facies de Brecha Mixta (generalmente en los contactos de facies líticas-mixtas). Posteriormente se desarrolló una fase de lixiviación, que es mejor desarrollada en las areniscas del Chimú y crea localmente gran cantidad de espacios abiertos a lo largo de fracturas y en la intersección de estas. En las brechas de Facies Lítica, los espacios abiertos fueron tapizados con una capa de cuarzo *drussy*, caracterizado por finos cristales de cuarzo, raramente más grandes de 2mm. Baritina pudo haberse depositado al final de esta fase, ya que ha sido observada creciendo dentro de las cavidades con cuarzo *drussy*.



Fotografía N° 16. Intensa silicificación de la matriz en brecha. Se observa inyección de sílice en la matriz



Fotografía N° 17. Luz reflejada. Nícoles paralelos.
**Detalle de un grano libre de oro nativo (Au-Nat) como inclusión
en la sílice secundaria. Longitud del campo fotografiado = 240 μ m.**

La figura 11 muestra una sección con las unidades litológicas presentes en el área de Dafne.

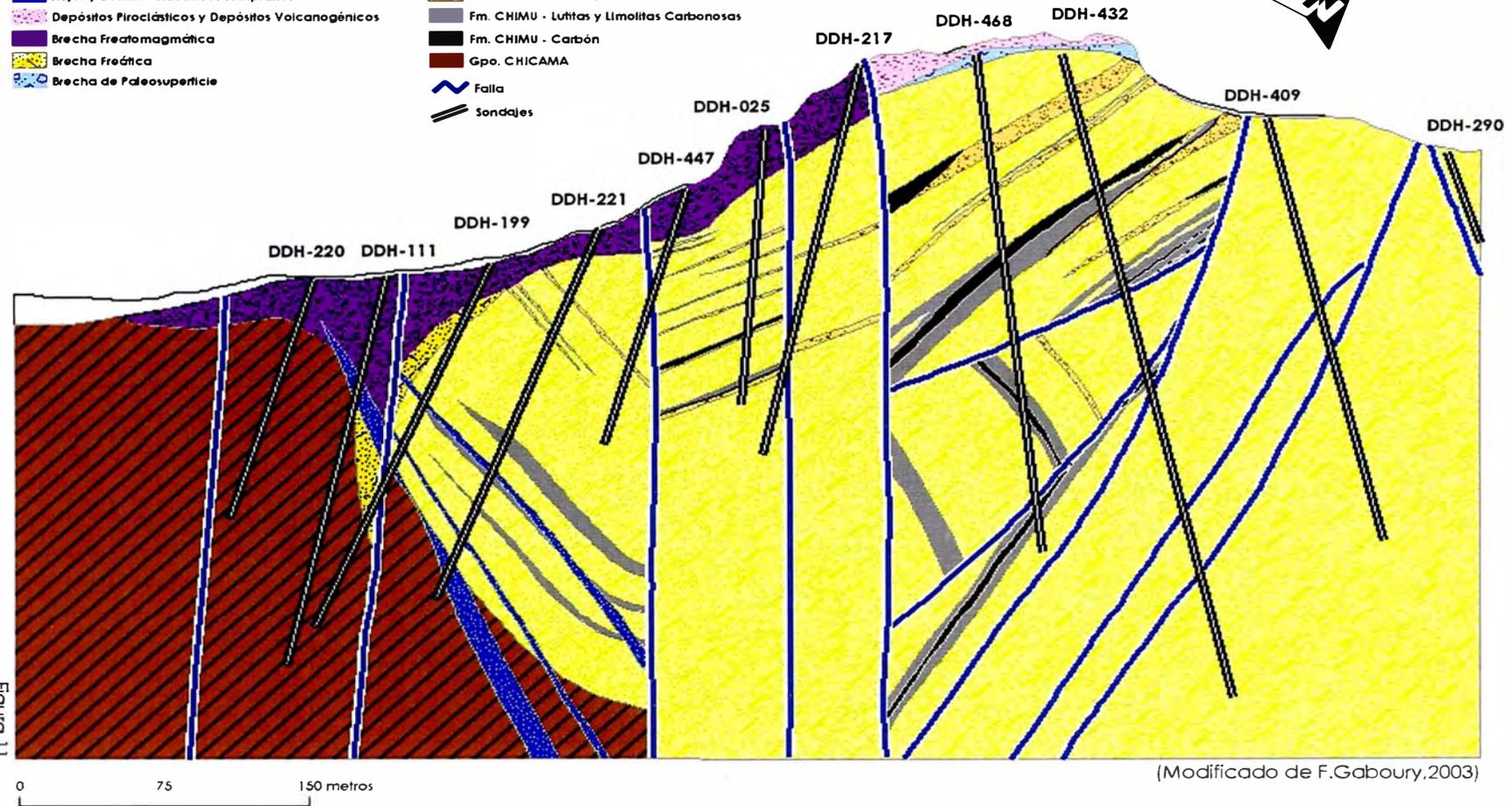
La figura 13 muestra la sección anterior con el detalle de la mineralización

La figura 14 muestra el grafico de AnchoxLey, el cual nos da una buena aproximación de la mineralización en el área de Dafne, principalmente en el diatrema.

LEYENDA

- Depósitos Cuaternarios
- Rujos y Domas Andesíticos Tempranos
- Depósitos Piroclásticos y Depósitos Volcanogénicos
- Brecha Freatomagmática
- Brecha Freática
- Brecha de Paleosuperficie
- Fm. CHIMU - Arenisca
- Fm. CHIMU - Lutitas y Limolitas
- Fm. CHIMU - Lutitas y Limolitas Carbonosas
- Fm. CHIMU - Carbón
- Gpo. CHICAMA
- Falla
- Sondajes

SECCION 4350



LEYENDA

-  Mineralización
-  Falla
-  Sondajes

SECCION 4350

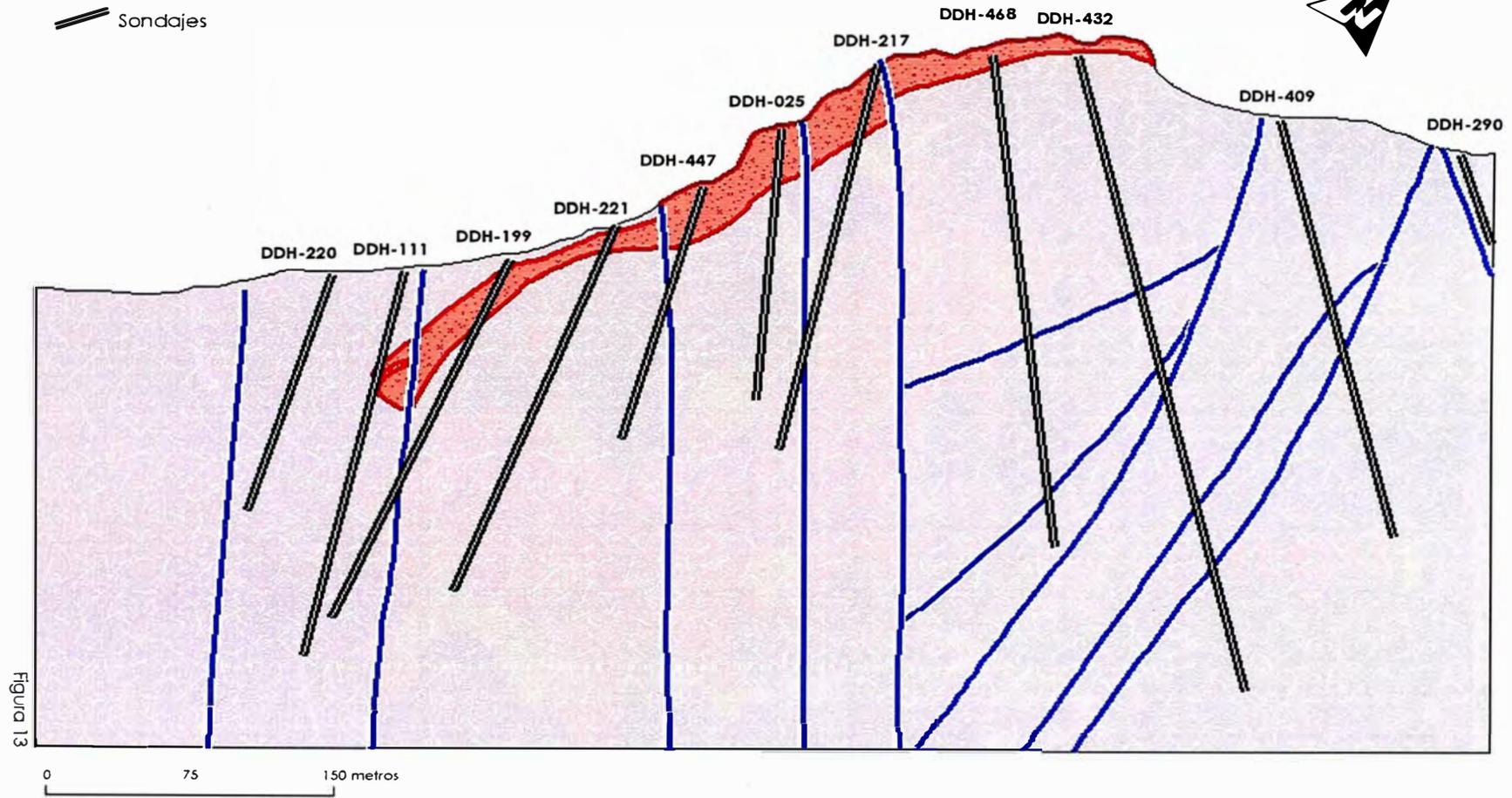


Figura 13

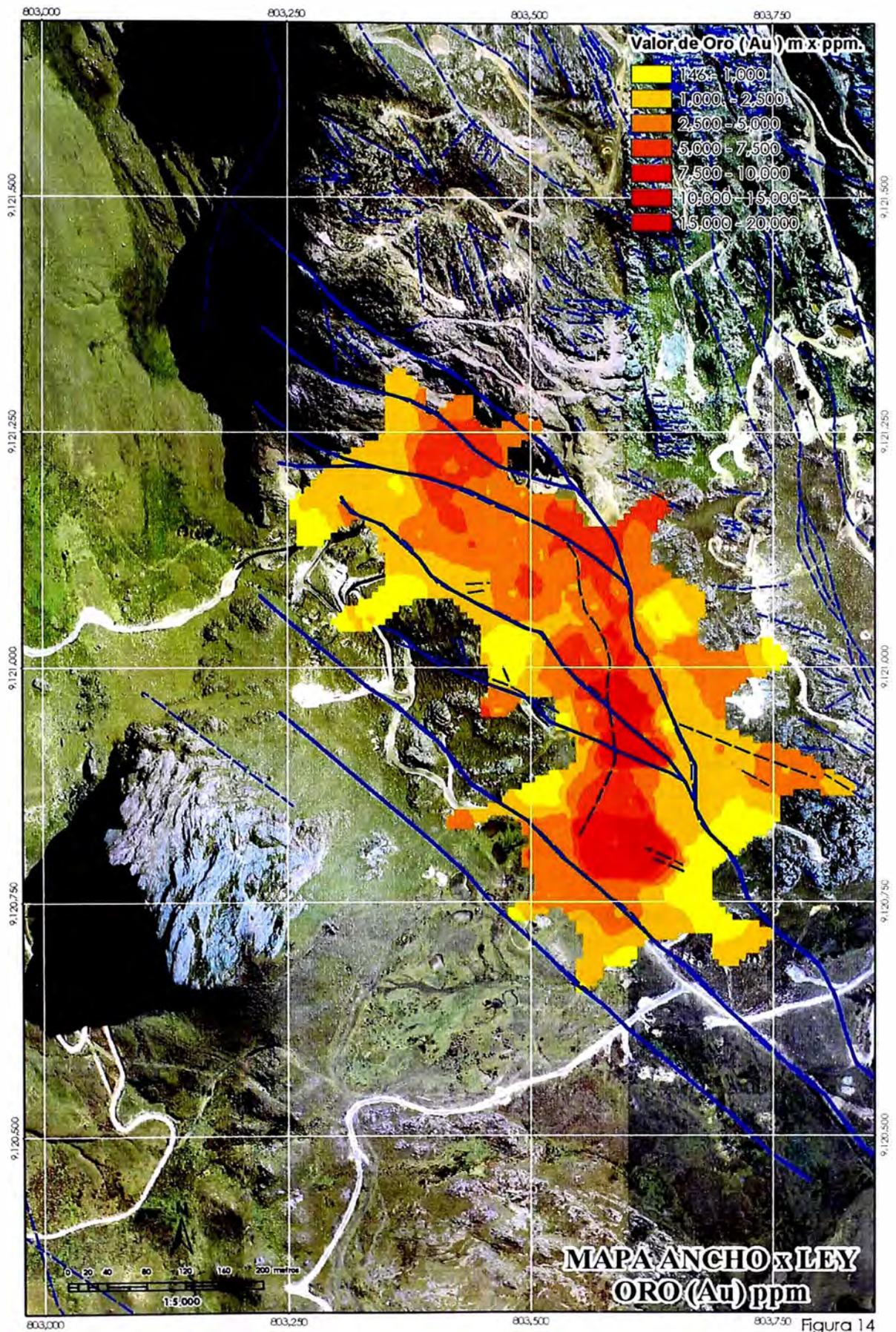


Figura 14

3.10. Geoquímica

Las muestras de sondajes de perforación fueron ensayadas por ICP (32 elementos), el Au y Ag fueron ensayados por *fire assay* y el Hg por *cold vapor*. Se ha trabajado con los siguientes elementos Ag, As, Ba, Bi, Hg, Mo, Pb, Sb, Cu y Zn para tratar de definir sus relaciones con las concentraciones de Au.

Después de haber realizado el estudio estadístico no se han encontrado notables asociaciones de las concentraciones de Au con otros metales, el valor de correlación más alto es de 0.38 con el Hg, por otro lado Ag presenta asociaciones con otros elementos tóxicos y metálicos.

Se han efectuado contorneos para visualizar mejor las asociaciones de Au con otros elementos. Los resultados del estudio de detallan a continuación:

	Au	Ag	As	Ba	Bi	Hg	Mo	Pb	Sb	Cu	Zn
Au	1.00										
Ag	0.29	1.00									
As	0.10	0.46	1.00								
Ba	0.34	0.20	0.20	1.00							
Bi	0.10	0.69	0.51	0.16	1.00						
Hg	0.38	0.84	0.56	0.32	0.62	1.00					
Mo	0.27	0.03	0.12	0.25	0.06	0.16	1.00				
Pb	0.34	0.46	0.53	0.47	0.38	0.59	0.35	1.00			
Sb	0.27	0.79	0.71	0.24	0.71	0.81	0.11	0.60	1.00		
Cu	0.09	0.56	0.68	0.06	0.51	0.56	-0.10	0.28	0.61	1.00	
Zn	0.14	0.23	0.32	0.08	0.24	0.32	0.09	0.28	0.32	0.40	1.00

Tabla N° 01. Coeficientes de Correlación en Brecha Dafne

La figura 15 muestra una vista en planta de la litología del Nivel 4120

La figura 16 muestra el cuerpo mineralizado en el Nivel 4120

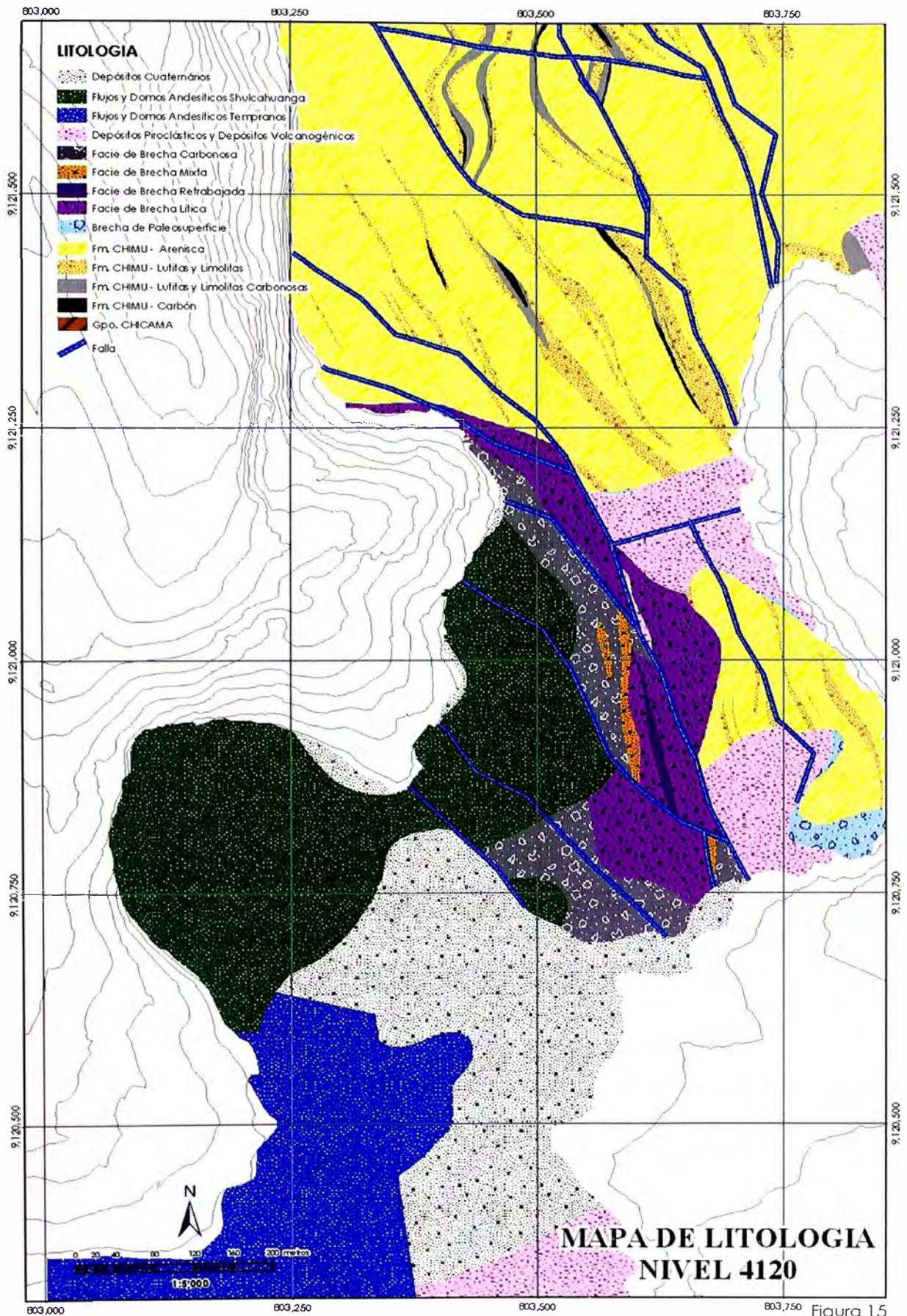


Figura 15

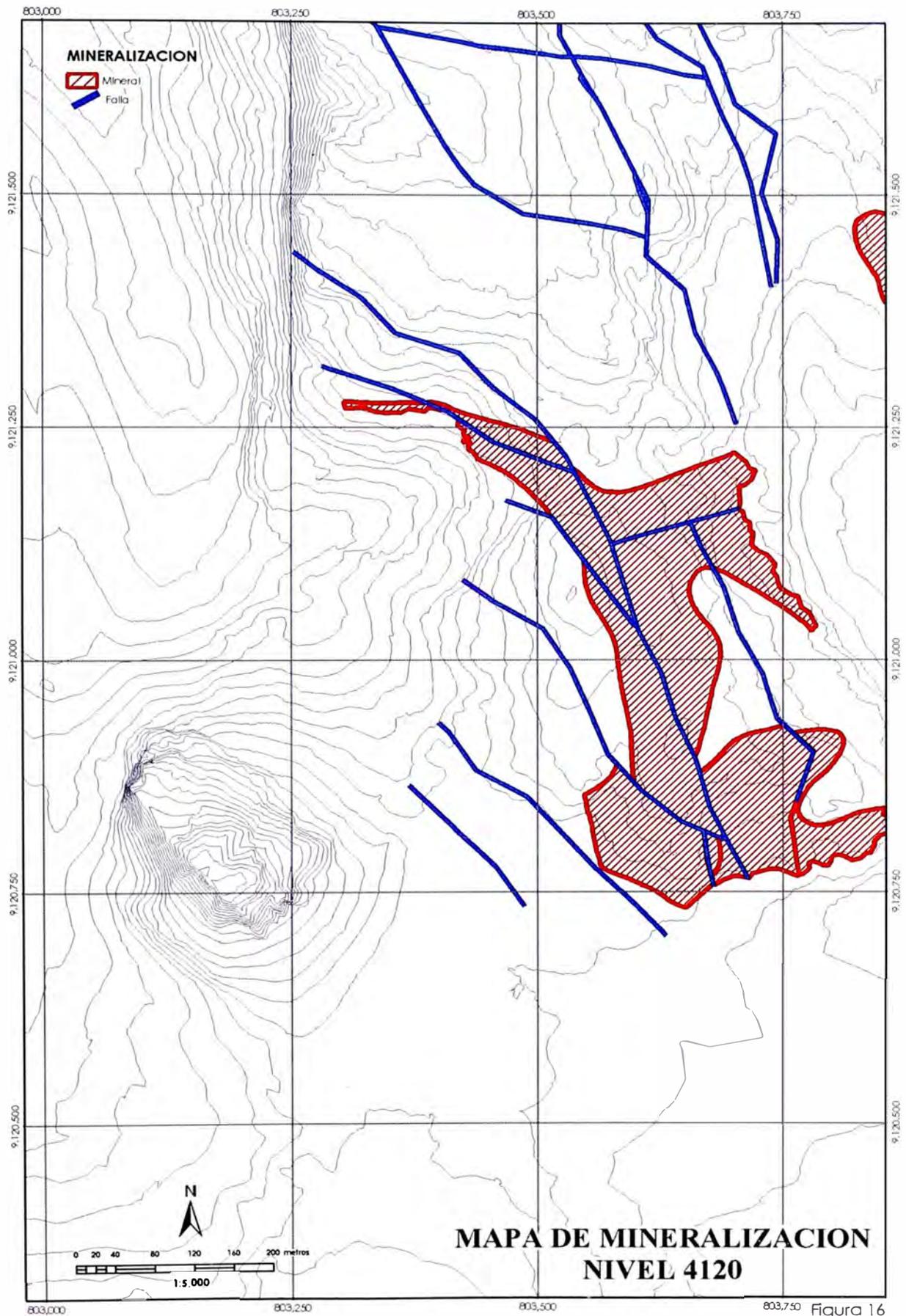


Figura 16

4. Brechas en el área de Dafne

4.1. Introducción

Ante la gran cantidad de terminología para describir o intentar clasificar las brechas, se han propuesto muchos esquemas (Sillitoe, 1985; Baker, 1986; Laznicka, 1988; Taylor y Pollard, 1993 y Corbett y Leach, 1998), los cuales usan terminología netamente genética o una mezcla de terminología genética y descriptiva.

Trabajos recientes efectuados en Kelian – Indonesia, un sistema epitermal de baja sulfuración, con ocurrencia de brechas de ciertas características similares a las desarrolladas en Las Lagunas Norte, se optó por aplicar la metodología usada en este depósito para clasificar las brechas (Davies, et al., 2000).

La metodología empleada en Kelian es una aproximación sistemática para la descripción e interpretación de brechas, basadas en una toma detallada de datos en forma descriptiva principalmente y se basa en una amplia clasificación genética. La clasificación e interpretación de brechas presenta la siguiente sistemática:

1. Descripción sistemática de los componentes, organización interna, geometría, relaciones con la vecindad de rocas, contactos y alteración.
2. Las brechas descritas son asignadas a facies.
3. Las facies son agrupadas o combinadas en asociaciones de facies.
4. Finalmente se aplica una clasificación genética.

4.1.1. Descripción de brechas

Para describir las brechas las separamos en varios componentes: clastos, matriz, cemento y espacios abiertos. Las observaciones que se hagan en este paso deben ser hechas en varias escalas, muestras de mano o de testigo de perforación son muy útiles para describir los detalles de la matriz y componentes del cemento, forma de los clastos y relaciones paragenéticas.

Observaciones a escala de afloramiento son esenciales para determinar la organización interna del cuerpo de brecha y sus relaciones con la vecindad de las rocas. Los tipos de contacto se observan mejor a escala de afloramiento.

4.1.2. Definición de facies de brecha

Dentro de un cuerpo de brecha, generalmente existen variaciones considerables en las características y organización interna, es útil separar un

cuerpo de brecha en varias facies o describir cuerpos individuales de brecha como facies.

4.1.3. Asociación o agrupación de facies de brecha

Las facies determinadas previamente se pueden agrupar en asociaciones de facies, ya que una facies de brecha puede variar lateralmente en su arreglo, distribución de clastos, etc, pero pertenecen al mismo evento. Asociaciones de facies pueden estar basadas en características espaciales, texturales, mineralógicas y composición de matriz.

4.1.4. Clasificación Genética

La clasificación genética se basa principalmente en el mecanismo de fragmentación que originó la brecha (tectónico, hidrotermal, magmático o volcánico). Sin considerar la profundidad de formación, la mayoría de las brechas pueden ser atribuidas a uno o a combinación de estos procesos. La principal dificultad en determinar el origen de la brecha es el reconocer la interacción entre las etapas de generación, brechamiento y pos-brechamiento. Así tenemos la siguiente clasificación:

A. Brechas Mágicas: Son brechas con una matriz ígnea, la cual se puede formar por una variedad de procesos, principalmente por inyección de magma en rocas fracturadas o zonas de falla pre-existentes.

B. Brechas Hidrotermales: En sentido general se aplica a la formación de roca fracturada o cementada por procesos hidrotermales (expansión de gas, corrosión, depositación mineral, inyección de fluidos, etc.), sin considerar la fuente del fluido (meteórico, magmático-hidrotermal, agua de mar), fase fluida (líquido, vapor) o composición del fluido (diluido, salino o hipersalino). Otras subdivisiones de esta clase de brechas son las freáticas y magmático hidrotermales (Sillitoe, 1985).

C. Brechas Volcánicas: Existe una gran clasificación propuesta por McPhie (1993), en las que se incluye la autobrecha, hialoclastitas y brechas volcanoclásticas. La superposición entre brechas volcánicas y brechas hidrotermales ocurren cuando el magma entra en contacto con sistemas hidrotermales produciendo explosiones híbridas magma-vapor y erupciones (explosiones freatomágicas).

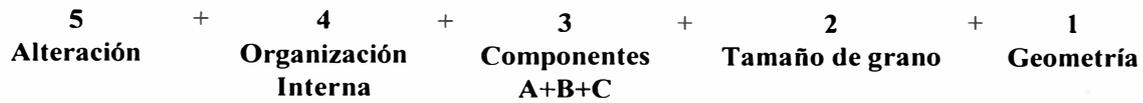
D. Brechas Tectónicas: Se incluyen en este grupo brechas de falla y brechas de dilatación, puede existir una superposición entre brechamiento tectónico, hidrotermal y magmático que generalmente se manifiesta como vetas brecha, donde movimientos de falla favorecen la migración de fluidos hacia zonas fracturadas más permeables, posterior actividad hidrotermal puede cementar o sellar la falla.

4.2. Desarrollo de Brechas

La descripción de las muestras se desarrolla mediante un esquema de clasificación de brechas que con algunos inconvenientes, que tiene que ver si es que una brecha debe ser clasificada por su mecanismo de activación, proceso de fragmentación o eventos post brechamiento. Así por ejemplo tenemos una brecha crackle cementada por cuarzo que se puede haber formado por movimiento de fallas y una posterior depositación de cemento hidrotermal. La brecha es producto de fragmentación tectónica y cementación hidrotermal, si el primer evento no es identificable, la brecha sería clasificada como brecha hidrotermal.

Lo importante para resaltar es analizar que proceso es más significativo para la formación de la brecha, mineralización o entendimiento del sistema de brechas.

Esquema para describir las brechas



1 Geometría

- Forma: Pipe, cono, dike, veta, irregular, tabular
- Contactos: Agudo, gradacional, fallado, irregular, planar, concordante, discordante

2 Tamaño de grano (clastos)

- Microbrecha (< 2 mm)
- Brecha (>2 mm)

3 Componentes

A Clastos

- Monomítico o polimítico
- Litología, veta, brecha, juvenil magmático, mineralizado, alterado
- Angular, subangular, subredondeado, redondeado

B Matriz

- Polvo de roca, fragmentos de cristales, fragmentos líticos, material volcánico
- Bandeado, laminado, masivo
- arcilla, limo, arena, grava, pebble

C Cemento

- Mineralogía de mena y ganga y tamaño de grano
- Masiva, *drussy*, bandeada

D Espacios Abiertos

4 Organización Interna

- Abundancia de clastos (clasto/matriz/cemento soportado)
- Distribución de clastos (jigsaw, crackle, sheeted, rotada, in situ, caótico)
- Masivo (no gradado) o gradado
- Estratificado o no estratificado

5 Alteración

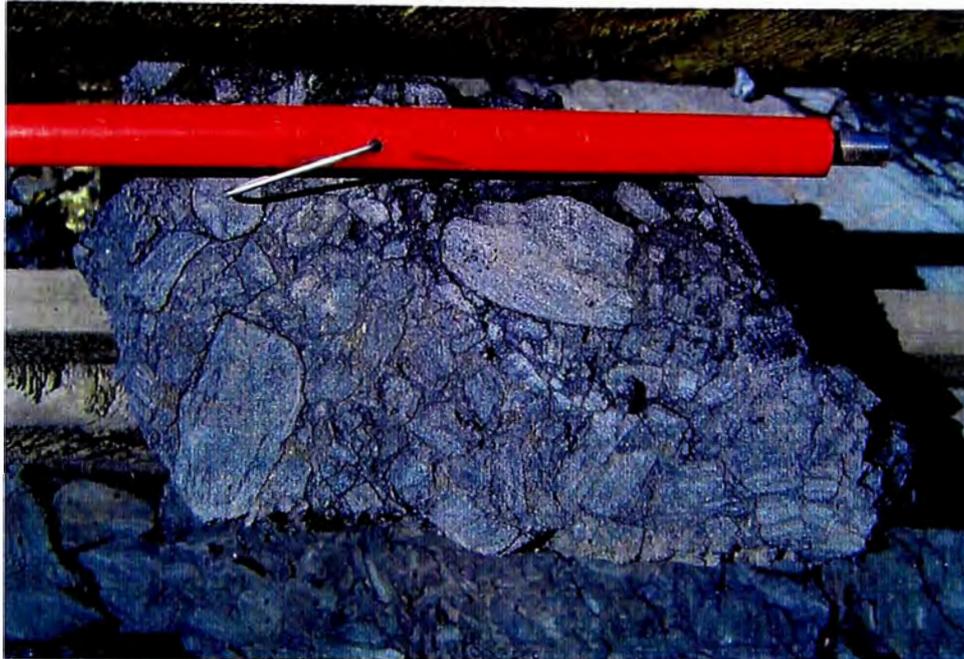
- clasto/matriz/cemento y paragénesis

* Combinación ideal: 5+4+3+2+1

* Mínima combinación: 4+3+2

Tabla N° 04. Basado en Davies, A.G.S., Cooke D.R. y Gemmell, B., 2000. Breccias associated with epithermal and porphyry systems-towards a systematic approach to their description and interpretation. Centre for Ore Deposit Research, an ARC Special Research Centre at the University of Tasmania.

4.2.1. Brecha Monomítica matriz Polvo de Roca



Descripción de brecha

- 1 Geometría**
 - Forma: Irregular
 - Contactos: Discordante
- 2 Tamaño de grano (clastos)**
 - Brecha (5-40 mm)
- 3 Componentes**
 - A Clastos**
 - Monomítico
 - Limolitas carbonosas
 - Subangulosos-subredondeados
 - B Matriz**
 - Polvo de roca
 - Masivo
 - Limo
 - C Cemento**
 - No presenta
 - D Espacios Abiertos**
 - Ninguno
- 4 Organización Interna**
 - Matriz soportada
 - Masivo (no gradado)
 - No estratificado
- 5 Alteración**
 - No presenta alteración

Nombre: Brecha monomítica, matriz polvo de roca soportada, clastos de limolita carbonosa

Definición de facies de brechamiento: Brecha monomítica matriz polvo de roca BMMP

Asociación o agrupación de facies de brechamiento: FACIES FREATICA EN CHICAMA

Clasificación Genética: BRECHA FREATICA

4.2.2. Brecha Monomítica matriz Cuarzo Granular



Descripción de brecha

- 1 Geometría**
 - Forma: Irregular
 - Contactos: Discordante
- 2 Tamaño de grano (clastos)**
 - Brecha (5-45 mm)
- 3 Componentes**
 - A Clastos**
 - Monomítico
 - Areniscas cuarzosas
 - Subangulosos-subredondeados
 - B Matriz**
 - Cuarzo granular
 - Masivo
 - Arena
 - C Cemento**
 - No presenta
 - D Espacios Abiertos**
 - Ninguno
- 4 Organización Interna**
 - Matriz soportada
 - Masivo (no gradado)
 - No estratificado
- 5 Alteración**
 - No presenta alteración

Nombre: Brecha monomítica, matriz cuarzo granular soportada, clastos de arenisca cuarzosa

Definición de facies de brechamiento: Brecha monomítica matriz cuarzo granular BMMG

Asociación o agrupación de facies de brechamiento: FACIES FREATICA EN CHIMU

Clasificación Genética: BRECHA FREATICA

4.2.3. Brecha Polimíctica matriz Polvo de Roca



Descripción macroscópica

Roca de aspecto brechoso, bastante poroso; compuesta por fragmentos líticos silicificados (areniscas principalmente) y cavidades con relleno de minerales secundarios de formas tabulares (baritina), dichos componentes se encuentran inmersas en matriz silicificada.

Los fragmentos líticos silicificados son de color gris claro a oscuro, presentan formas subredondeadas a subangulosas y dimensiones centimétricas a milimétricas.

Descripción de brecha	
1 Geometría	
- Forma: Irregular	
- Contactos: Discordante	
2 Tamaño de grano (clastos)	
- Brecha (5-35 cm)	
3 Componentes	
A Clastos	
- Polimíctico	
- Líticos accidentales (areniscas cuarzosas, limolitas y lutitas carbonosas)	
- Líticos accidentales angulosos - subangulosos	
B Matriz	
- Fragmentos líticos-polvo de roca	
- Masivo	
- Arena	
C Cemento	
- Silice	
D Espacios Abiertos	
- 10%	
4 Organización Interna	
- Matriz soportada	
- Caótico	
- Masivo (no gradado)	
- No estratificado	
5 Alteración	
- Matriz: Silicificación	
- Paragénesis: Silicificación de matriz después del emplazamiento de la brecha que trajo la mineralización	
Nombre:	Brecha polimíctica, matriz soportada
Definición de facies de brechamiento:	Brecha Polimíctica matriz polvo de roca - BPMP
Asociación o agrupación de facies de brechamiento:	FACIES DE BRECHA LITICA
Clasificación Genética:	BRECHA HIDROTERMAL

Descripción microscópica

Texturas y relaciones de conjunto

Roca fuertemente silicificada, presenta textura brechosa constituida principalmente por granos policristalinos de cuarzo, con bordes de sutura intergranular (fragmentos de arenisca), de dimensiones milimétricas, en algunos granos se pueden observar bordes de crecimiento sintaxial y ocasionalmente “parches” con partículas de materia carbonosa, estos componentes presentan formas subredondeadas a subangulosas. La muestra presenta cavidades tapizadas con cristales de cuarzo, finas diseminaciones de cristales de rutilo y rellenos de cristales tabulares de baritina de dimensiones milimétricas.

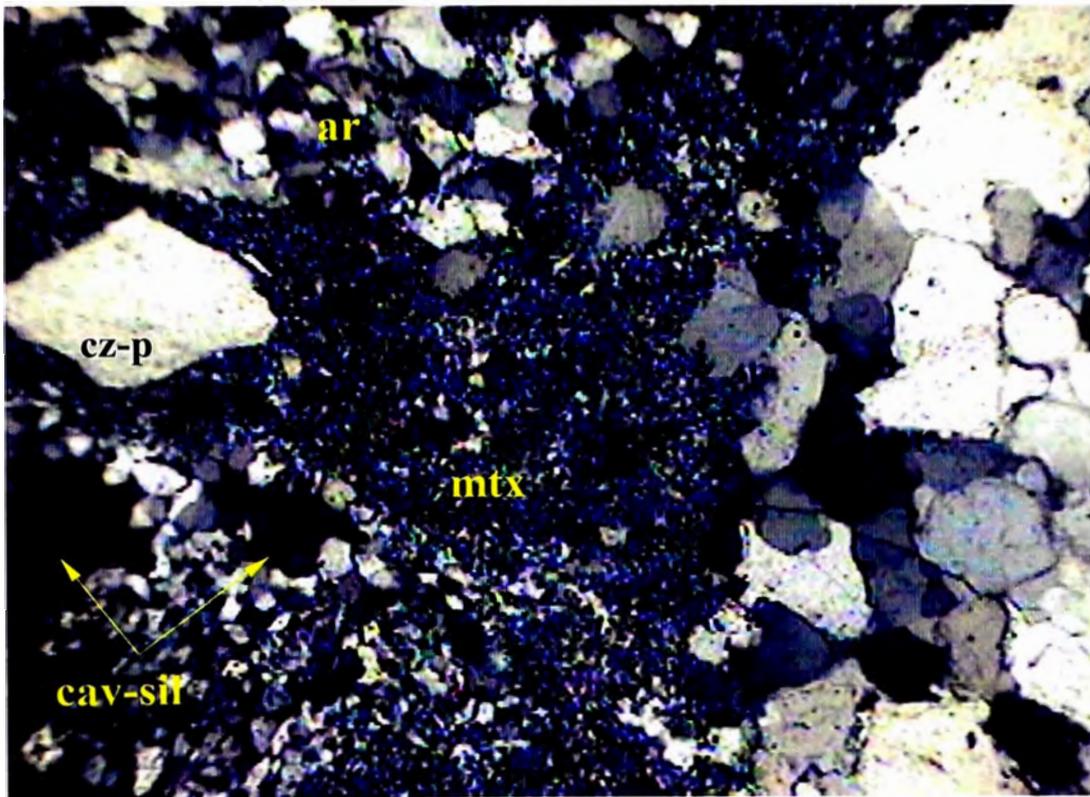
Estudio con luz reflejada

La muestra presenta solo trazas de pirita muy fina menor a 50 μm ; además, se ha determinado la presencia de un grano aislado de oro mostrando forma anhedral, inmerso en el cuarzo. También es posible la escasa presencia de electrum.

Alteraciones hidrotermales

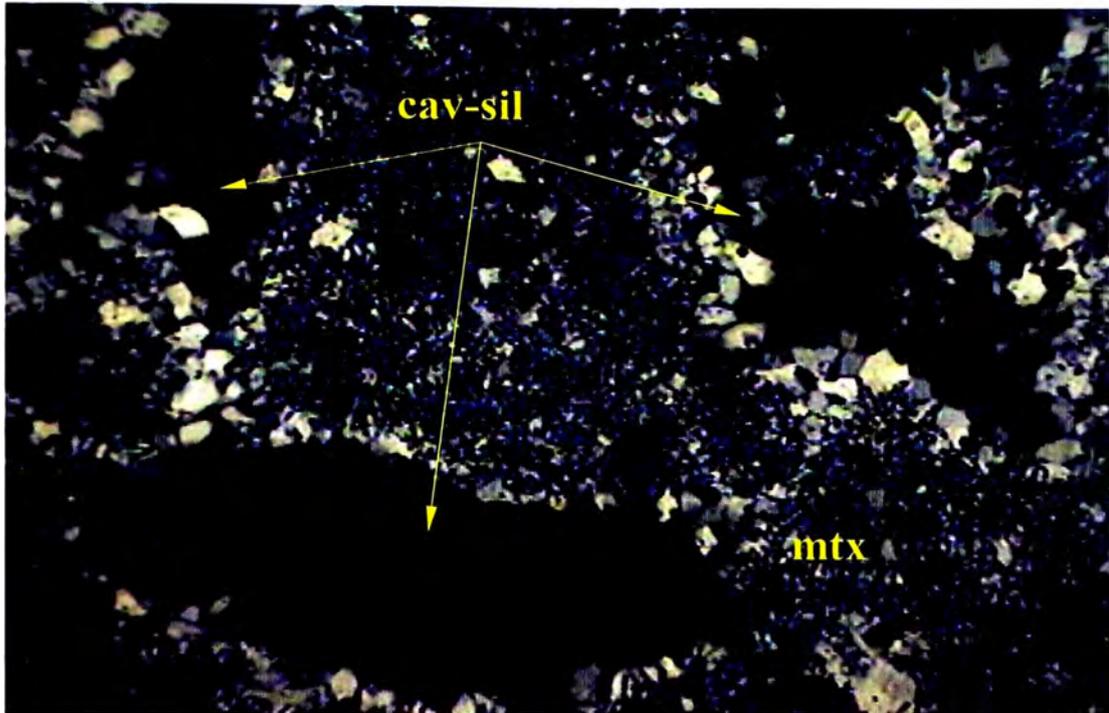
Silicificación Fuerte

Fotomicrografías

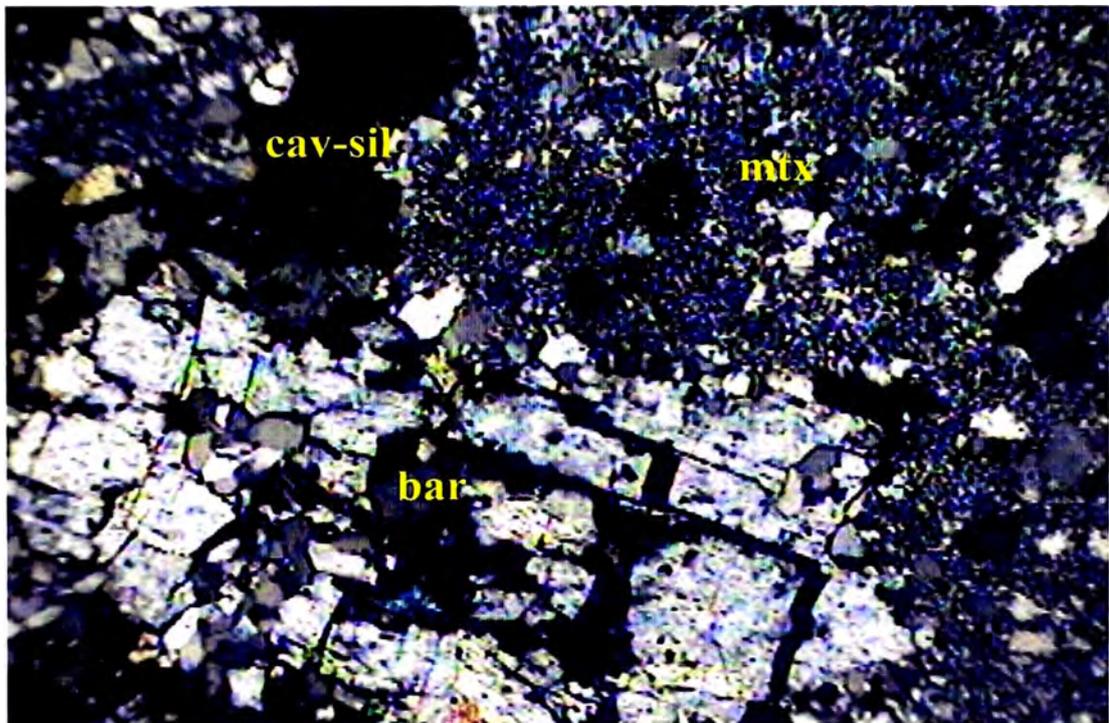


Fotomicrografía N° 01. Luz transmitida, nicoles cruzados
Vista de los fragmentos de arenisca (ar), granos libres de cuarzo primario (cz-p) y cavidades tapizadas con sílice (cav-sil).

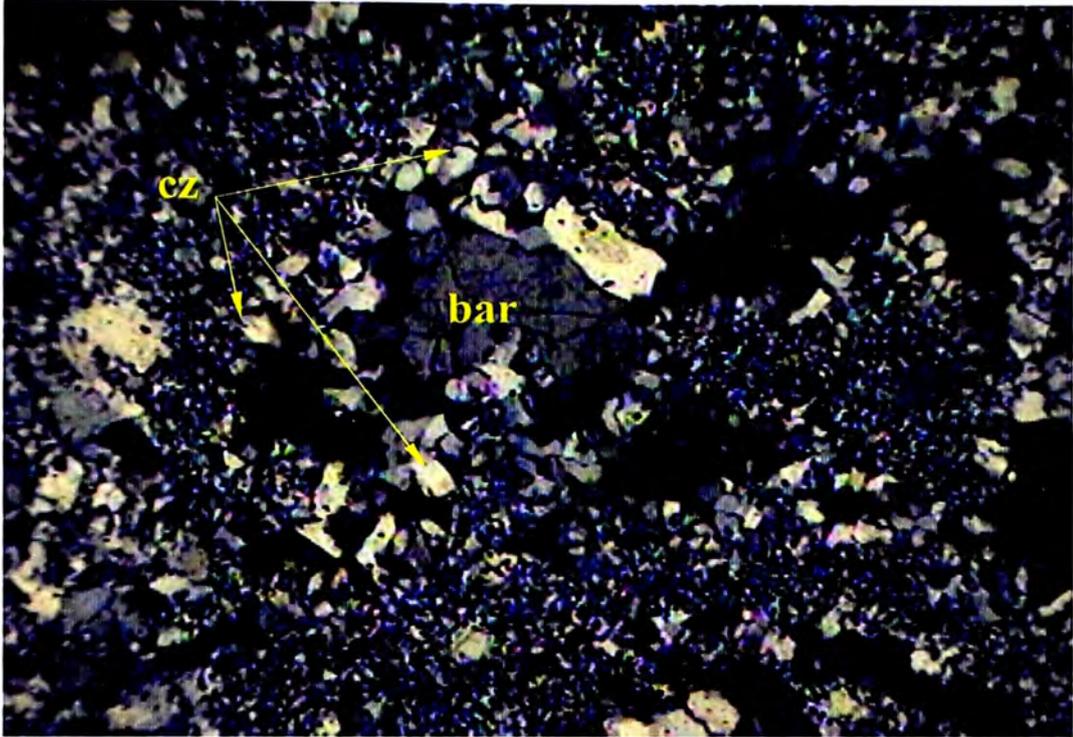
Longitud del campo fotografiado = 1950 μm .



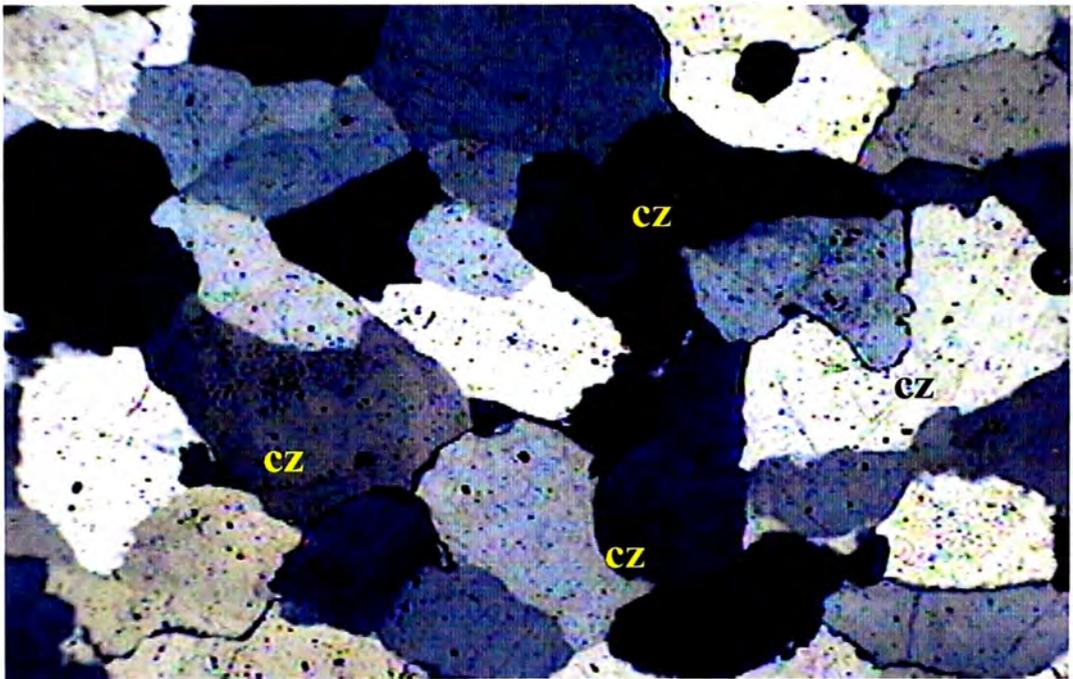
Fotomicrografía N° 02. Luz transmitida, nicoles cruzados
 Se observan cavidades cuyas paredes se encuentran tapizadas con finos cristales de cuarzo (cav-sil), en una matriz (mtx) de sílice muy fina. Longitud del campo fotografiado = 1950 μm .



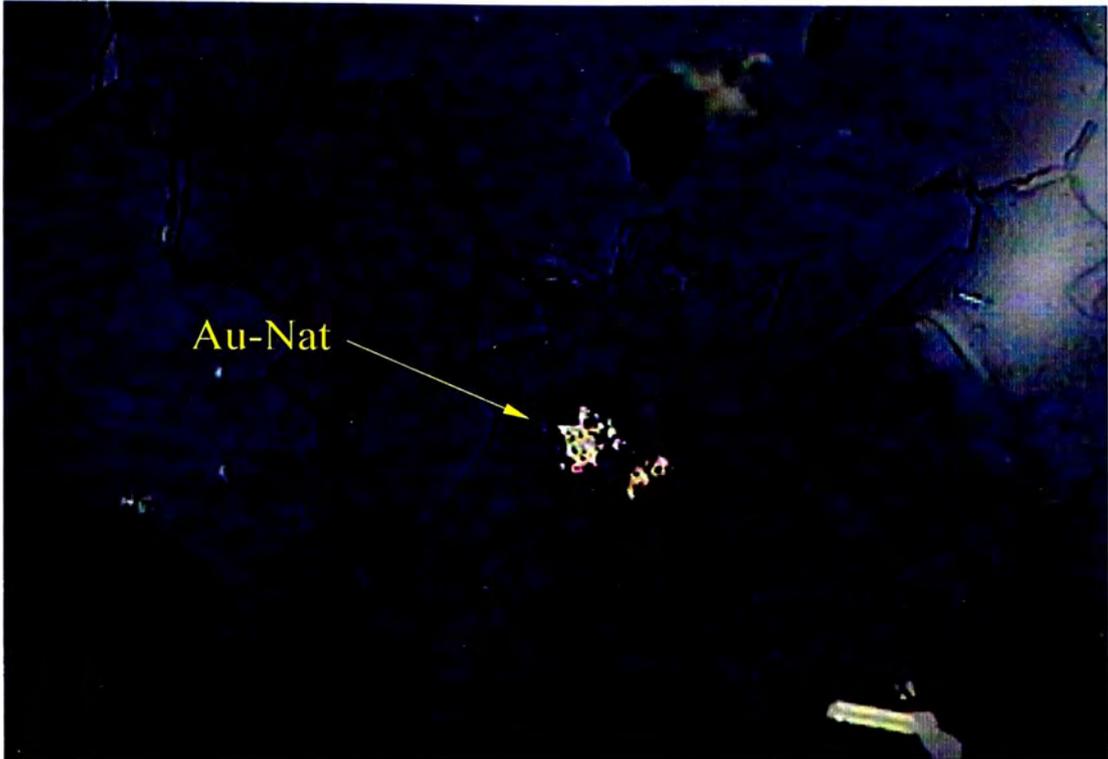
Fotomicrografía N° 03. Luz transmitida, nicoles cruzados
 Cavidades con rellenos de baritina (bar) y en otros casos solo se observan con las paredes tapizadas con cuarzo cristalizado (cav-sil) en matriz (mtx) silicificada. Longitud del campo fotografiado = 1950 μm .



Fotomicrografía N° 04. Luz transmitida, nícoles cruzados. También se observan cavidades tapizados con cuarzo (cz) muy fino y rellenos con individuos de baritina (bar). Longitud del campo fotografiado = 1950 μm .



Fotomicrografía N° 05. Luz transmitida, nícoles cruzados
 Detalle de un fragmento de arenisca con bordes de crecimiento sintaxial de los diferentes granos de cuarzo (cz). Longitud del campo fotografiado = 1950 μm .



Fotomicrografía N° 06. Luz reflejada, nicoles paralelos.
Detalle de un grano libre de oro nativo (Au-Nat) como inclusión en la sílice secundaria. Longitud del campo fotografiado = 240 μm .

4.2.4. Brecha Polimíctica matriz Polvo de Roca Retrabajada



Descripción de brecha

1 Geometría

- Forma: Tabular
- Contactos: Concordante

2 Tamaño de grano (clastos)

- Brecha (3-12 mm)

3 Componentes

A Clastos

- Polimíctico
- Líticos accidentales (areniscas cuarzosas y limolitas carbonosas)
- Líticos accidentales subangulosos-subredondeados

B Matriz

- Polvo de roca
- Laminado
- Arena

C Cemento

- Silicificación

D Espacios Abiertos

- 5%

4 Organización Interna

- Matriz soportada
- Caótico
- Estratificado

5 Alteración

- Clastos: líticos con débil silicificación
- Matriz: silicificación de matriz
- Paragénesis: Silicificación de matriz después del emplazamiento de la brecha que trajo la mineralización

Nombre: Brecha polimíctica, matriz soportada, retrabajada

Definición de facies de brechamiento:

Brecha polimíctica matriz polvo de roca retrabajada BPMPR

Asociación o agrupación de facies de brechamiento:

FACIES DE BRECHA RETRABAJADA

Clasificación Genética:

BRECHA HIDROTERMAL

4.2.5. Brecha Polimíctica matriz Carbonosa



Descripción macroscópica

Roca de aspecto brechoso, algo poroso; compuesta por fragmentos líticos (areniscas, limonitas y lutitas) y cavidades con relleno de color amarillento de minerales secundarios (alunita, arcillas), inmersos en matriz algo silicificada.

Los fragmentos líticos son de color gris claro a oscuro, presentan formas subredondeadas a subangulosas y dimensiones promedio de 2 cm pudiendo ser mayores a 3 cm.

Las cavidades con relleno son milimétricas y mayormente de formas tabulares. La matriz es silíceica y de color gris oscuro. Los clastos y oquedades insinúan cierta orientación.

Descripción de brecha

1 Geometría

- Forma: Irregular
- Contactos: Discordante

2 Tamaño de grano (clastos)

- Brecha (3-40 mm)

3 Componentes

A Clastos

- Polimíctico
- Juveniles magmáticos alterados a dickita
Líticos accidentales (areniscas cuarzosas y limolitas carbonosas)
- Juveniles magmáticos irregulares
Líticos accidentales subangulosos-subredondeados

B Matriz

- Polvo de roca (carbonosa)
- Masivo
- Limos

C Cemento

- No presente

D Espacios Abiertos

- Ninguno

4 Organización Interna

- Matriz soportada
- Caótico
- Masivo (no gradado)
- No estratificado

5 Alteración

- Clastos: juveniles magmáticos alterados intensamente a dickita
- Matriz: escaso dickita
- Paragénesis: Alteración selectiva del material juvenil magmático a dickita.

Nombre: Brecha polimíctica, matriz carbonosa soportada

Definición de facies de brechamiento: Toba brechosa matriz carbonosa PTMK

Asociación o agrupación de facies de brechamiento: FACIES DE BRECHA CARBONOSA

Clasificación Genética: BRECHA FREATOMAGMATICA

Descripción microscópica

Texturas y relaciones de conjunto

Roca alterada de textura brechosa constituida principalmente por granos policristalinos de cuarzo, con bordes de sutura intergranular (fragmentos de arenisca) de formas subredondeadas a subangulosas, dimensiones milimétricas y en algunos granos se muestra bordes de crecimiento sintaxial.

Las cavidades presentan dimensiones milimétricas hasta centimétricas con relleno de arcillas y alunita.

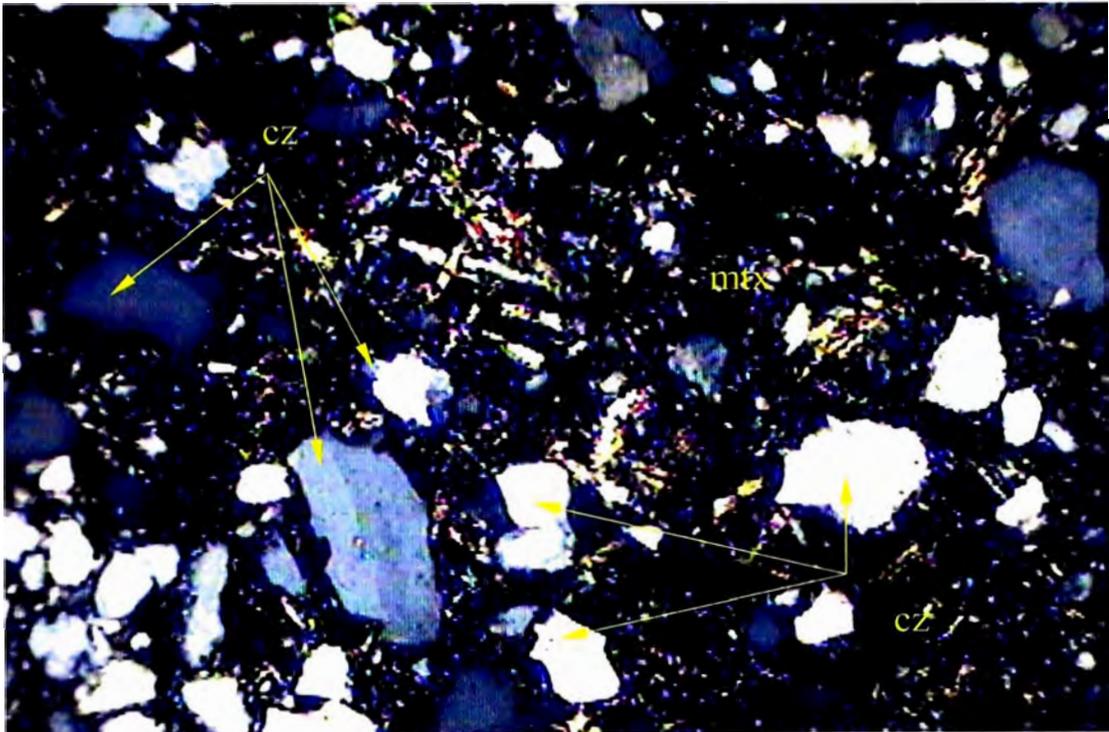
También se observan relictos de cuarzo primario de hasta 200 μm con bordes subangulosos. La matriz de sílice granular muy fina e

intercrecida con arcillas, alunita muy fina y “parches” con partículas de materia carbonosa. En la matriz se observan finas diseminaciones de rutilo y zircón a nivel de trazas.

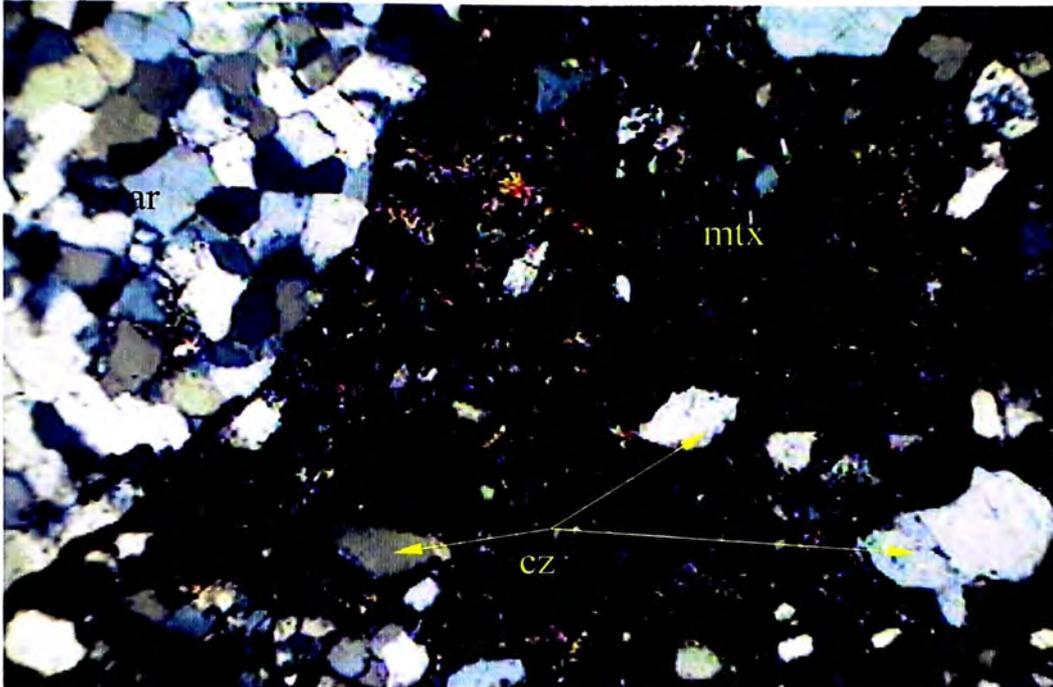
Alteraciones hidrotermales

Argilización avanzada Moderada

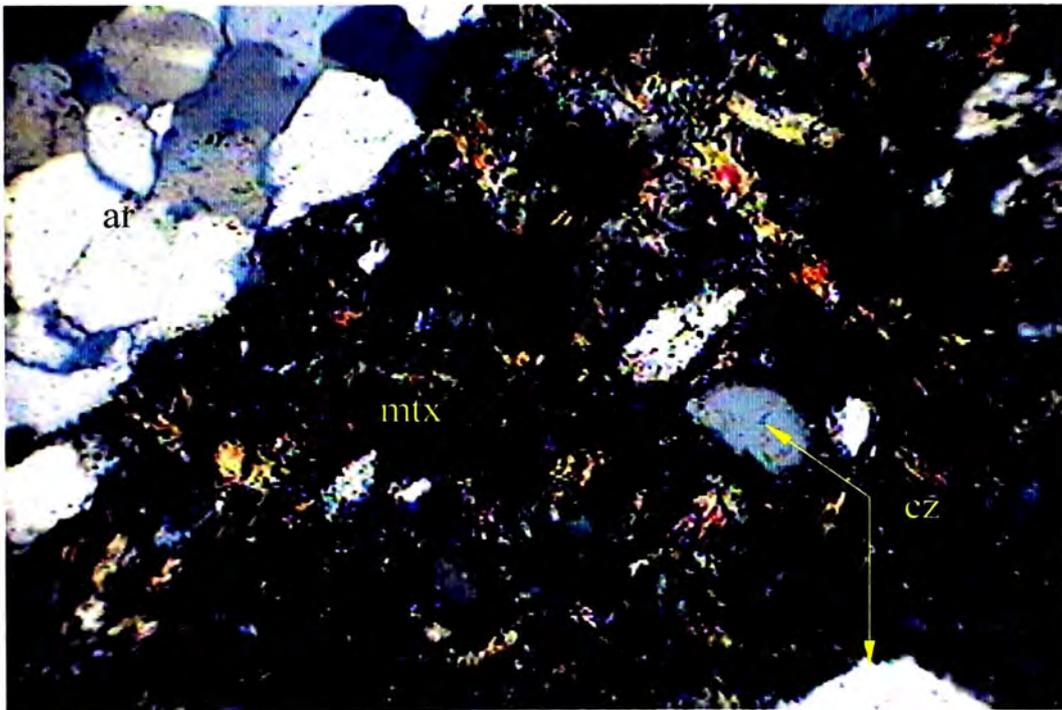
Fotomicrografías



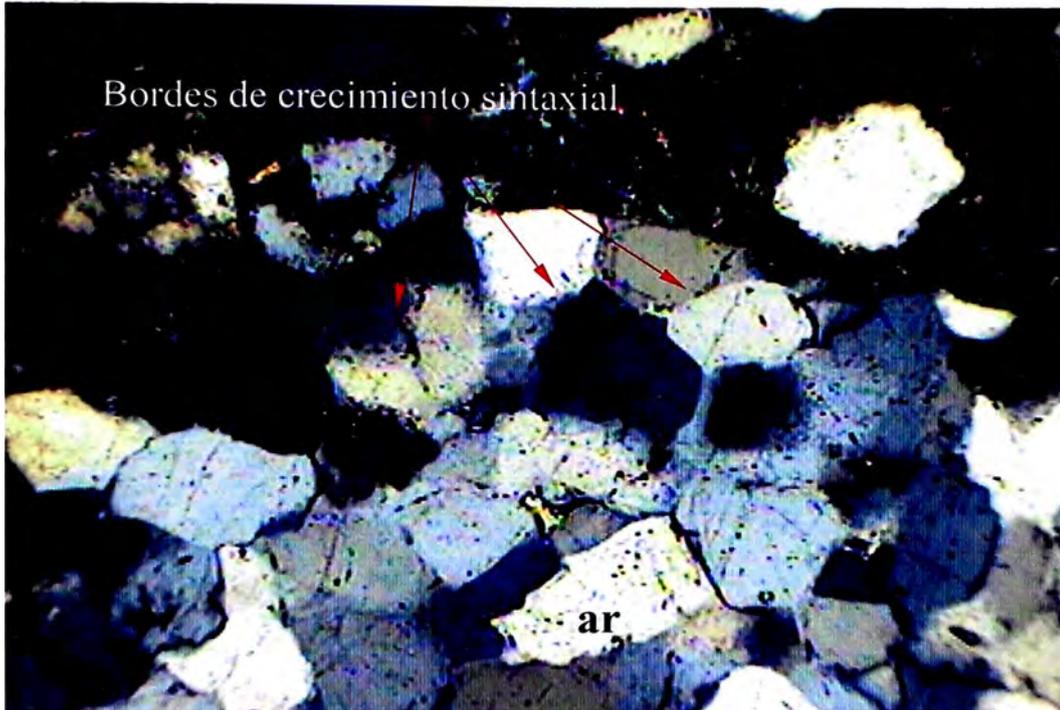
Fotomicrografía N° 07. Luz transmitida, nicoles cruzados
Vista de la distribución de los granos libres de cuarzo (cz) en
matriz (mtx) de sílice, alunita, arcillas y posiblemente materia orgánica.
Longitud del campo fotografiado = 1950 μm .



Fotomicrografía N° 08. Luz transmitida, nícoles cruzados
 Fragmentos de arenisca (ar) y granos libres de cuarzo (cz) inmersos en una matriz (mtx) de sílice muy fina, arcillas, alunita y posiblemente materia orgánica.
 Longitud del campo fotografiado = 1950 μm .

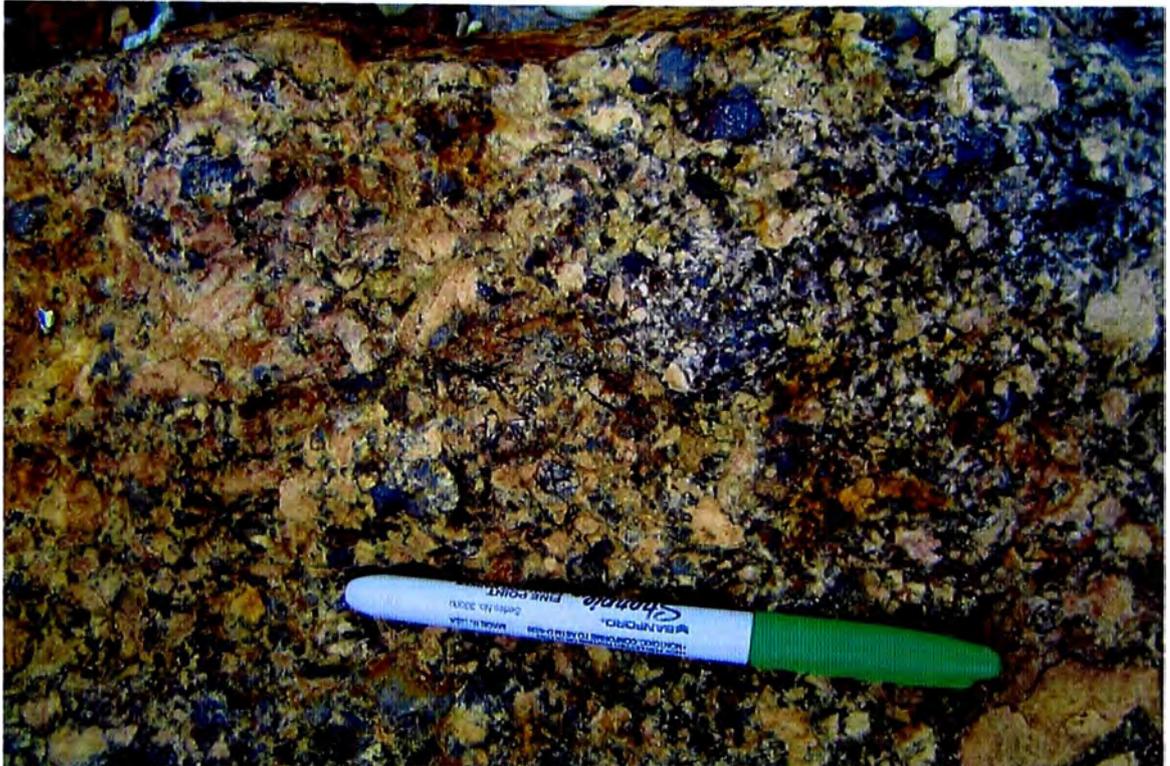


Fotomicrografía N° 09. Luz transmitida, nícoles cruzados
 Se observa la matriz (mtx) con granos de cuarzo (cz) libre y Fragmentos de arenisca (ar). Longitud del campo fotografiado = 960 μm .



Fotomicrografía N° 10. Luz transmitida, nicoles cruzados
Detalle de grano de arenisca (ar) mostrando los granos
de cuarzo con crecimiento de borde syntaxial.
Longitud del campo fotografiado = 960 μ m.

4.2.6. Brecha Mixta matriz Polvo de Roca



Descripción macroscópica

Roca de aspecto brechoso, algo poroso; compuesta por fragmentos líticos (areniscas, limonitas y lutitas) y cavidades con relleno de minerales secundarios, inmersos en matriz silicificada. Los fragmentos líticos de naturaleza silícea son de color gris claro a oscuro, presentan formas subredondeadas a subangulosas y dimensiones promedio de 1 cm pudiendo ser mayores a 3 cm. La matriz es silícea y de color gris blanquecino.

La muestra presenta numerosas oquedades, que corresponden tanto a moldes con formas irregulares de cristales lixiviados como a vesículas. Los moldes son milimétricos a submilimétricos, mayormente se insinúan formas tabulares y con relleno parcial de alunita.

Las vesículas son de mayores dimensiones, de formas irregulares y por lo general se presentan con relleno parcial de arcillas y alunita en algunas ocasiones cristalizada.

Descripción de brecha

1 Geometría

- Forma: Irregular
- Contactos: Discordante

2 Tamaño de grano (clastos)

- Brecha (5-50 mm)

3 Componentes

A Clastos

- Polimíctico
- Juveniles magmáticos alterados a alunita-kaolín
Líticos accidentales (areniscas cuarzosas, limolitas y lutitas carbonosas)
- Juveniles magmáticos irregulares y alargados
Líticos accidentales subangulosos-subredondeados

B Matriz

- Polvo de roca
- Masivo
- Arena-limo

C Cemento

- No presente

D Espacios Abiertos

- Ninguno

4 Organización Interna

- Matriz soportada
- Caótico
- Masivo (no gradado)
- No estratificado

5 Alteración

- Clastos: juveniles magmáticos alterados intensamente a alunita-kaolín
- Matriz: intensamente alterada a alunita-kaolín
- Paragénesis: Alteración intensa del componente magmático en la matriz y fragmentos

Nombre: Brecha polimíctica, matriz polvo de roca soportada

Definición de facies de brechamiento: Toba brechosa mixta matriz polvo de roca PTMP

Asociación o agrupación de facies de brechamiento: FACIES DE BRECHA MIXTA

Clasificación Genética: BRECHA FREATOMAGMATICA

Descripción microscópica

Texturas y relaciones de conjunto

Roca alterada de textura brechosa constituida principalmente por granos policristalinos de cuarzo, con bordes de sutura intergranular (fragmentos de arenisca), de dimensiones milimétricas, en algunos granos se muestra bordes de crecimiento sintaxial y ocasionalmente “parches” con partículas de materia carbonosa, estos componentes presentan formas subredondeadas a subangulosas.

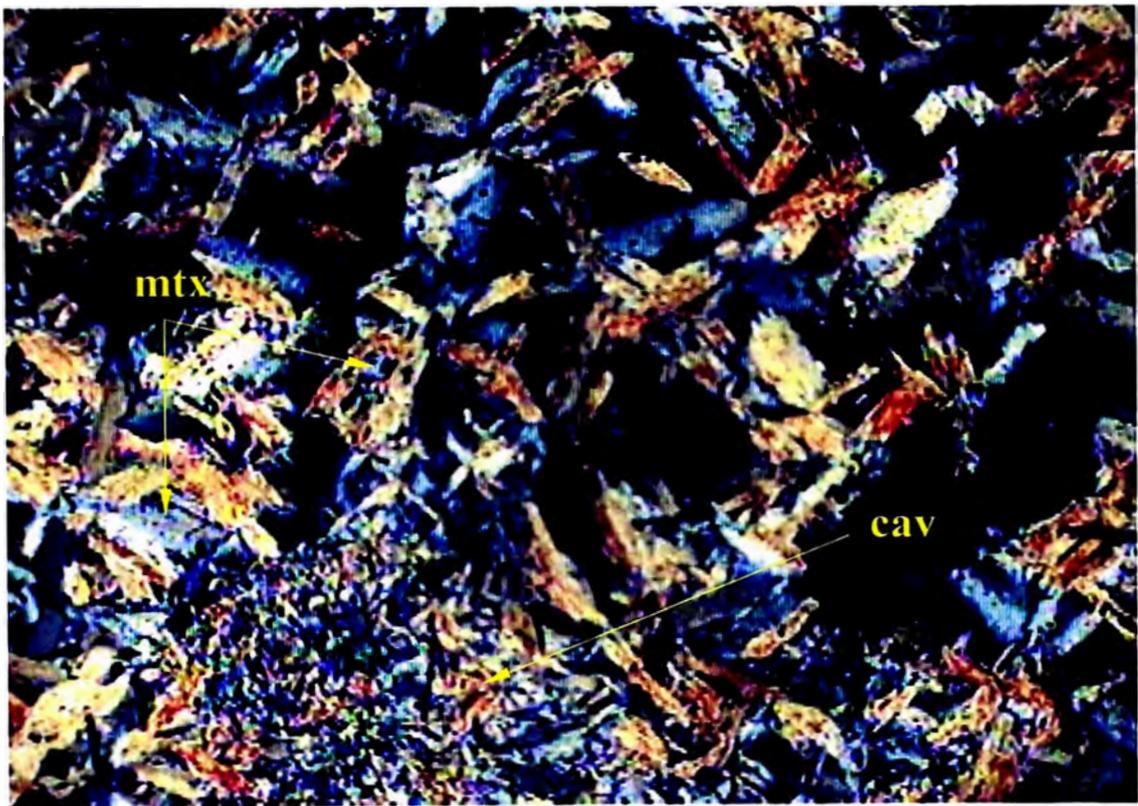
Cavidades de dimensiones milimétricas hasta centimétricas con relleno mayormente de alunita, arcillas y moldes lixiviados de sulfuros. Relictos de cuarzo primario de hasta 200 μm con bordes subangulosos.

La matriz de sílice granular muy fina e intercrecida con arcillas, alunita muy fina. En la matriz se observan finas diseminaciones de rutilo y zircón a nivel de trazas.

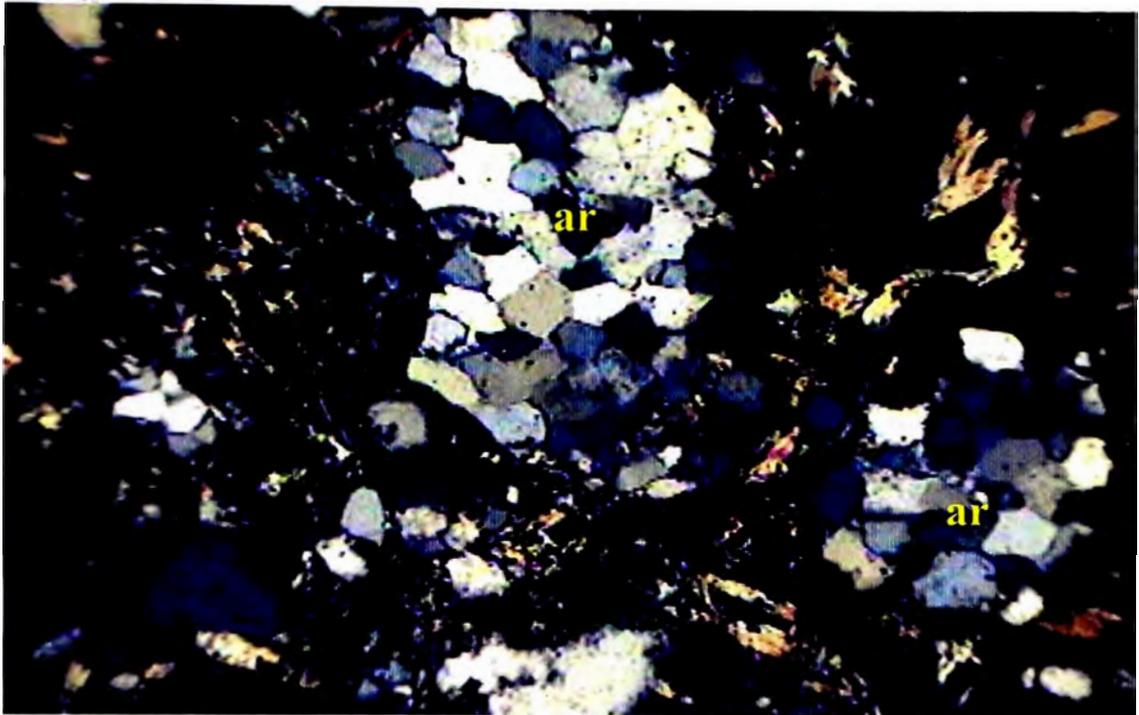
Alteraciones hidrotermales

Argilización avanzada Moderada

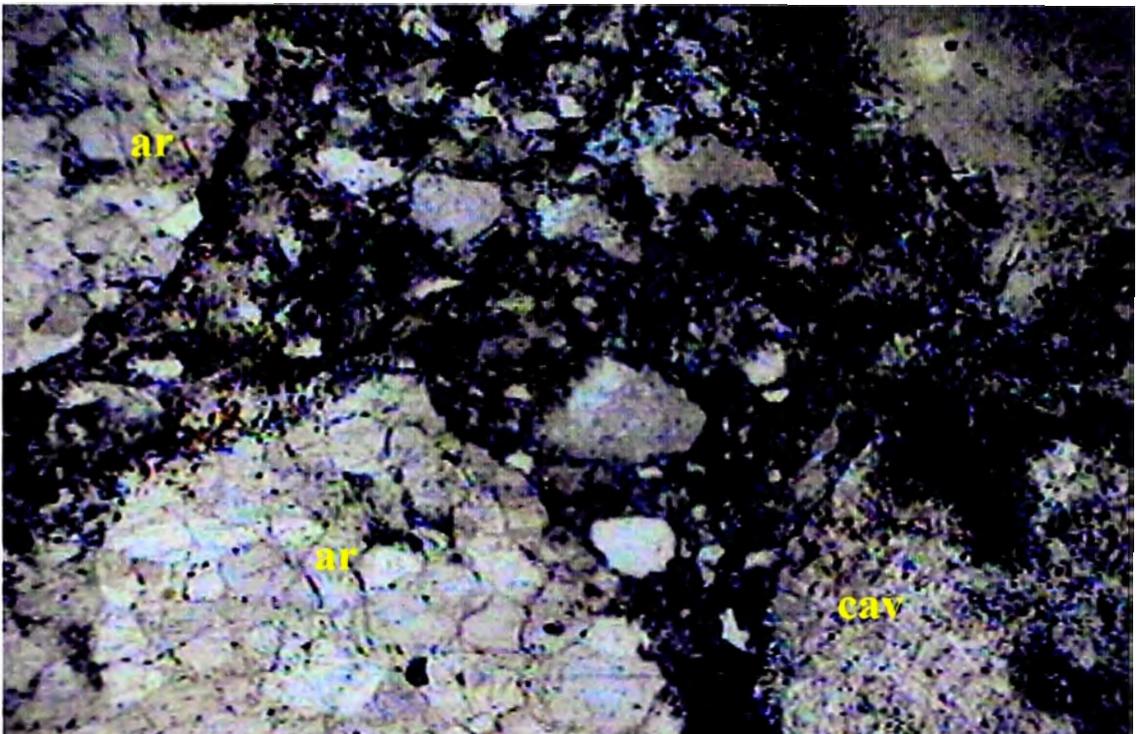
Fotomicrografías



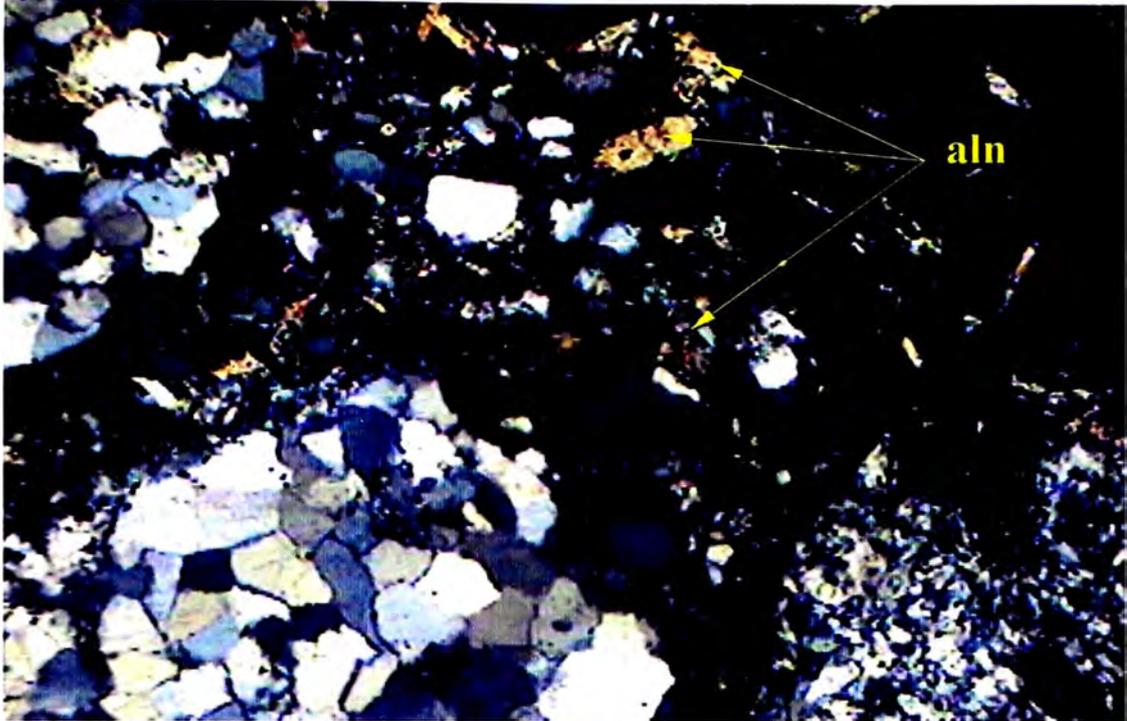
Fotomicrografía N° 11. Luz transmitida, nícoles cruzados
Cristales tabulares de alunita dispuestas tanto en la matriz (mtx, cristales grandes)
como relleno de cavidades (cav, cristales finos) e intercrecido con arcillas.
Longitud del campo fotografiado = 1950 μm .



Fotomicrografía N° 12. Luz transmitida, nícoles cruzados
Fragmentos subangulares de arenisca (ar), mostrando los rasgos de su crecimiento
syntaxial. Longitud del campo fotografiado = 1950 μm .



Fotomicrografía N° 13. Luz transmitida, nícoles paralelos
Detalle de la distribución de los componentes de la brecha. Fragmentos de
arenisca (ar) y cavidades (cav) con relleno de arcillas y alunita muy fina.
Longitud del campo fotografiado = 1990 μm .



Fotomicrografía N° 14. Luz transmitida, nicoles cruzados
 Misma vista anterior pero en nicoles cruzados, observándose claramente sus
 componentes y la matriz con individuos diseminados de alunita (aln).
 Longitud del campo fotografiado = 1990 μm .

Muestra	Componentes	Matriz	Alteración
Facies Carbonosa	Fragmentos de arenisca, cavidades con relleno de arcilla y alunita.	Sílice granular, arcillas, tz de alunita y parches de mat. carbonoso; además zircón y rutilo en trazas.	Argílica avanzada
Facies Mixta	Fragmentos de arenisca, cavidades con relleno de arcilla, alunita y moldes de sulfuros.	Sílice granular, arcillas, moderada alunita y parches de mat. carbonoso; además zircón y rutilo en trazas.	Argílica avanzada
Facies Lítica	Fragmentos de arenisca, cavidades tapizados con cristales de cuarzo y en algunos casos con relleno de baritina.	Compuesta principalmente por sílice muy fina.	Silicificación.

Tabla N° 05. Cuadro resumen de los componentes principales de las Facies de Brecha presentes en el Diatrema

5. Actividad Freática y Freatomagmática en el Diatrema Dafne

5.1. Introducción

La mayoría de sistemas epitermales de alta y baja sulfuración, así como los pórfidos, se encuentran relacionados espacial y temporalmente a un grupo de cuerpos de brecha polimíctica referidos como diatremas (Davies, A.G.S., Cooke D.R. y Gemmell, B., 2000). Su interpretación se dificulta por utilizar una terminología inadecuada y genética y una falta de entendimiento de cómo se relacionan a la génesis del mineral en el sistema. En la medida que las brechas están asociadas a algunos de los depósitos magmáticos-hidrotermales más grandes del Circumpacífico (Grasberg y Kelian en Indonesia; Cripple Creek en USA; Pueblo Viejo en República Dominicana; Yanacocha en Perú y El Teniente en Chile), es muy importante entender su formación.

Las brechas tipo diatrema son producto de un tipo de explosión freatomagmática, estas explosiones son aquellas en las cuales el magma se pone en contacto con aguas meteóricas dando como resultado una fragmentación explosiva cuando el agua cambia bruscamente de estado líquido a gas y un componente magmático juvenil es introducido en la explosión y la transferencia de calor del magma al agua controla la producción de vapor. El aporte de volátiles magmáticos a la fase de vapor es generalmente pobre.

Las explosiones freáticas se producen cuando el agua es calentada hasta el punto en que la presión del fluido excede a la presión de confinamiento y por lo tanto el agua es vaporizada. La fuente de calor en las explosiones freáticas puede ser también magmática, pero no hay contacto entre el agua y el magma en el lugar de la explosión y no hay incorporación de material magmático juvenil en estas explosiones. Los productos de explosiones freáticas son comunes en los depósitos hidrotermales, y son erróneamente señalados como brechas hidrotermales.

Las explosiones freáticas y freatomagmáticas representan los miembros finales o tardíos de procesos de fragmentación complejos. Hay evidencia que los procesos freáticos y freatomagmáticos están íntimamente ligados y sobrepuestos. Las explosiones y erupciones históricas en el sistema geotermal de Rotomahana-Waimungu en Nueva Zelanda han demostrado que la intrusión de magma en un sistema geotermal activo podría resultar en explosiones freáticas y freatomagmáticas relacionadas. Estas explosiones cambiaron la hidrogeología del sistema rápida e irreversiblemente. Recientes trabajos en el yacimiento de baja sulfuración Kelian indican que la intrusión de un magma félsico en un sistema hidrotermal activo del Mioceno inferior inicio una serie de explosiones freáticas y freatomagmáticas complejas. Antes de estas explosiones el sistema no había depositado oro. Los productos de las explosiones freáticas están espacial y temporalmente relacionados a los primeros episodios de depositación de oro. Se sugiere que las explosiones freatomagmáticas alteran catastróficamente la hidrología del sistema

hidrotermal, causando amplias explosiones hidrotermales y contribuyendo por lo tanto al desarrollo del sistema hidrotermal aurífero.

Las facies de brecha observadas en el área de Dafne, son producto de este tipo de explosión freatomagmática, en que se pueden distinguir varias facies de brechamiento. Por otro lado se distingue también explosiones freáticas o facies freáticas previas y sobreimpuestas a estas brechas freatomagmáticas.

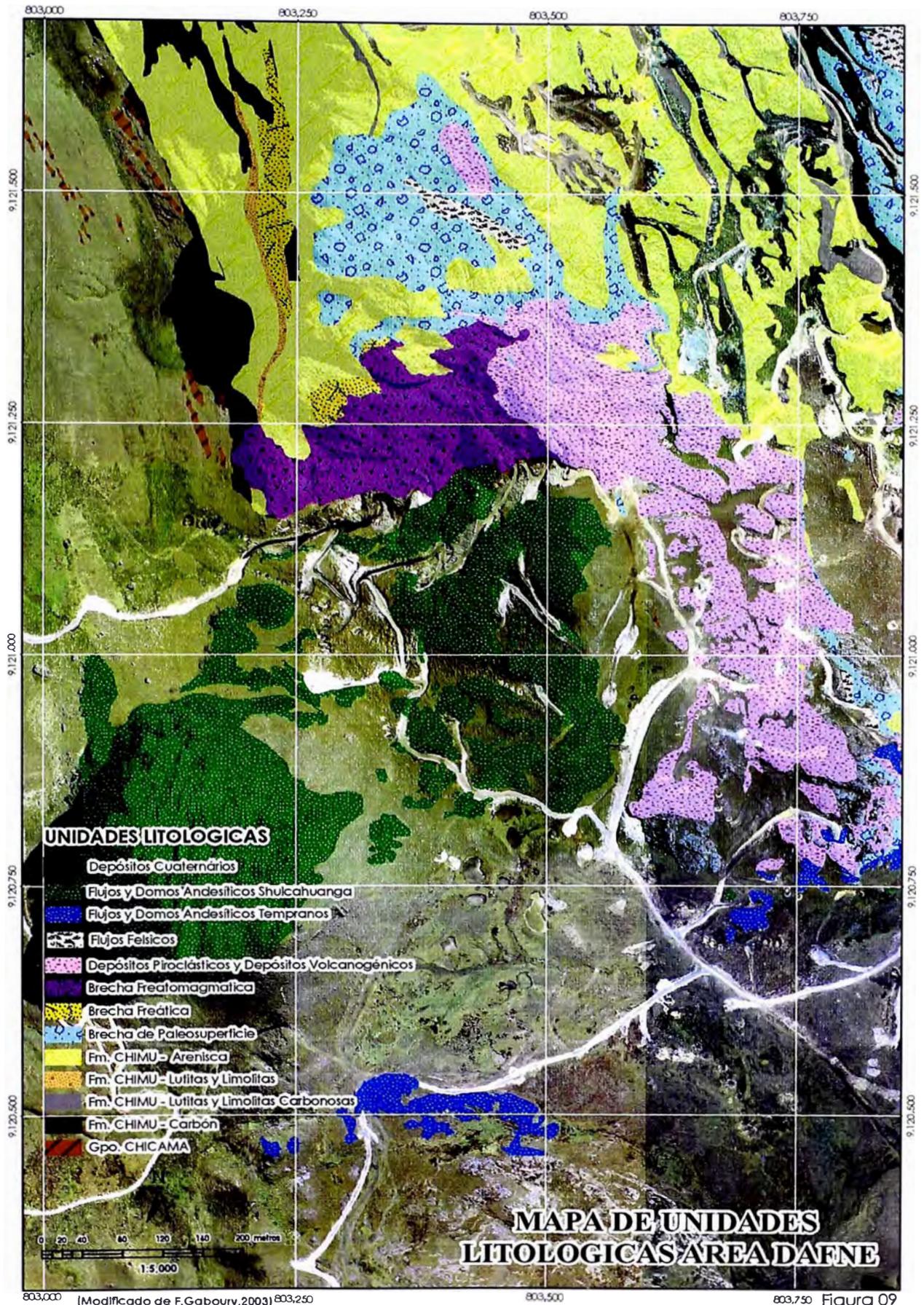
5.2. Forma y dimensiones de las zonas de brecha en Dafne

Basados en el logueo de sondajes y mapeo de superficie se definió al área de Dafne como una diatrema, el cual tiene la forma típica de cono invertido (ducto), cerca de la superficie tiene forma elongada (*apron*) y sus dimensiones son aproximadamente 450 m de largo y 200 m de ancho. Se ha desarrollado en el flanco este de un anticlinal. Hacia el lado oeste se encuentra inyectado en el contacto entre el Grupo Chicama y Formación Chimú. Un poco más hacia el sur se puede distinguir un pequeño ducto de las mismas características del diatrema Dafne.

Dafne esta compuesto de múltiples facies de brecha, los que pueden ser distinguidos por los tipos de fragmentos y matriz de las que están compuestas y la disposición espacial que presentan. Probablemente la matriz sea la característica más importante, ya que ésta es determinante para contener mineralización. Se han podido diferenciar las siguientes facies:

La figura 09 muestra las unidades geológicas presentes en el área de Dafne

La figura 17 muestra las facies de Brechamiento en el área de Dafne



803,000 (Modificado de F.Gaboury, 2003) 803,250

803,500

803,750 Figura 09

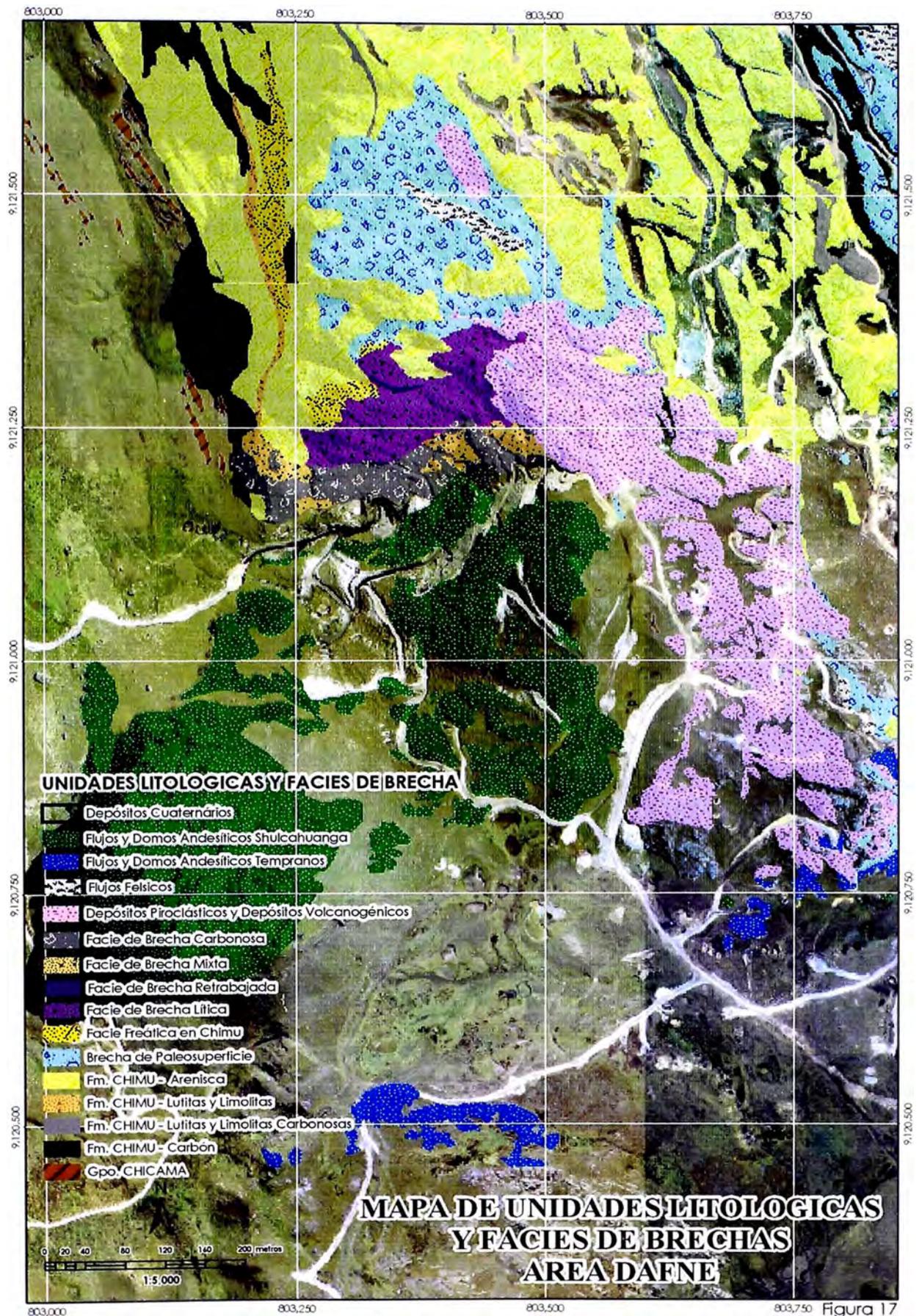


Figura 17

5.3. Facies de Brecha Monomítica

Se desarrolla principalmente a los bordes del emplazamiento del diatrema, probablemente asociadas a explosiones freáticas que generalmente preceden a los eventos freatomagmáticos. Estas brechas están dispuestas en una especie de anillo alrededor del diatrema poniéndose en contacto con los sedimentos del Chicama y Chimú.

5.3.1. Facies Freática en Chicama

Son brechas monomíticas con matriz polvo de roca, generalmente masivas de coloración oscura (debido al material carbonoso proveniente del Chicama), se compone de fragmentos de limolitas y lutitas carbonosas, que tienen variables grados de molienda y brechamiento. El límite exacto entre la brecha y el sedimento no brechado es gradacional y complejo, por lo que es difícil establecer un límite exacto.

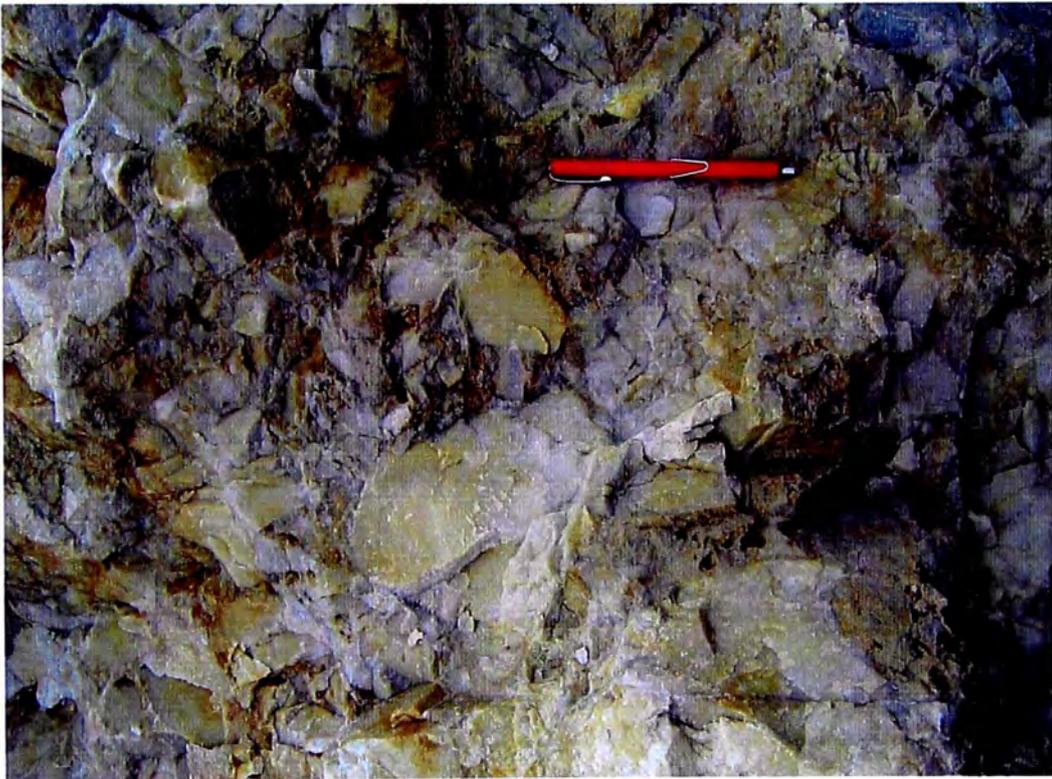


Fotografía N° 18. El sondaje muestra una brecha freática, los fragmentos son limolitas carbonosas del Chicama subredondeados en una matriz molida polvo de roca producto de la molienda de los mismos fragmentos

Tamaños de clastos y grado de redondeamiento son variables, la mayoría de los clastos varían entre 1 y 10 cm y son generalmente subredondeados, sin embargo, fragmentos angulosos son abundantes en los márgenes de brecha e imbricados localmente

5.3.2. Facies Freática en Chimú

Esta zona de brechas corresponden a las brechas monomícticas con matriz cuarzo granular, se presenta en una gradación de más de 20m de brecha, así tenemos del núcleo hacia la periferia: brecha con soporte matricial y clastos subredondeados, brecha con soporte clástico y fragmentos angulosos y areniscas brechadas in situ en la zona más contigua al Chimú. Esta zona de brechas es localmente mineralizada, debido a que se han dado las condiciones necesarias para alojar sílice parda, cuarzo *drussy* e incluso sulfuros (pirita y enargita principalmente).



Fotografía N° 19. El afloramiento muestra una brecha freática, con fragmentos subangulosos de areniscas del Chimú en una matriz molida, producto de los gases que circularon por estas zonas

5.4. Facies de Brecha Polimíctica

Todas las fases de brecha polimíctica por lo general presentan similares componentes en la matriz (fragmentos de limolitas y lutitas del tamaño de grano de arena fina, fragmentos de cristales de cuarzo del tamaño de grano de arena y material carbonoso y sílice molida) pero varían en apariencia debido a la abundancia de clastos, al tamaño y grado de redondeamiento. Los tipos de clastos incluyen fragmentos de areniscas, limolitas y lutitas carbonosas así como también material volcánico (fragmentos juveniles). Complejas relaciones de superposición de eventos, indican numerosos episodios de brechamiento, como incorporación de fragmentos mineralizados y posibles bloques de brechas de facies anteriores incorporados a facies posteriores. Se observan además fases individuales a diferentes escalas: diques de brecha con diferente geometría, desde centímetros a metros de extensión y niveles de retrabajo.

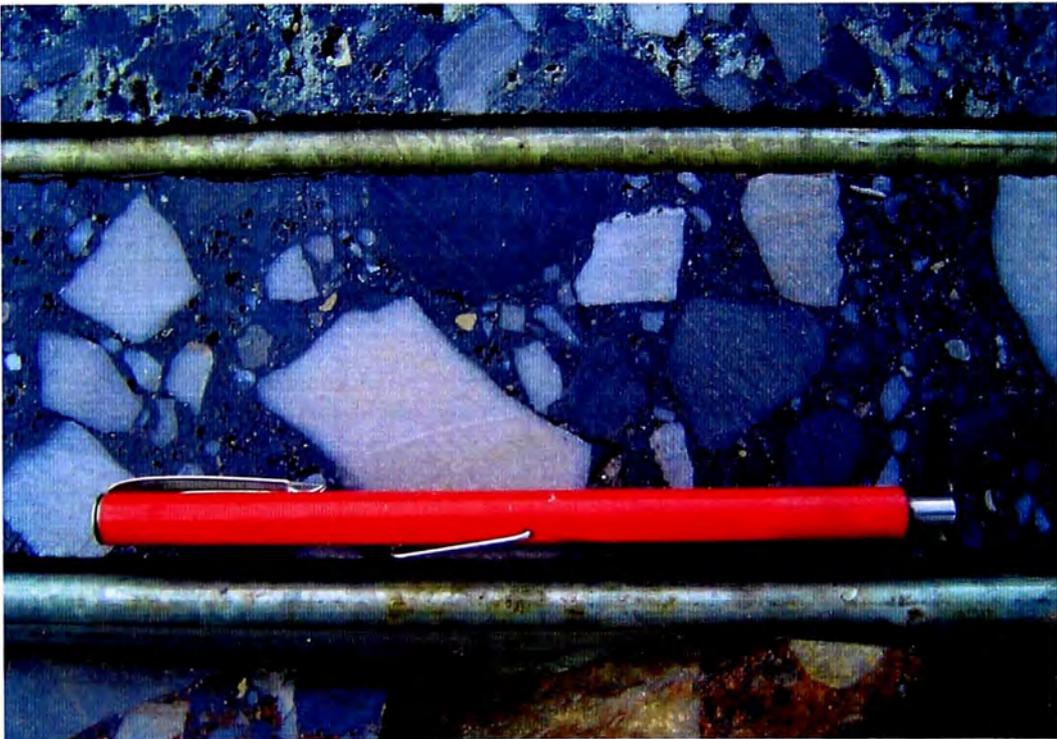
Tamaño de clastos y abundancia varían considerablemente, sin embargo la mayoría de estas brechas son matriz soportada y contienen tamaños de clastos variados (centimétricas hasta decenas de centímetros de diámetro). En los contactos de fases de brecha marginal y las rocas caja hay una gradación sobre 10 a 30 m de brecha con matriz soportada a clástico soportada. Las dimensiones de los fragmentos generalmente se incrementan hacia los contactos con las rocas caja y una disminución en el grado de redondeamiento. Procesos de rebrechamiento y desintegración de brechas de fases tempranas por brechas de fases posteriores han sido un proceso importante para incrementar el grado de molienda y abrasión de clastos.

Un aspecto importante que hay que destacar es que el diatrema presenta dos ambientes o niveles de emplazamiento de brechas, la primera relacionada al ducto y la otra asociada a los depósitos del *tuff apron*. Independientemente de su distribución espacial, se ha trabajado en correlacionar los eventos freatomagmáticos en facies de brecha. Algunas de las facies de brecha reconocidas en el diatrema se encuentran distribuidas solo en un ambiente, es decir en el ducto o en el *apron*; por otro lado hay facies de brecha que se presentan tanto en el ducto como en el *tuff apron*. Se han identificado las siguientes facies:

5.4.1. Facies de Brecha Lítica

Esta fase de brecha esta compuesta de fragmentos de areniscas, limolitas, material carbonoso y no presentan componente juvenil, los tamaños que varían entre centímetros a bloques de dimensiones métricas (mayormente areniscas) y una matriz conformada por una molienda de los mismos fragmentos. Se distribuye a los bordes o márgenes del diatrema y principalmente en contacto con las areniscas del Chimú y la brecha de paleosuperficie. Este margen de brecha se encuentra mineralizado-alterado, presentando una silicificación de matriz de brecha y relleno de cuarzo *drussy* en espacios abiertos.

Algunas zonas presentan fragmentos de sílice parda, que son clastos de una etapa de mineralización previa al emplazamiento del diatrema. Hay que hacer notar que esta facies no presenta fragmentos juveniles ya que ha sufrido eventos de retrabajo y redepositación, pero evidencia de alguna manera su contenido de material carbonoso ya que hay cuerpos de brecha con matriz silicificada que presentan coloración oscura. Esta facies de brecha es exclusiva de los depósitos del *tuff apron*.



Fotografía N° 20. El sondaje muestra una brecha con fragmentos polimícticos, se observan areniscas, limolitas en una matriz molida

5.4.2. Facies de Brecha Retrabajada

Son facies de brecha que presentan un cierto grado de estratificación e incluso localmente sus fragmentos muestran imbricación. Estas facies, son favorables para la mineralización.

Esta facies de brechamiento es exclusiva del *tuff apron*.



Fotografía N° 21. El afloramiento muestra una brecha con cierta estratificación en la que se puede observar fragmentos polimícticos

5.4.3. Facies de Brecha Mixta

Es una facies de brecha compuesta por fragmentos líticos de areniscas, limolitas, material carbonoso y fragmentos juveniles, los fragmentos juveniles se hallan alterados a illita-esmectica, dickita, alunita potásica y caolín (localmente).

La matriz es de semejante composición con la diferencia que esta se encuentra molida, como la matriz presenta composición juvenil molida, presenta generalmente el mismo patrón de alteración de sus fragmentos; en cuanto a su mineralización es generalmente estéril, presenta localmente valores económicos en zonas de contacto con facies de Brecha Líticas. Esta facies se encuentra generalmente en el *tuff apron*.



Fotografía N° 22. El sondaje muestra una brecha polimíctica con fragmentos líticos y juveniles en una matriz alterada, probablemente debido a la gran cantidad de material juvenil presente en la matriz que fue asimilada durante las explosiones freatomagmáticas

5.4.4. Facies de Brecha Carbonosa

Es la facies de brecha mas extensa del diatrema, es una facies similar a la descrita anteriormente, con la diferencia de que en ésta facies la matriz de la brecha presenta un altísimo contenido carbonoso. Probablemente este evento sea el último que se desarrolló en el desarrollo del diatrema, su distribución es continua y se encuentra sobre los niveles de las facies anteriores y ocupa claramente todo el ducto del diatrema.

Esta facies es completamente estéril debido a su contenido de material carbonoso y por la gran cantidad de arcillas que presentan los fragmentos juveniles alterados. Como esta brecha se desarrolla tanto en el ducto y en parte del *apron*, se puede apreciar cierto zonamiento en la alteración de sus fragmentos y matriz; illita en los niveles superiores (en el *tuff apron* principalmente), dickita en casi la totalidad del ducto, localmente alunita y caolín.



Fotografía N° 23. El sondaje muestra una brecha polimíctica con fragmentos líticos y juveniles en una matriz carbonosa, debido a la gran cantidad d sedimento carbonoso del Chicama involucrado en la explosione freatomagamáticas

5.5. Interpretación de eventos de brechamiento y secuencia genética

Las fases de brechas polimícticas y monomícticas en Dafne, registran una secuencia muy compleja de procesos de brechamiento freático, freatomagmático y explosión; además de una sobreimposición de los mismos. Las andesitas Tempranas y del Shulcahuanga registran episodios de erupción e intrusión.

Se tiene evidencia de que ya existía actividad hidrotermal previa al desarrollo de las brechas en Dafne, ya que existen fragmentos mineralizados de sílice parda en las brechas de Dafne. El diatrema Dafne se desarrolla de la siguiente manera:

Primer Evento

En este primer evento se desarrolla un evento freático que brecha los sedimentos plegados del Grupo Chicama y la Formación Chimú, favorecidas por la reactivación de estructuras principales de orientación este-oeste +/- 20° y de buzamiento casi vertical. Estas brechas se clasifican como Brechas monomícticas matriz polvo de roca (desarrollada en los sedimentos carbonosos del Chicama) y Brechas monomícticas cuarzo granular (desarrollada en las areniscas del Chimú). Al agrupar estas brechas en facies de brecha tenemos la Facies Freática en Chicama y la Facies Freática en Chimú.

Segundo Evento

Aguas meteóricas presentes en las zonas de falla o en los sedimentos y/o agua producto de percolación entraron en contacto con magmas calientes, lo que originó el inicio de la actividad freatomagmática. Las evidencias de este evento se encuentran en las zonas del *tuff apron*, depositadas en contacto directo con los sedimentos plegados del Chimú o en algunos casos sobre la brecha de paleosuperficie.

Las brechas que evidencian este evento actualmente presentan una intensa silicificación de la matriz y fragmentos y no presentan fragmentos juveniles. Inicialmente estas brechas presentaban el componente juvenil, pero eventos de redepositación y retrabajo, así como los procesos de alteración y mineralización llevaron a que el material juvenil desapareciera casi en su totalidad, pero el material carbonoso presente en la matriz de esta facies de brecha permaneció aún después de la etapa de silicificación (se observa zonas con matriz silicificada oscura) este grupo de brechas clasificadas como Brechas polimícticas matriz polvo de roca y Tobas brechosas líticas matriz polvo de roca son agrupadas en la Facies de Brecha Lítica.

Posterior retrabajo de estas brechas, originó la Facies de Brecha Retrabajada, que se presenta en niveles con apariencia sedimentaria y clastos imbricados.

Tercer Evento

La actividad freática sigue desarrollándose y una etapa de actividad freatomagmática es desarrollada nuevamente, pero en la que se evidencia un importante aporte de material juvenil, que dan como resultado un grupo de brechas clasificadas como:

- A. Brechas mixtas matriz polvo de roca y/o Tobas mixtas matriz polvo de roca.
- B. Brechas polimícticas matriz carbonosa y/o Tobas brechosas matriz carbonosa.

El primer grupo de brechas probablemente este asociado a un borde híbrido (freático-freatomagmático) desarrollado en areniscas de la Formación Chimú, mientras que el segundo grupo se desarrollo en un ambiente mas profundo ya que la matriz de esta brecha es totalmente oscura y los fragmentos son de varias litologías, limolitas y lutitas carbonosas (del Chicama), areniscas y limonitas (del Chimú) y los juveniles aportados por el magma.

Agrupando los grupos de brecha en facies tenemos al primer grupo como Facies de Brecha Mixta y a la segunda como Facies de Brecha Carbonosa.

Cuarto Evento

Continúa la actividad freatomagmática pero depositando principalmente brechas de facies carbonosa, que es el último evento de actividad freatomagmática en el diatrema, se evidencia por su distribución espacial en todo el ducto del diatrema. Esta facies de brecha es estéril en cuanto a mineralización, probablemente a su alto contenido de material carbonoso y a su gran contenido de arcillas, producto de una actividad hidrotermal que altero intensamente los fragmentos juveniles presentes.

Quinto Evento

Este evento esta relacionado con los estadios finales de la actividad freatomagmática e inicio de la actividad volcánica, desarrollándose el emplazamiento de las andesitas tempranas, se puede observar en la interpretación de algunas secciones y en los testigos de perforación dikes de este tipo de andesita cortando las facies carbonosas del diatrema. Este

evento volcánico es definido como el Complejo de Domos y Flujos Andesíticos Tempranos.

Sexto Evento

Este evento es el fin de la actividad volcánica en la zona de Dafne, es el emplazamiento del Complejo de Domo y Flujos del Shulcahuanga.

Hay que mencionar que las diferentes facies de brecha definidas en el diatrema no ocurrieron una sola vez, si no que estos tuvieron muchos ciclos en el desarrollo del diatrema. Se pueden reconocer facies de un evento anterior incorporados a un evento posterior, lo que indica que estos eventos se desarrollaron múltiples veces.

Las figuras 18 a la 29 muestran el modelo geológico del área del Diatrema Dafne.

Las figuras 21 a la 25 muestran las Facies de Brecha en el Diatrema Dafne.

MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

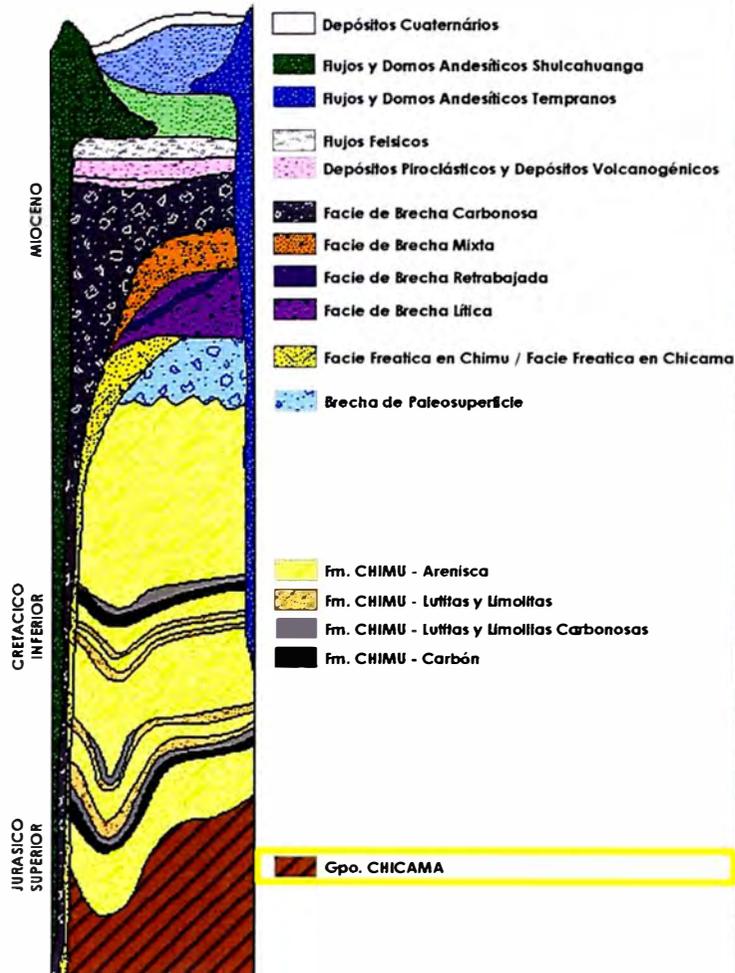


Figura 18

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

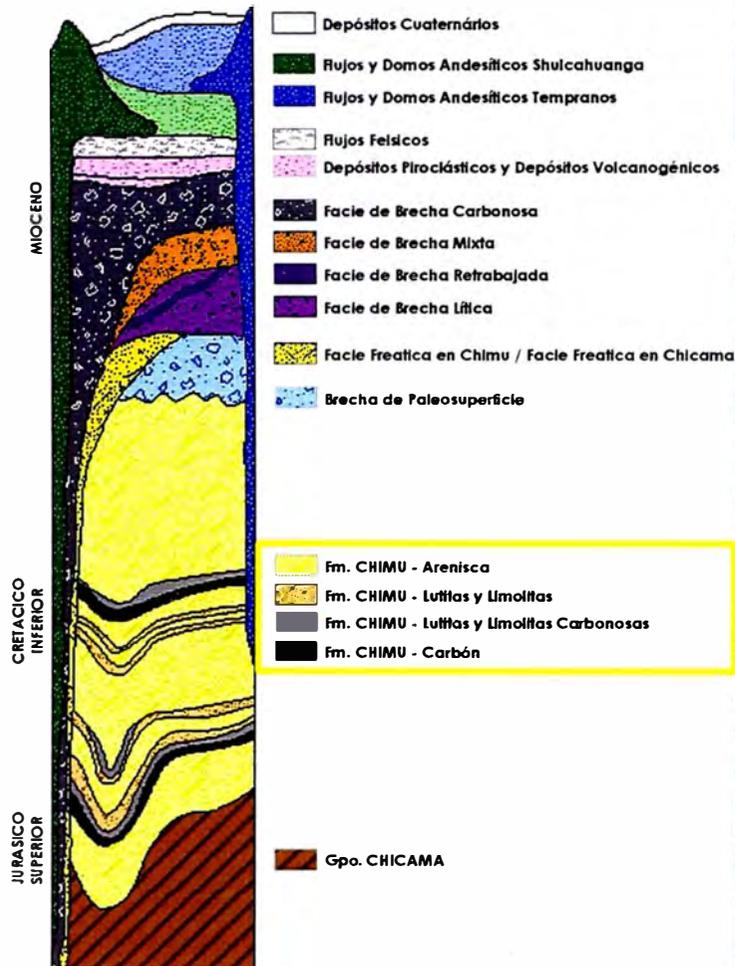


Figura 19

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



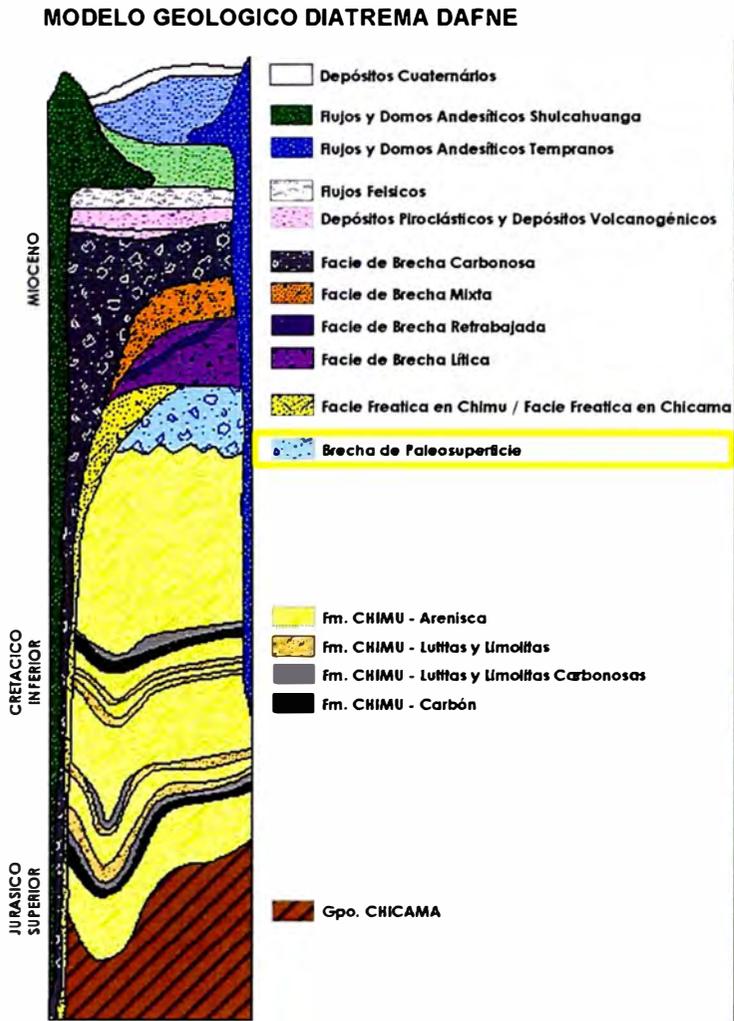


Figura 20

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

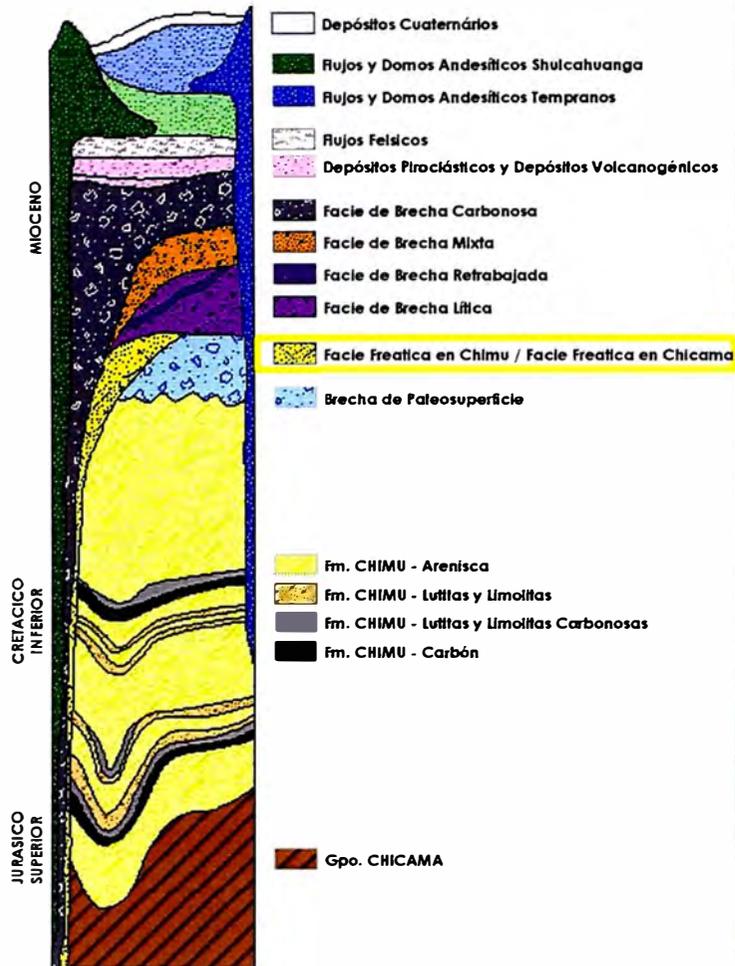


Figura 21

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

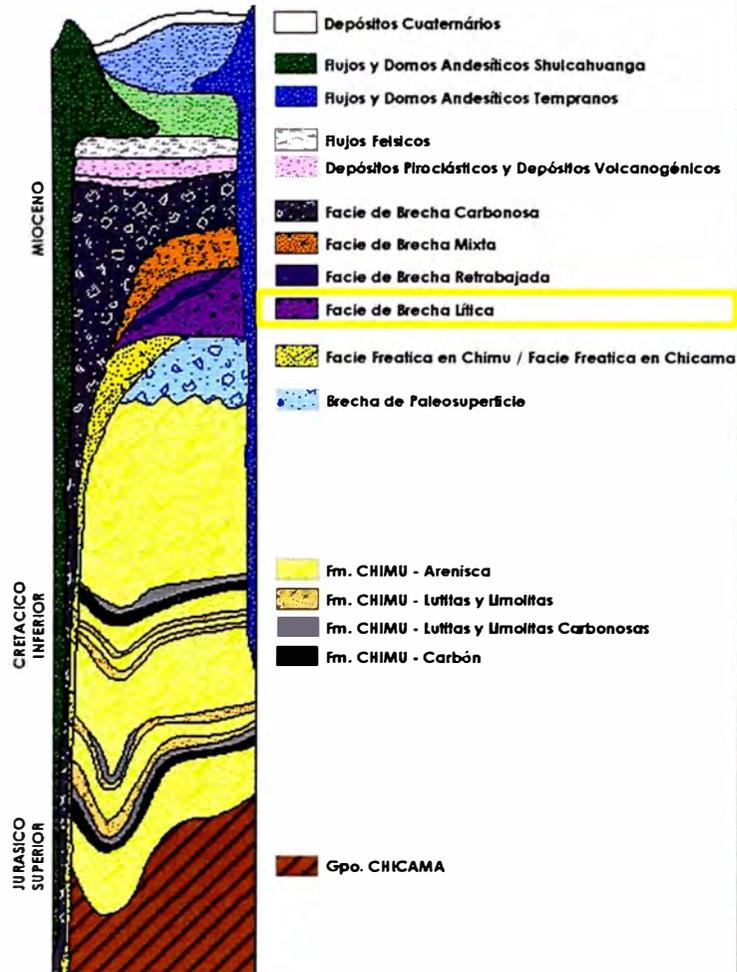
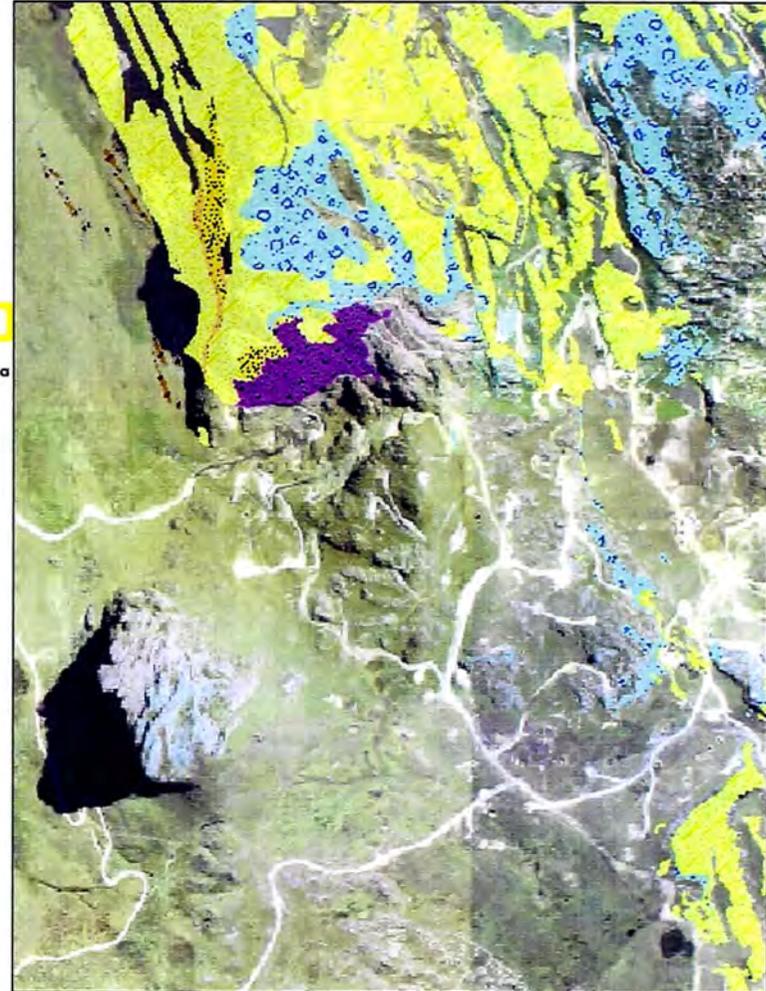


Figura 22

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

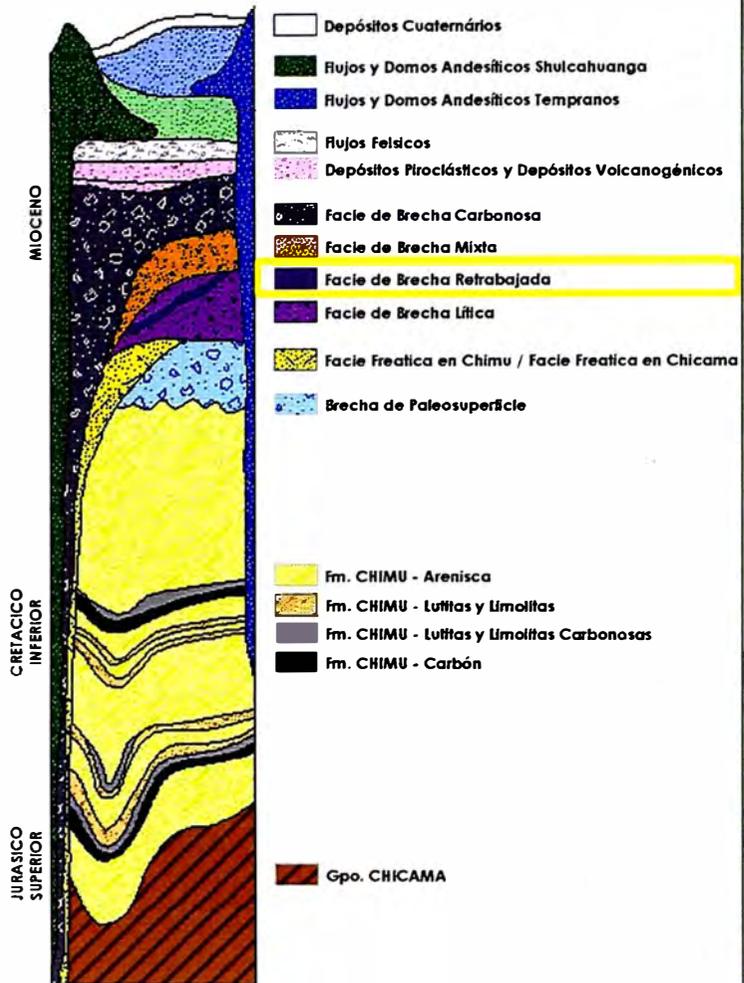
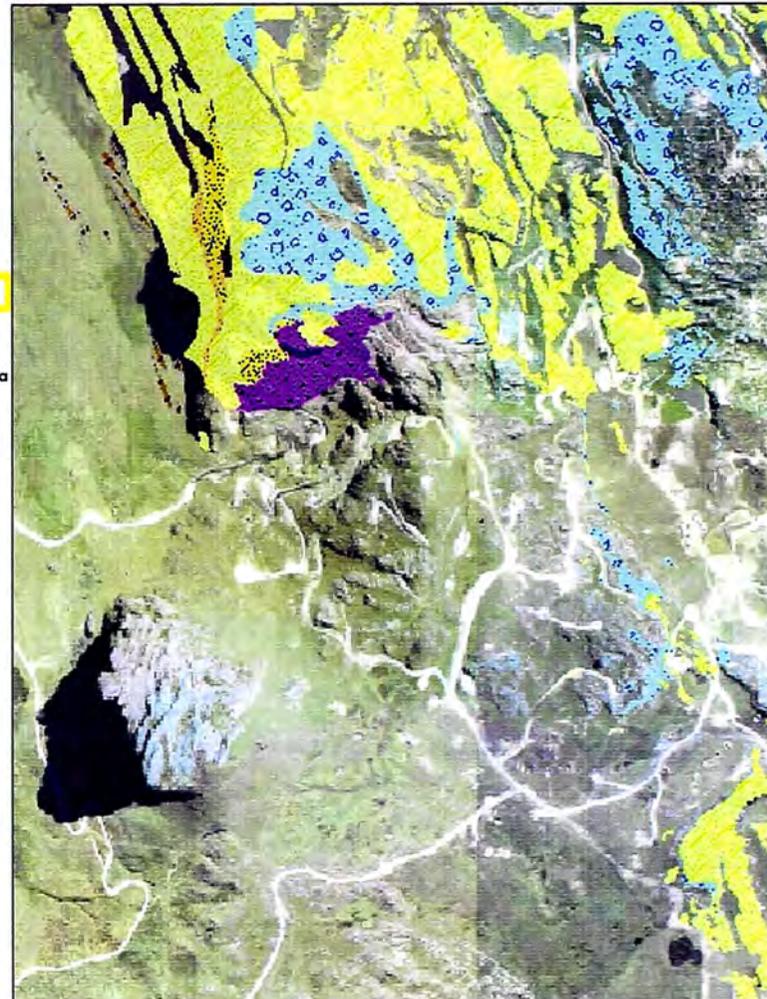


Figura 23

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

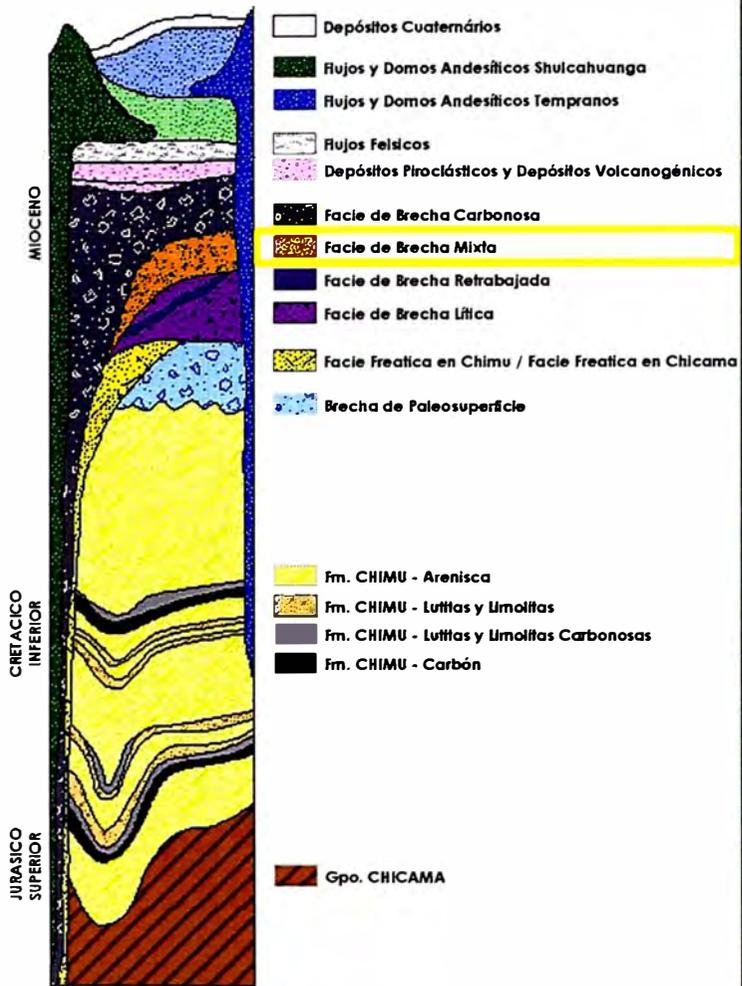
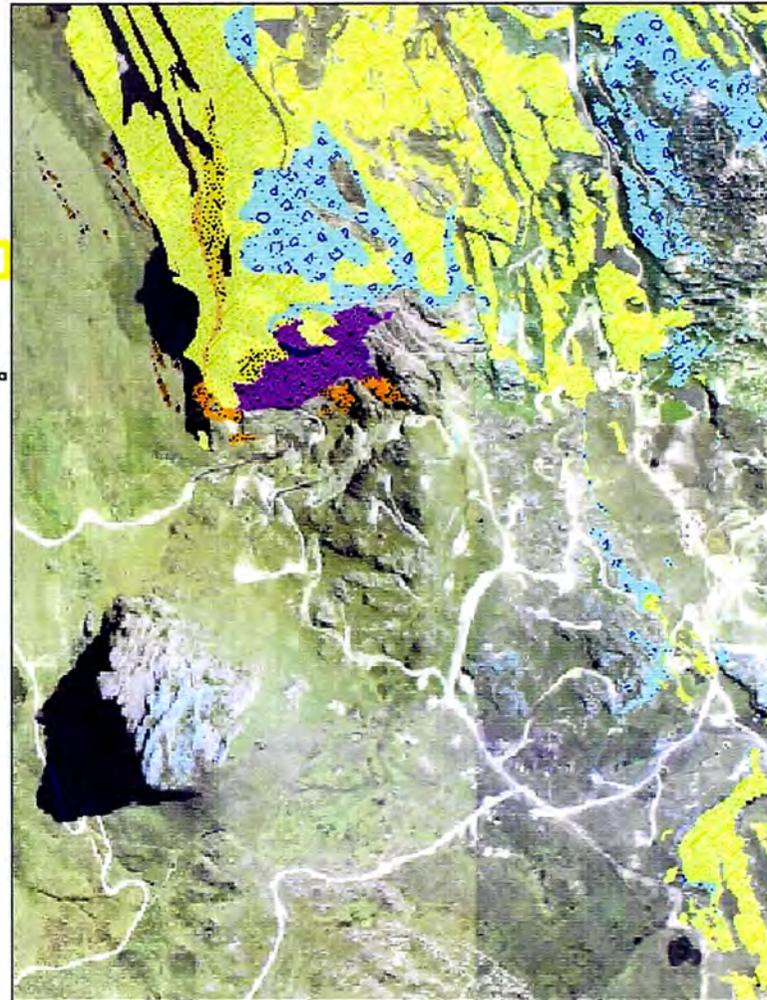


Figura 24

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

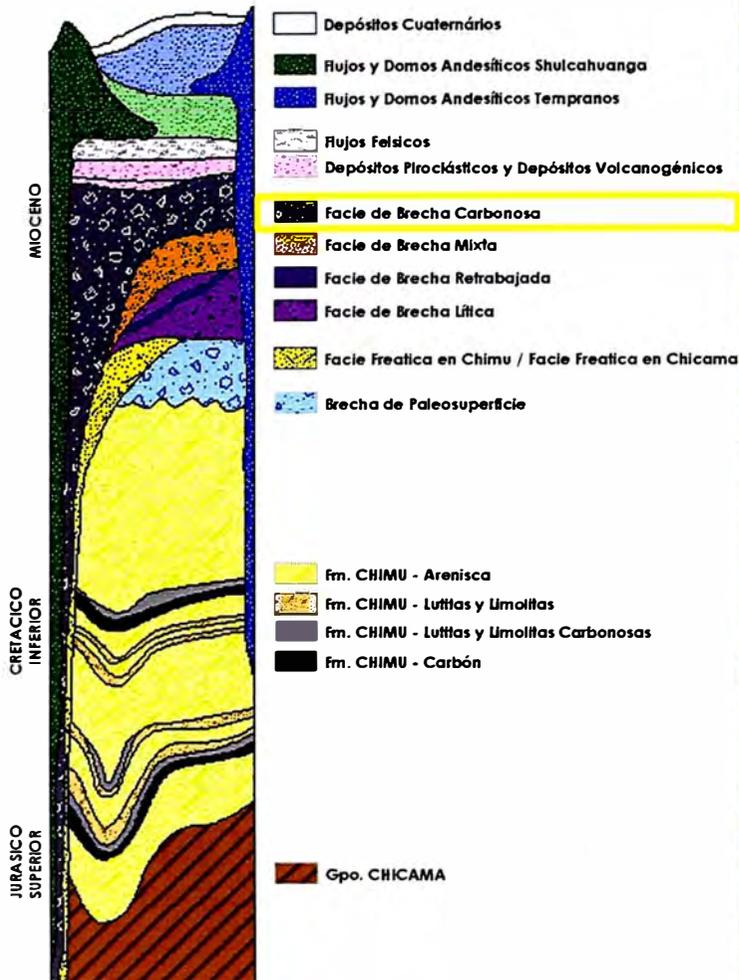
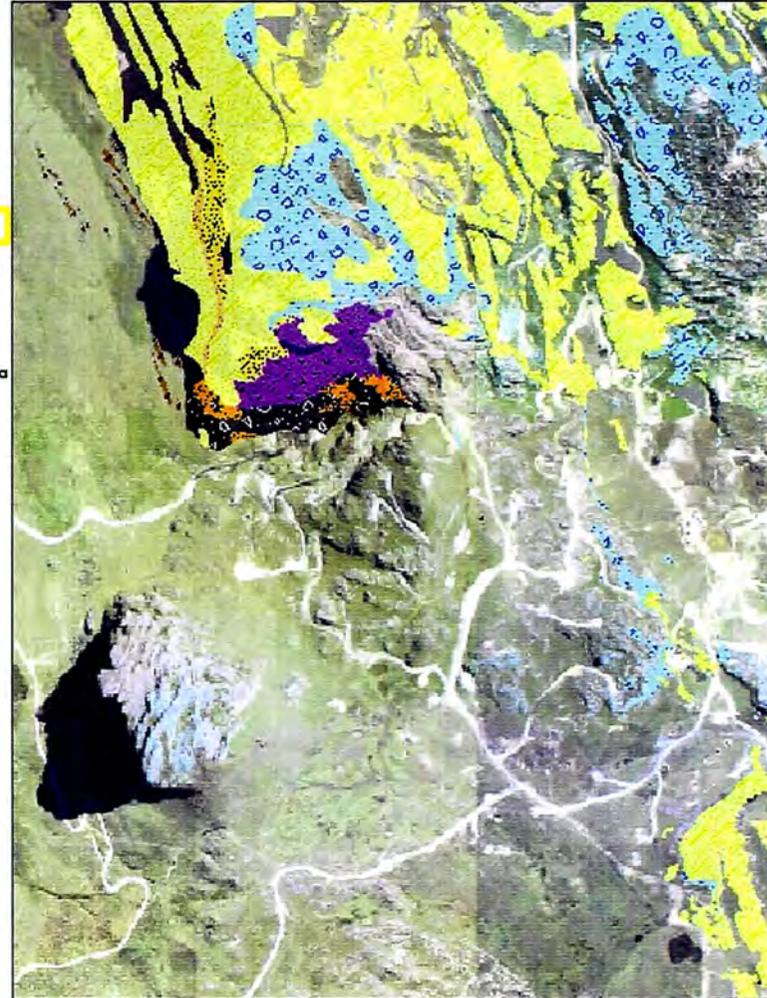


Figura 25

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

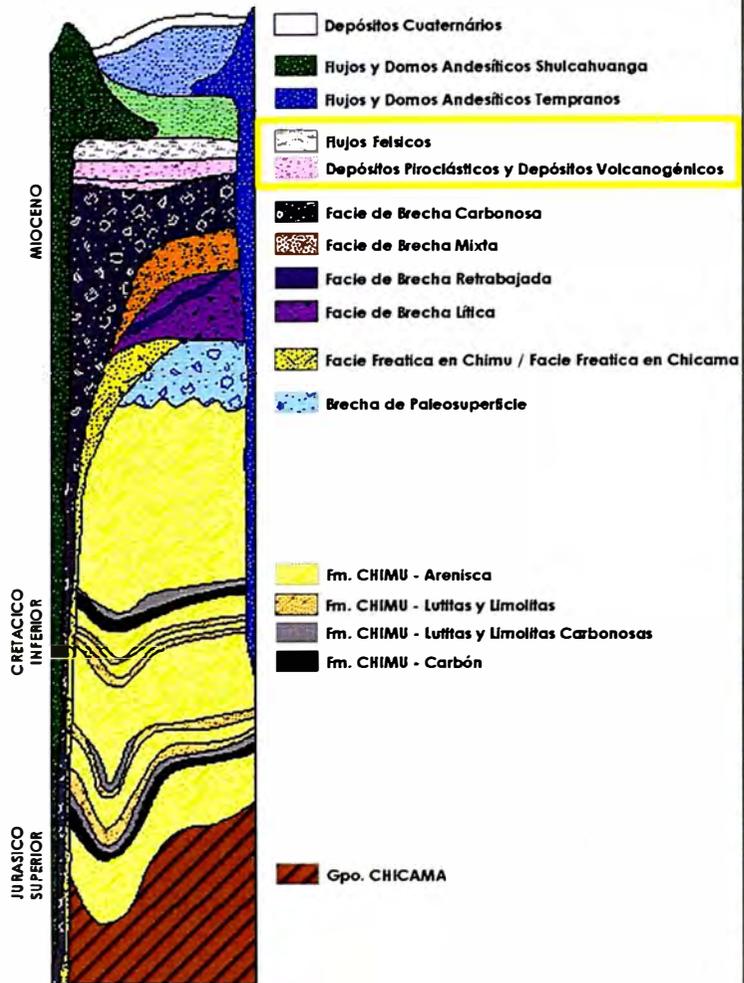
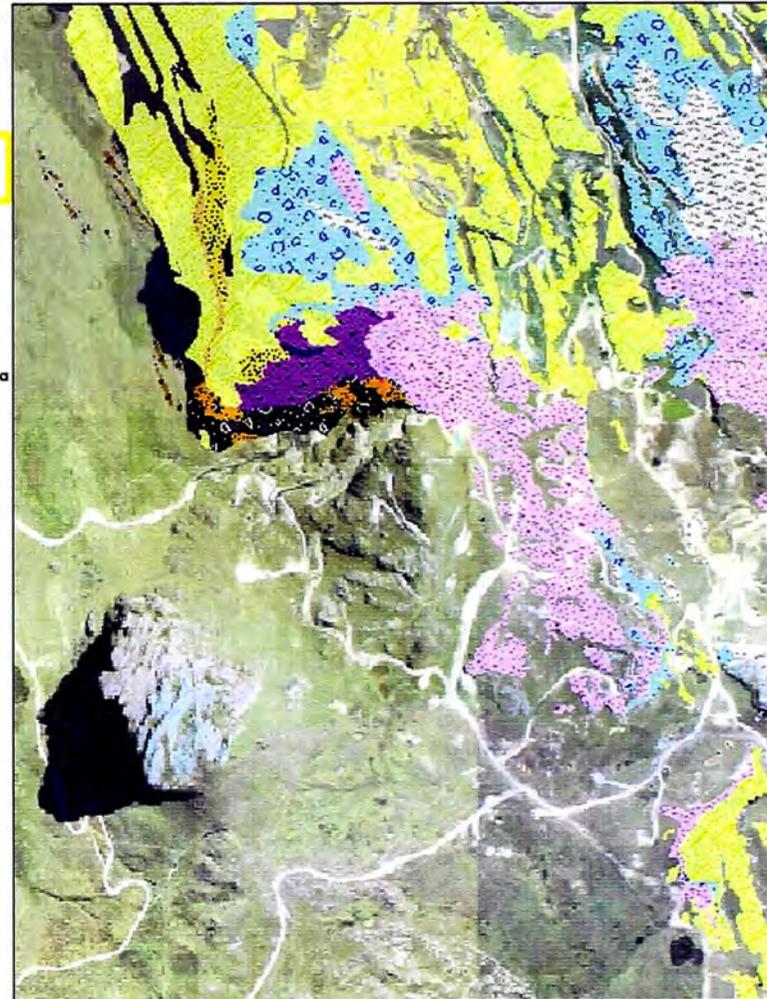


Figura 26

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

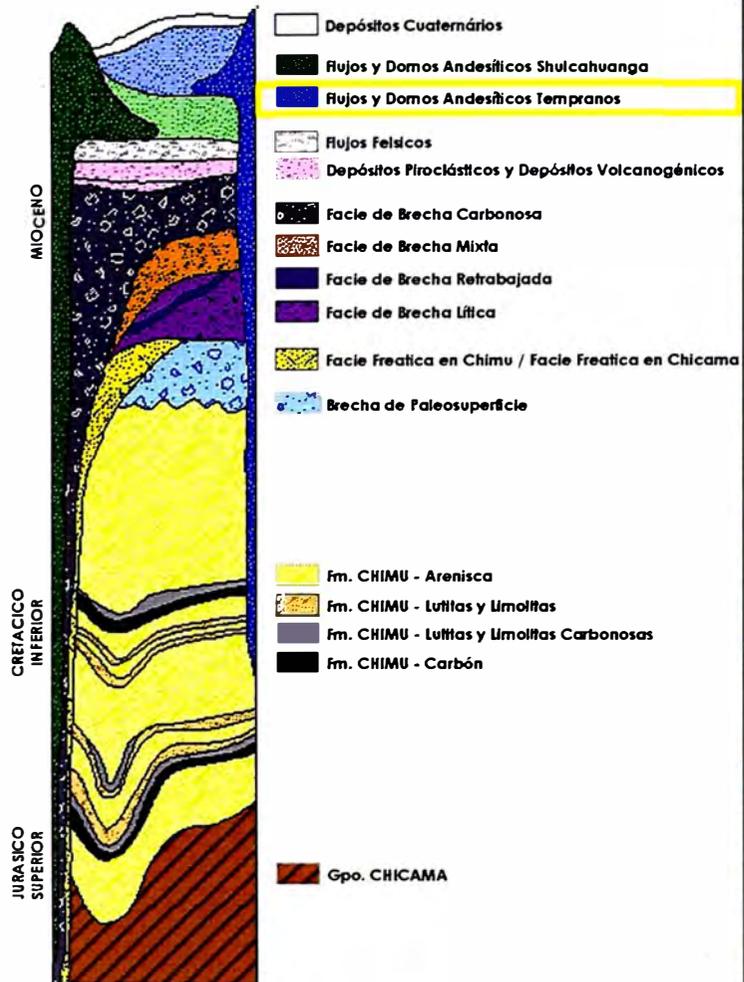
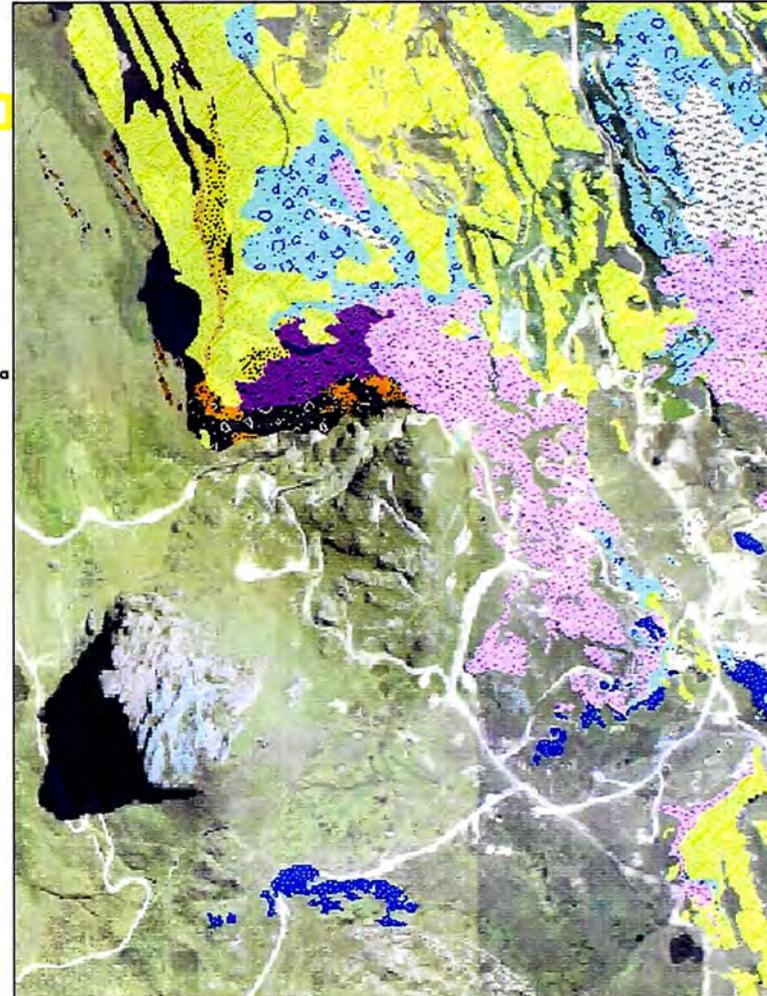


Figura 27

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

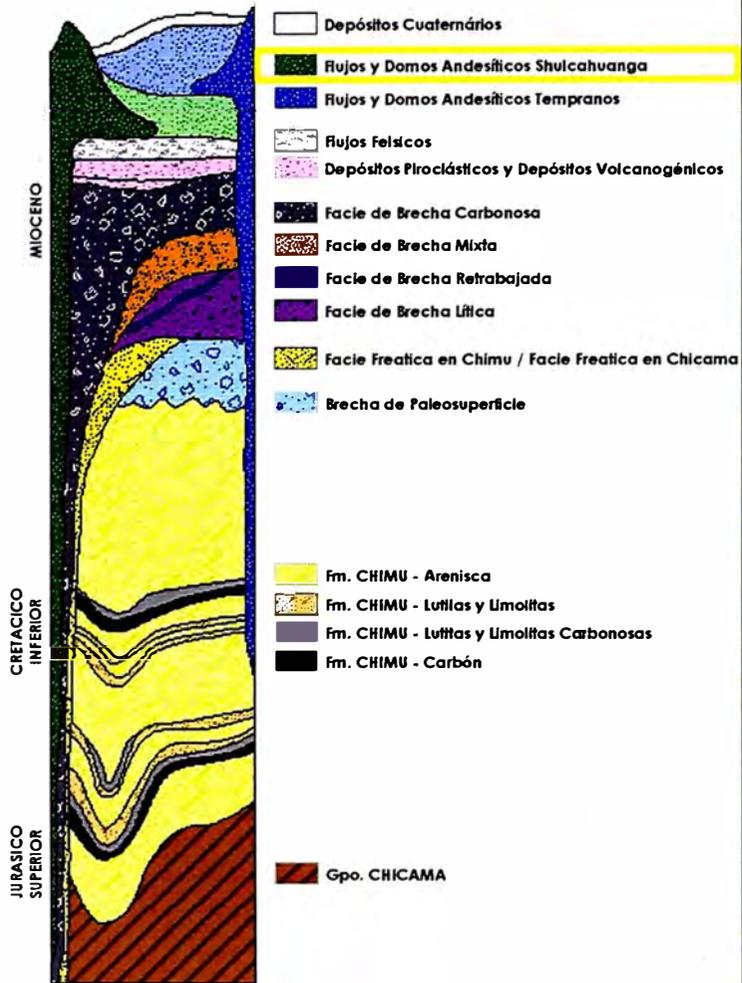
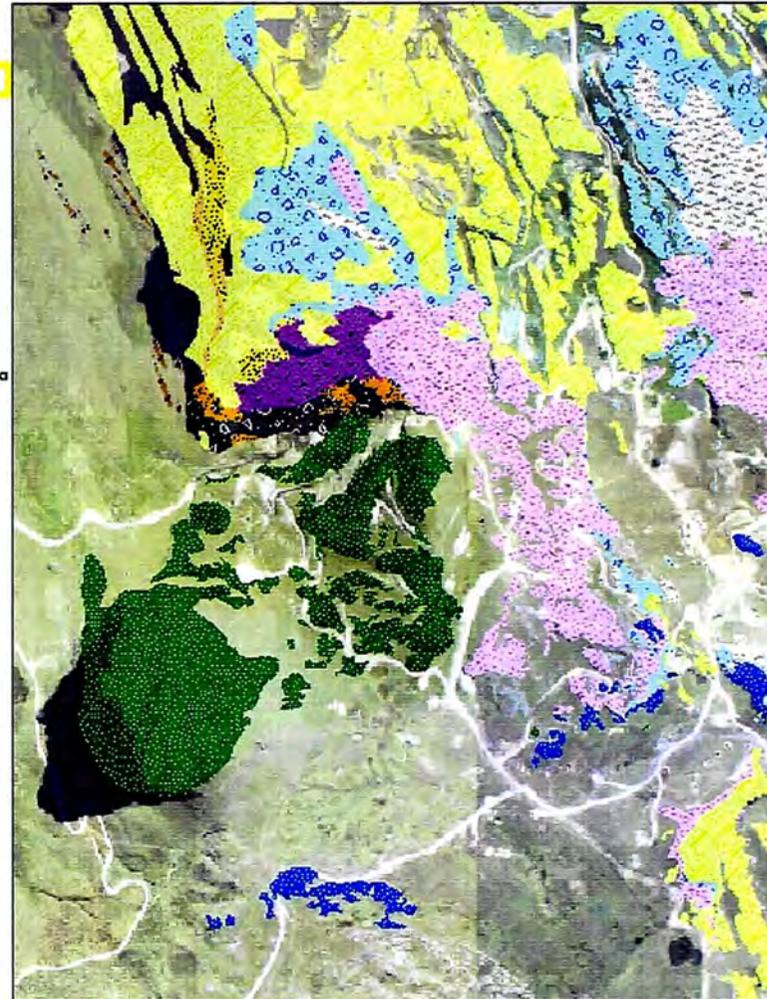


Figura 28

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



MODELO GEOLOGICO DIATREMA DAFNE

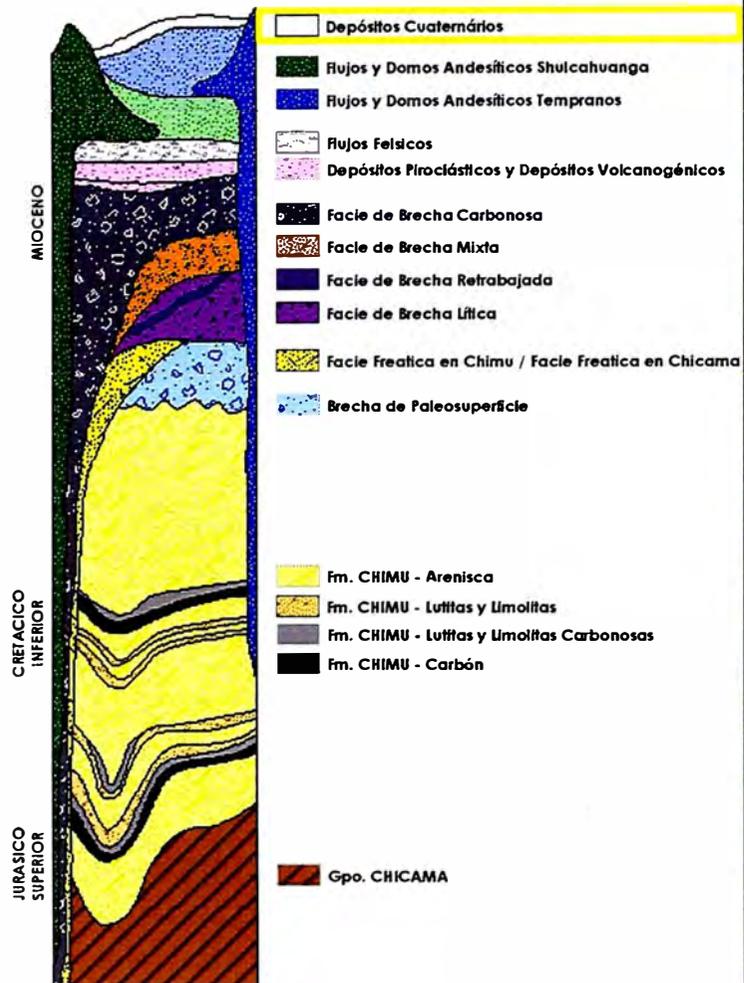
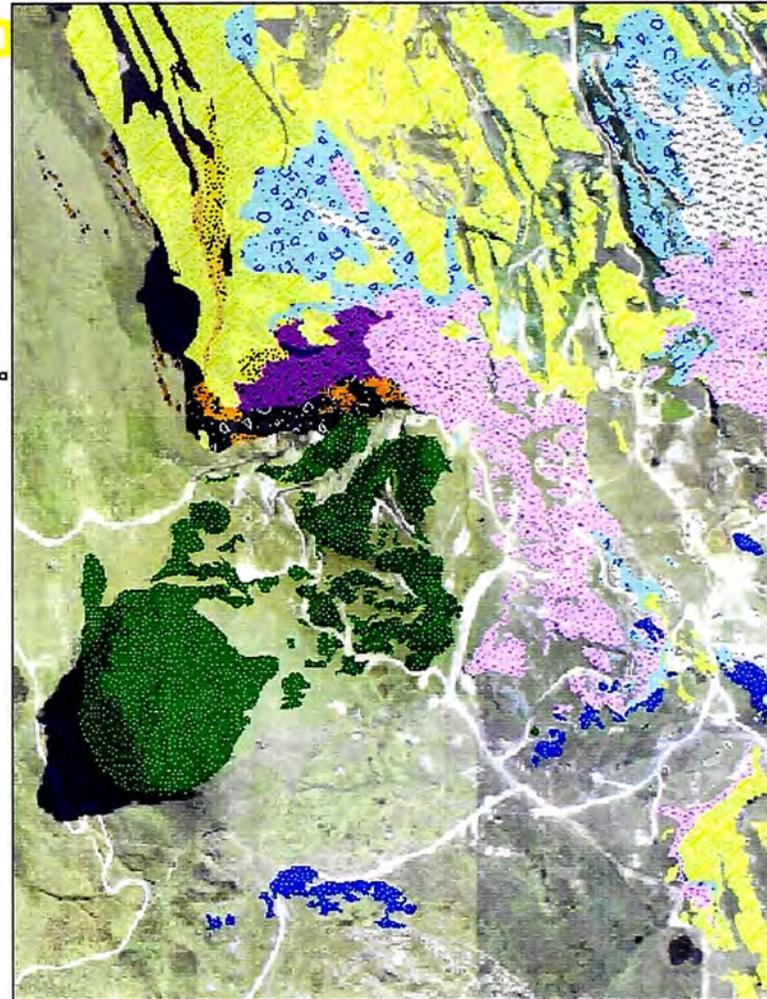


Figura 29

Basado en F. Gaboury, 2003

GEOLOGIA DE SUPERFICIE



6. Conclusiones

- Los diferentes tipos de fragmentos, su distribución, tamaño y morfología, los tipos de matriz; han generado diferentes tipos de brecha, que a su vez han sido agrupadas en facies de brechamiento en la zona de Dafne. Las características de estas brechas justifican la interpretación de que Dafne es una brecha diatrema.
- Las explosiones freáticas y freatomagmáticas representan diferentes etapas de procesos complejos de fragmentación, existe evidencia de que estos procesos pueden estar íntimamente relacionados y traslapados. La actividad freática genera brechas monomícticas en las areniscas del Chimú y en los sedimentos carbonosos del Chicama y la actividad freatomagmática brechas polimícticas.
- La actividad freática es anterior a la actividad freatomagmática, que es evidenciado por su distribución espacial dentro del área de Dafne, las brechas monomícticas generadas por esta actividad se desarrollaron a los bordes de las facies polimícticas, generadas por las explosiones freatomagmáticas. Las brechas freáticas generan las condiciones para que desarrollen los eventos freatomagmáticos.
- La actividad hidrotermal predata y posdata al desarrollo del diatrema, sin embargo el principal evento de mineralización en Dafne posdata el emplazamiento del diatrema (silicificación y sulfuros).
- La zona mineralizada del diatrema presenta un control litológico (facies de brecha lítica y retrabajada) y un control estructural evidenciado por el sistema 270.
- Para este sistema podemos afirmar que los eventos de explosiones freáticas y freatomagmáticas, así como la mineralización y/o alteración se desarrollan múltiples veces en un corto periodo de tiempo, esta característica evidencia un sistema único *world class*.

Referencias Bibliográficas

- Baker, E.M., Kirwin, D.J. y Taylor, R.G., 1986. Hydrothermal breccia pipes. Economic Geology Research Unit, 1-30.
- Benavides-Cáceres, V., 1999. Orogenic Evolution of the Peruvian Andes: The Andean Cycle. Special Publication Number 7 Society of Economic Geologist Geology and Ore Deposits of the Central Andes, 1-100.
- Cobbing, J., Pitcher, W., Wilson, J., Baldock, J., Taylor, W., Mc Court, W. y Snelling, N. J., Estudio Geológico de La Cordillera Occidental del Norte del Perú. Boletín No. 10 Serie D. Estudios Especiales. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 19-45.
- Cooke D.R. y Davies, A.G.S., 2000. Phreatic Explosions, Breccia Deposits And Gold Mineralisation In Low Sulfidation Epithermal Enviroments. Centre for Ore Deposit Research, an ARC Special Research Centre at the University of Tasmania, Australia, Abstract.
- Corbett, G.J. y Leach, T.M., 1995 Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralisation. A worshop presented for American Barrick at La Serena, Chile, 39-48.
- Corbett, G.J. y Leach, T.M., 1998 Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologist Special Publication Number 6, 55-67 y 158-161.
- Corbett, G.J., 2002. Epithermal Gold For Exploratonists. AIG Journal-Applied geoscientific practice and research in Australia, 17-24.
- Davies, A.G.S. y Cooke D.R.,2000. Hybrid Phreatomagmatic And Phreatic Breccias At The Kelian Gold Deposit, East Kalimantan Indonesia-Triggering Mechanisms And Implications For Ore Genesis In Magmatic-Hydrothermal Systems. Centre for Ore Deposit Research, an ARC Special Research Centre at the University of Tasmania, Australia, Abstract.
- Davies, A.G.S.,Cooke D.R. y Gemmell, B.,2000. Breccias associated with epithermal and porphyry systems-towards a systematic approach to their description and interpretation. Centre for Ore Deposit Research, an ARC Special Research Centre at the University of Tasmania, Australia, 1-4.
- Davies, A.G.S., Cooke D.R. y Gemmell, B., 2000. Overlaps Between Phreatic and Phreatomagmatic Brecciation-Implicatios For The Development of Hydrothermal Systems. An Example From The Kelian Gold Deposit, East Kalimantan, Indonesia. Centre for Ore Deposit Research, an ARC Special Research Centre at the University of Tasmania, Australia, Abstract.
- Davies, A.G.S., Gemmell, J.B. y Cooke D.R., 2000. Characteristics, timing and formation of diatrema breccias at the Kelian gold deposit, East Kalimantan, Indonesia. Paper submitted for PACRIM Congress 1999, Abstract.
- Gaboury, F., 2003. Internal memorandum, Barrick Gold Corporation.
- Gauthier, A., Diaz, N., Quirita, V., 1999. Sociedad Minera Cambior Peru S.A. Yacimientos La Arena-Virgen. Primer Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, 73-91.
- Guerra, R., 2002. Internal memorandum, Barrick Gold Corporation.

- Jacay, J., 1992. Estratigrafía y Sedimentología del Jurásico curso medio del Valle del Chicama y esbozo Paleogeográfico del Jurásico-Cretáceo del Nor Perú (6° 30' - 8° Latitud Sur), 51-90.
- Heyl, D., Livingston, V., 1999. Oro Peru Resources INC. El yacimiento de Tres Cruces y La Evolución de sus Modelos Genéticos de Geología Económica. Primer Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, 61-71.
- Machare, J., 2003. Stratigraphic Colum of the Western Cordillera of Northern Peru. Internal document Minera Barrick Misquichilca S.A.
- Mc Phie, J., Doyle, M., Allen, R., 1993. Volcanic Textures, A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks, CODES University of Tasmania, 1-11 y 24-180.
- Montoya, D., CIA Minera Aurífera Santa Rosa S.A. 1999. Yacimiento Aurífero Santa Rosa. Primer Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, 93-99.
- Palacios, O., 1995. Geología Histórica y Evolución Tectónica. República del Perú, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín No 55.
- Remane, J., 1996. International Stratigraphic Chart.
- Reyes, L., 1980. Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (Hojas 15f, 15g y 15h). República del Perú, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín No. 31.
- Sánchez, A. Y León, W., 1995. Geología Histórica y Evolución Tectónica. República del Perú, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín No 55.
- Sillitoe, R.H., 1985. Ore-Related in Volcanoplutonic Arcs. Economic Geology Vol 80 No 6, 1467-1514.
- Sillitoe, R.H., 1999. Styles of high-sulfidation gold, silver and copper mineralisation in porphyry and epithermal environments. PACRIM Congress 1999, 19-33.
- Skewes M.A., Arévalo, A., Floody, R., Zúñiga, P.H. y Stern, C.H., 2002. The Giant El Teniente Breccia Deposit: Hypogene Copper Distribution and Emplacement. Paper for the Society of Economic Geologists, 15-27.
- Terra Proyectos SAC, 2005. Estudio Petromineralógico y Mineragráfico de muestras. Realizado para CIA Minera Barrick.
- Wilson, J. y Reyes, L., 1964. Geología del cuadrángulo de Pataz. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín No 9.

Anexos

- Se detalla la descripción de la petrología microscópica de una alternancia de tobas y depósitos volcanogenicos del *Tuff Apron* en el área de Dafne.



Descripción macroscópica

Roca compuesta por intercalaciones de bandas, predominando unas, de aspecto macizo compacto a otras de aspecto poroso, formada por fragmentos líticos completamente silicificados y granos de cuarzo hialino primario, estos componentes presentan formas subangulosas a subredondeadas. Se aprecian limonitas como películas y en otros casos como relleno de cavidades.

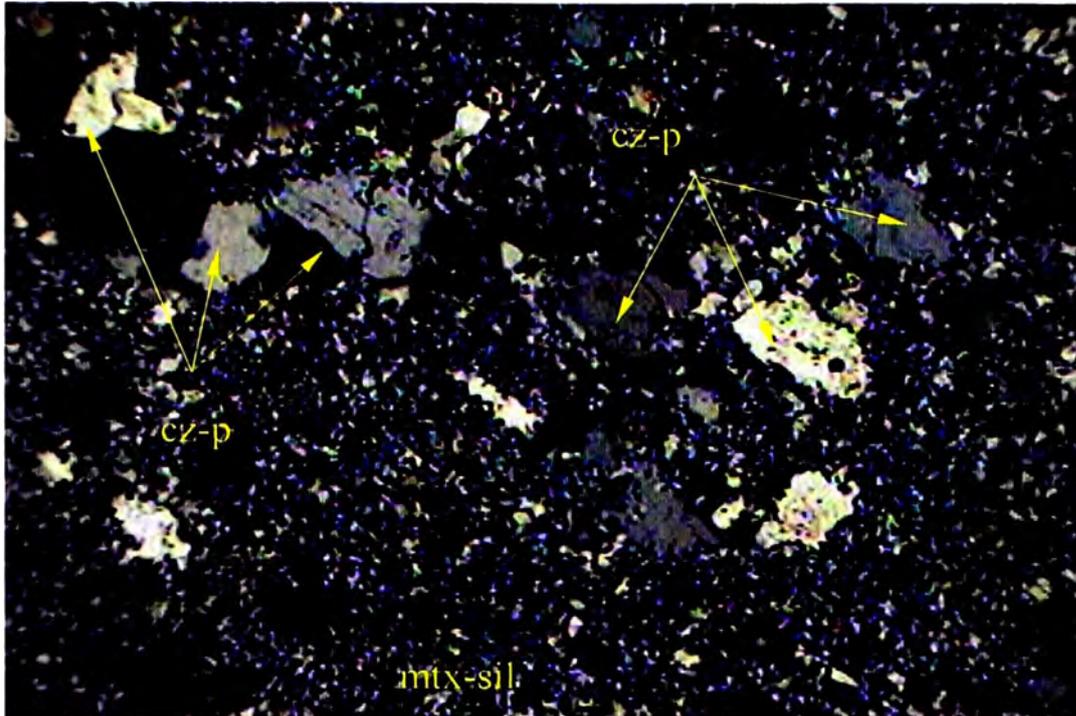
Descripción microscópica

Texturas y relaciones de conjunto

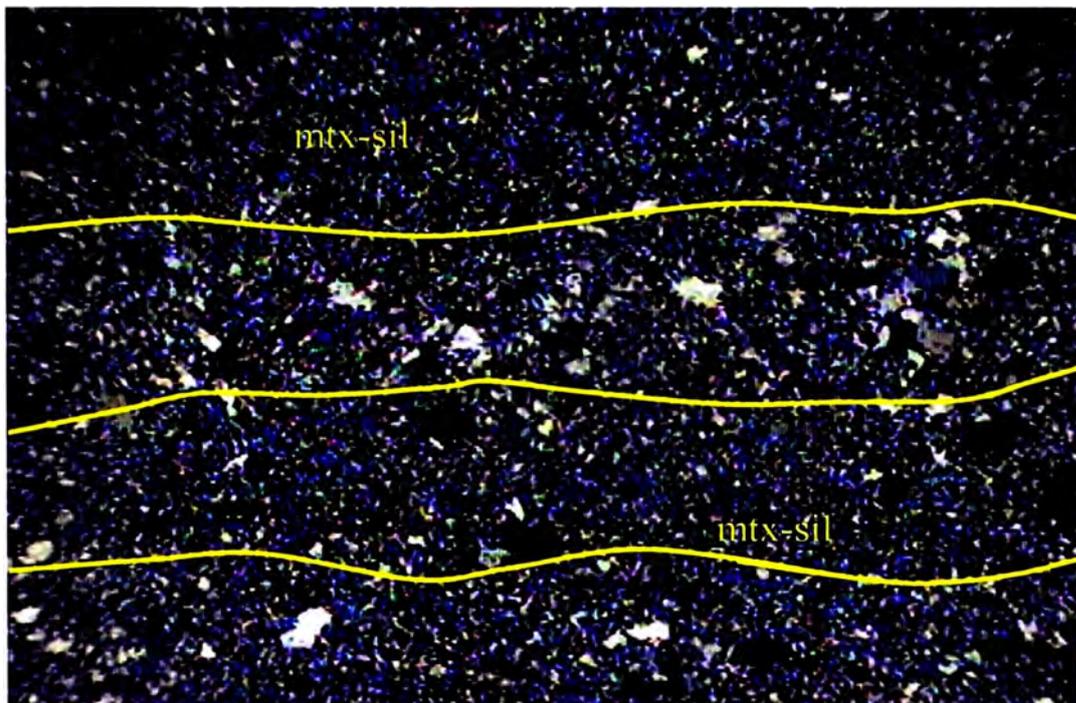
Roca fuertemente silicificada, constituida por una matriz de sílice granular muy fina, con presencia de relictos de cristales primarios de cuarzo, y algunos feldespatos (?), ambos tipos muestran bordes corroídos. La muestra presenta una serie de gradaciones en las dimensiones de las partículas de sílice de la matriz. Presencia de finas disseminaciones de rutilo y escaso leucoxeno.

Alteraciones hidrotermales

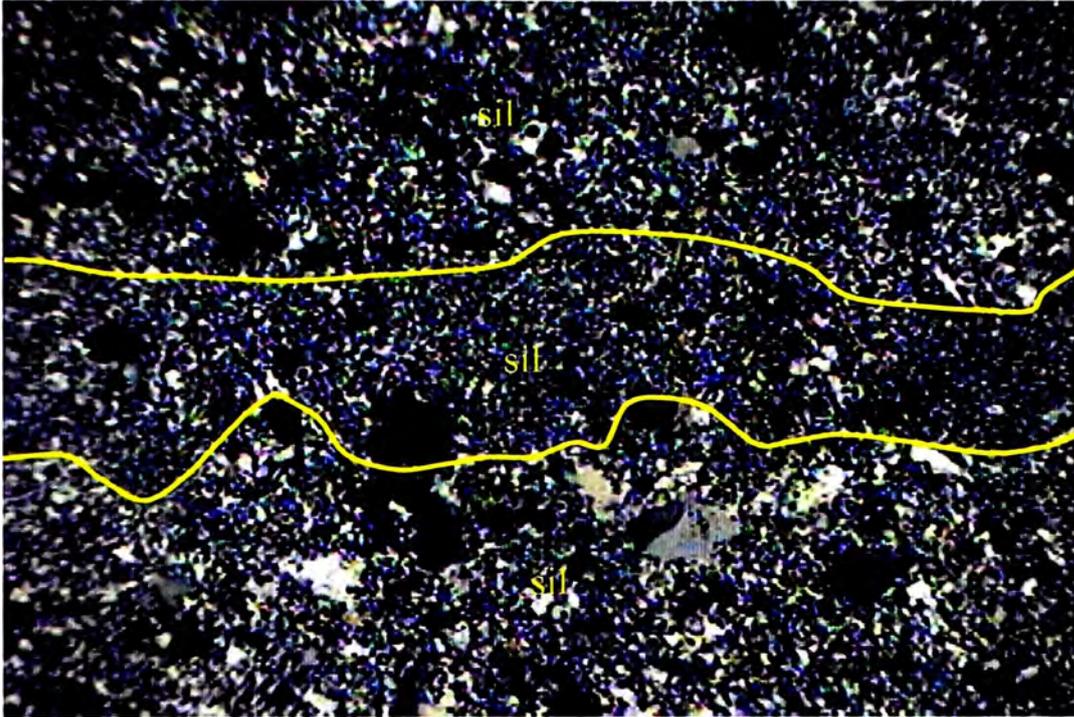
Silicificación Fuerte



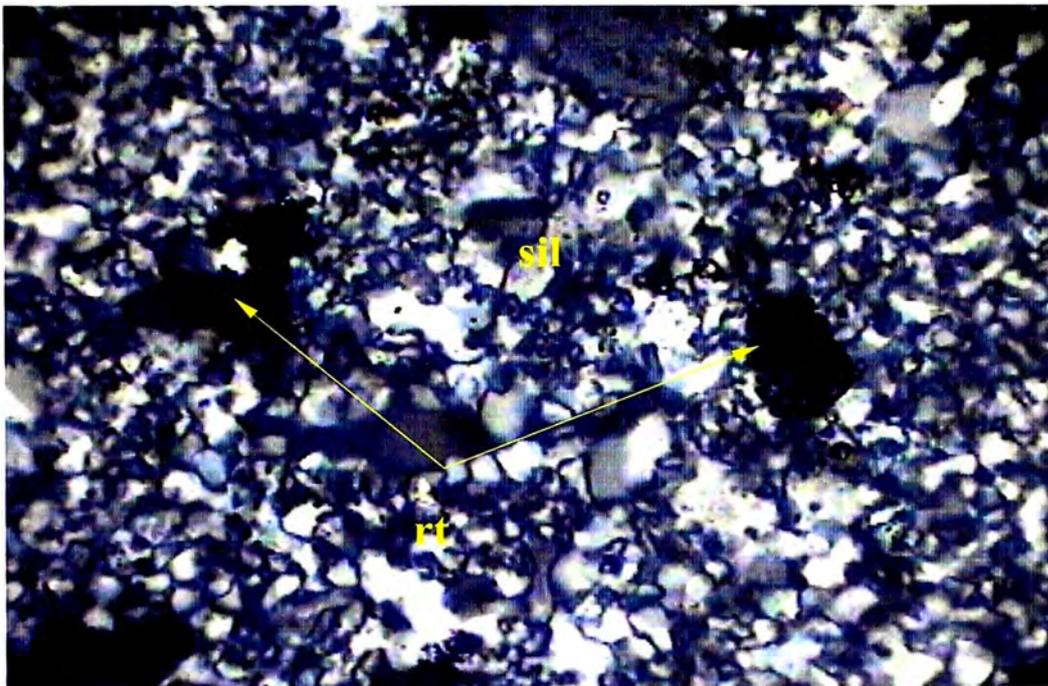
Fotomicrografía N° 15. Luz transmitida, nicoles cruzados. Relictos de cuarzo primario (cz-p) inmersos en matriz fuertemente silicificada (mtx-sil). Longitud del campo fotografiado = 1950 μ m



Fotomicrografía N° 16. Luz transmitida, nicoles cruzados. Vista de la distribución de la matriz fuertemente silicea (mtx sil), observándose una cierta alternancia de la sílice en capas de diferente granulometría. Longitud del campo fotografiado = 1950 μ m



Fotomicrografía N° 17. Luz transmitida, nicoles cruzados. Otra vista de la alternancia de capas de diferente granulometría de sílice (sil) de alteración.
Longitud del campo fotografiado = 1950 μm



Fotomicrografía N° 18. Luz transmitida, nicoles cruzados. Detalle de la distribución de los granos de sílice (sil) producto de la alteración de la roca. Se aprecia algunos granos de rutilo (rt) inmersos en la matriz silicificada.
Longitud del campo fotografiado = 480 μm

- Se adjuntan las siguientes figuras:

Figura 30, muestra la Sección 4300 con las unidades geológicas presentes en el Diatrema Dafne.

Figura 31, muestra la Sección 4300 con las unidades geológicas y Facies de Brecha presentes en el Diatrema Dafne.

Figura 32, muestra la Sección 4300 con la alteración hidrotermal presente en el Diatrema Dafne.

Figura 33, muestra la Sección 4300 con mineralización presente asociada al Diatrema Dafne.

Figura 34, muestra la Sección 4050 con las unidades geológicas presentes en el Diatrema Dafne.

Figura 35, muestra la Sección 4050 con las unidades geológicas y Facies de Brecha presentes en el Diatrema Dafne.

Figura 36, muestra la Sección 4050 con mineralización presente asociada al Diatrema Dafne.

Espectro N° 01. Gráfica del espectro tomado con ASD mostrando alunita-K y kaolín en trazas

Espectro N° 02. Gráfica del espectro tomado con ASD identificando dickita en matriz de brecha

Espectro N° 03. Gráfica del espectro tomado con ASD identificando illita-esmectita-Clorita en fragmentos juveniles en una brecha de facies carbonosa

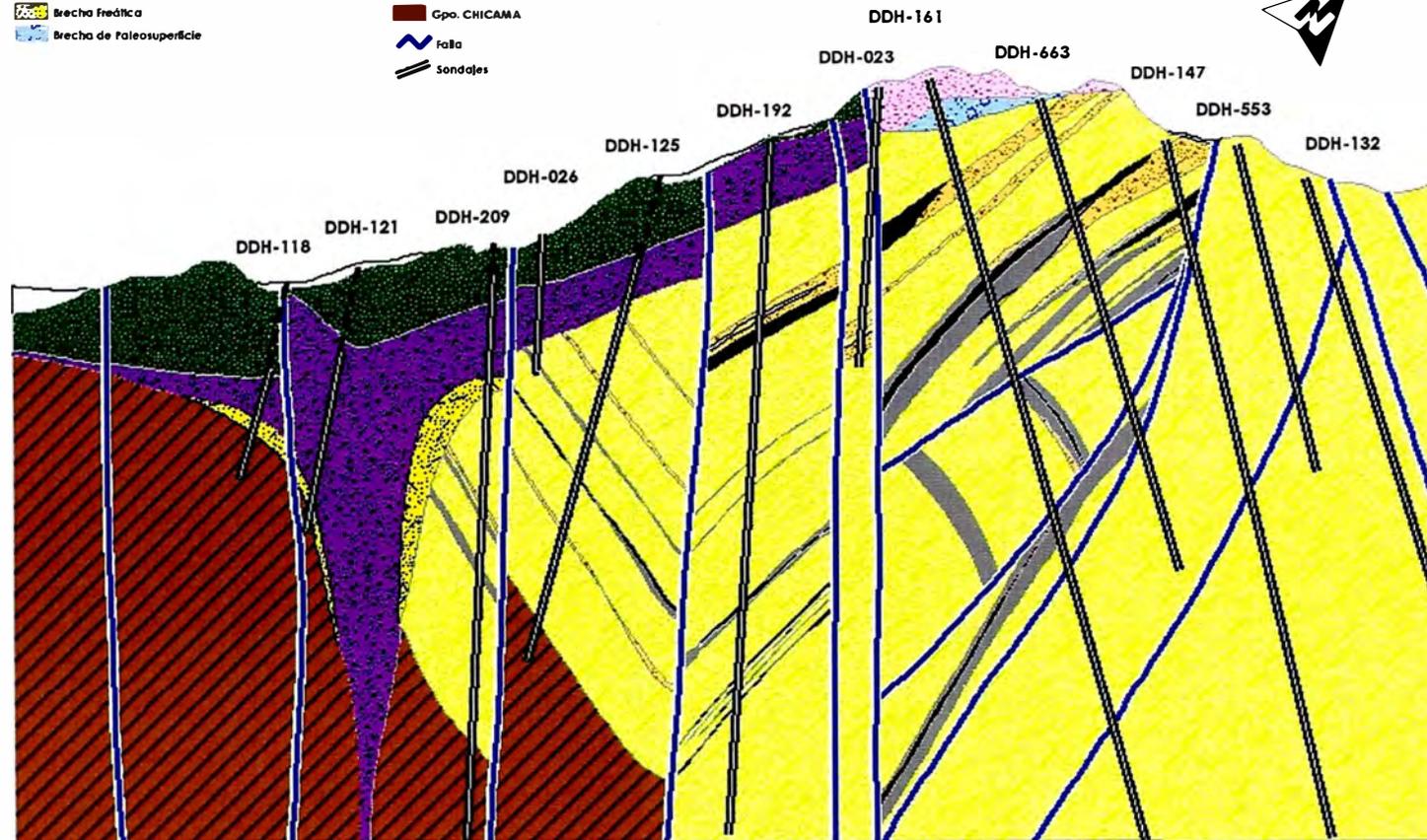
Espectro N° 04. Gráfica del espectro tomado con ASD identificando kaolín y óxidos en fragmentos juveniles en una facies de brecha mixta

Espectro N° 05. Gráfica del espectro tomado con ASD mostrando silicificación de fragmentos líticos en una facies de brecha lítica

LEYENDA

- Depósitos Cuaternarios
- Flujo y Domo Andesítico Shufcahuanga
- Depósitos Piroclásticos y Depósitos Volcanogénicos
- Brecha Freatomagmática
- Brecha Freatica
- Brecha de Paleosuperficie
- Fm. CHIMU - Arenisca
- Fm. CHIMU - Lutitas y Limonitas
- Fm. CHIMU - Lutitas y Limonitas Carbonosas
- Fm. CHIMU - Carbón
- Gpo. CHICAMA
- Falla
- Sondajes

SECCION 4300



0 75 150 metros

Figura 30

LEYENDA

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Depósitos Cuaternarios |  Fm. CHIMU - Arenisca |
|  Rujos y Damos Andesiticos Shukahuanga |  Fm. CHIMU - Lulitas y Limoiltas |
|  Depósitos Pliocénicos y Depósitos Volcanogénicos |  Fm. CHIMU - Lulitas y Limoiltas Carbonosas |
|  Facie de Brecha Carbonosa |  Fm. CHIMU - Carbón |
|  Facie de Brecha Milda |  Gpo. CHICAMA |
|  Facie de Brecha Tilica |  falla |
|  Facie freática en Chinu |  sondajes |
|  Facie freática en Chicama | |

SECCION 4300

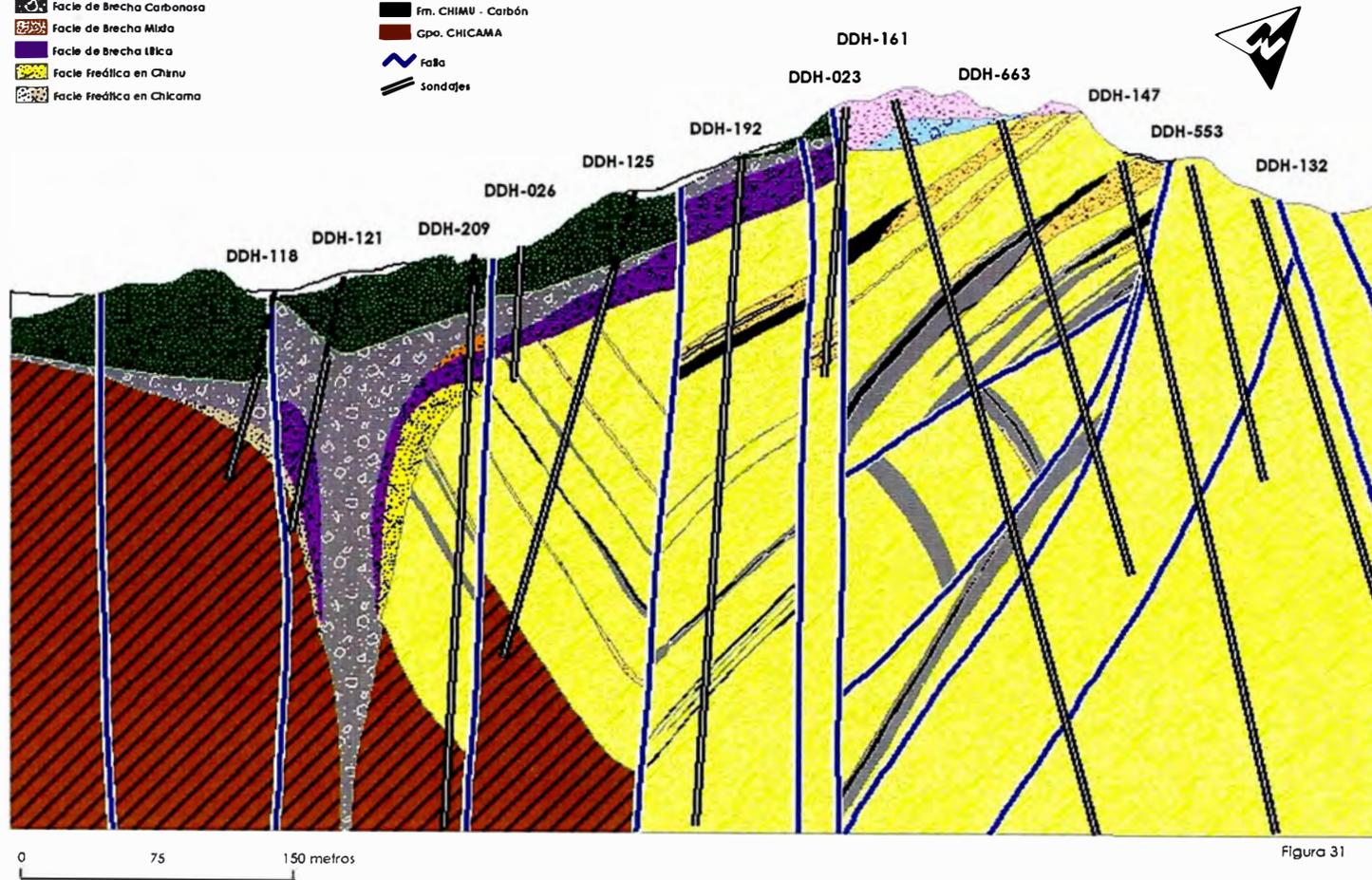
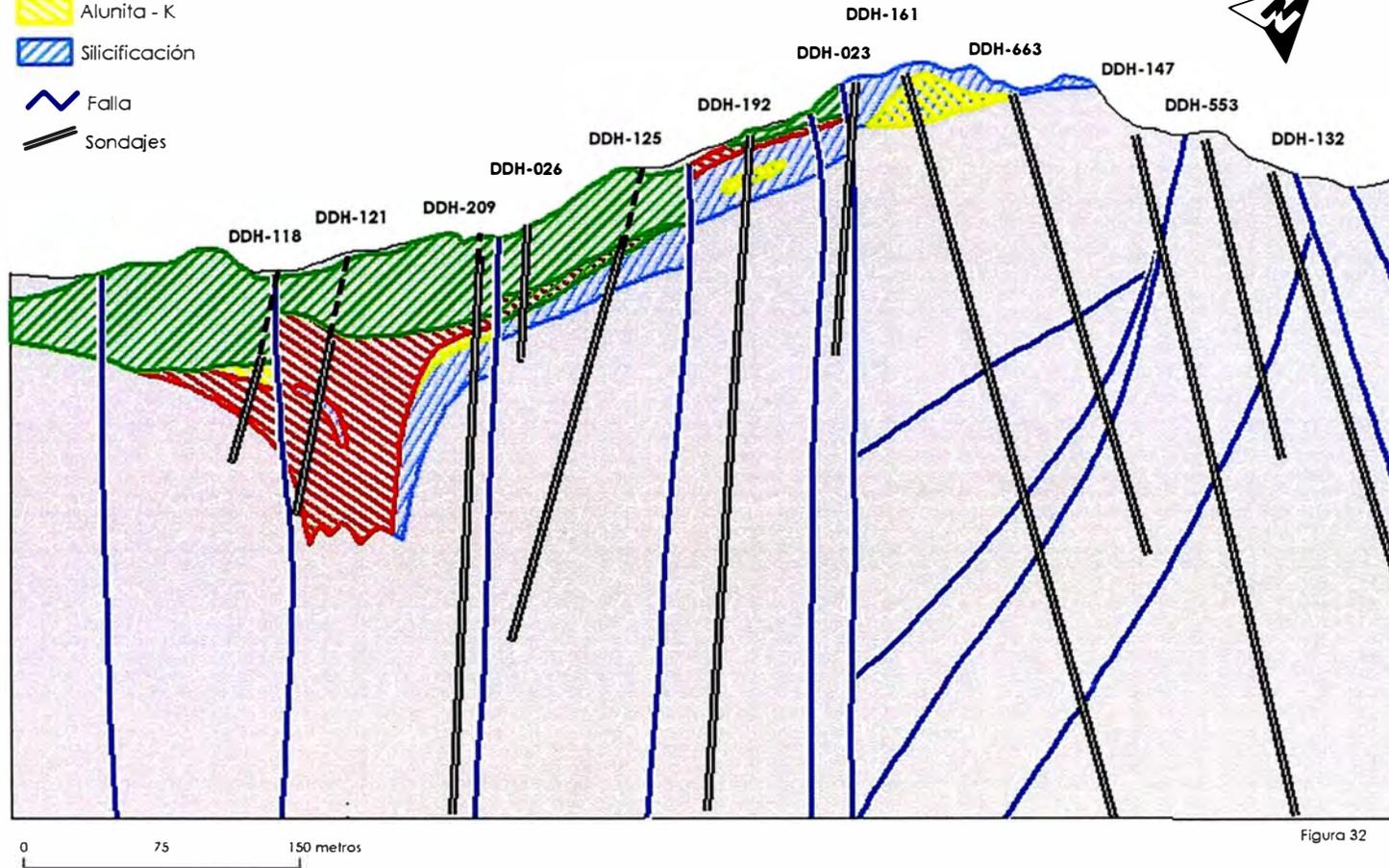


Figura 31

LEYENDA

-  Dikita
-  Illita - Esmectita
-  Alunita - K
-  Silicificación
-  Falla
-  Sondajes

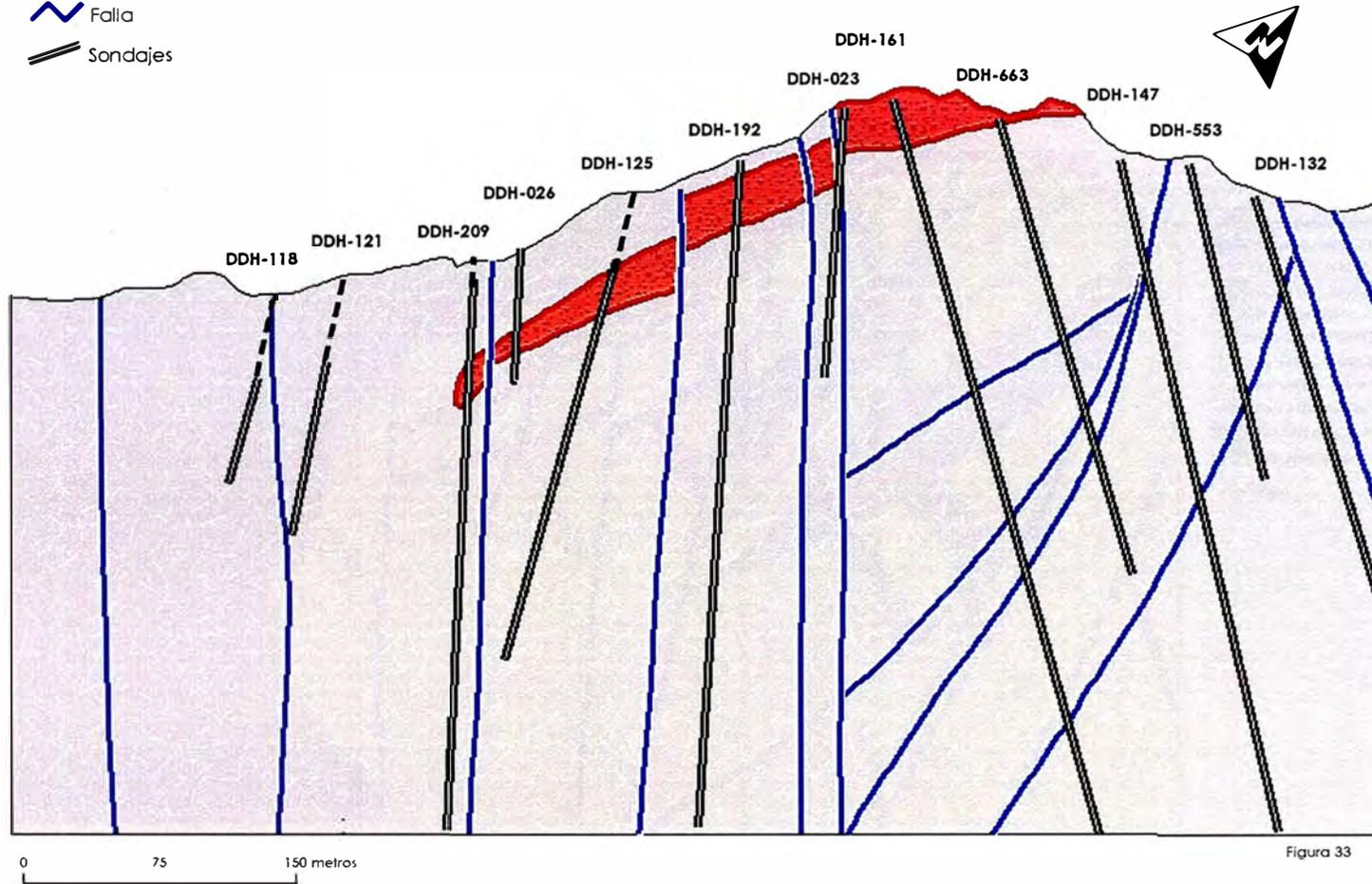
SECCION 4300



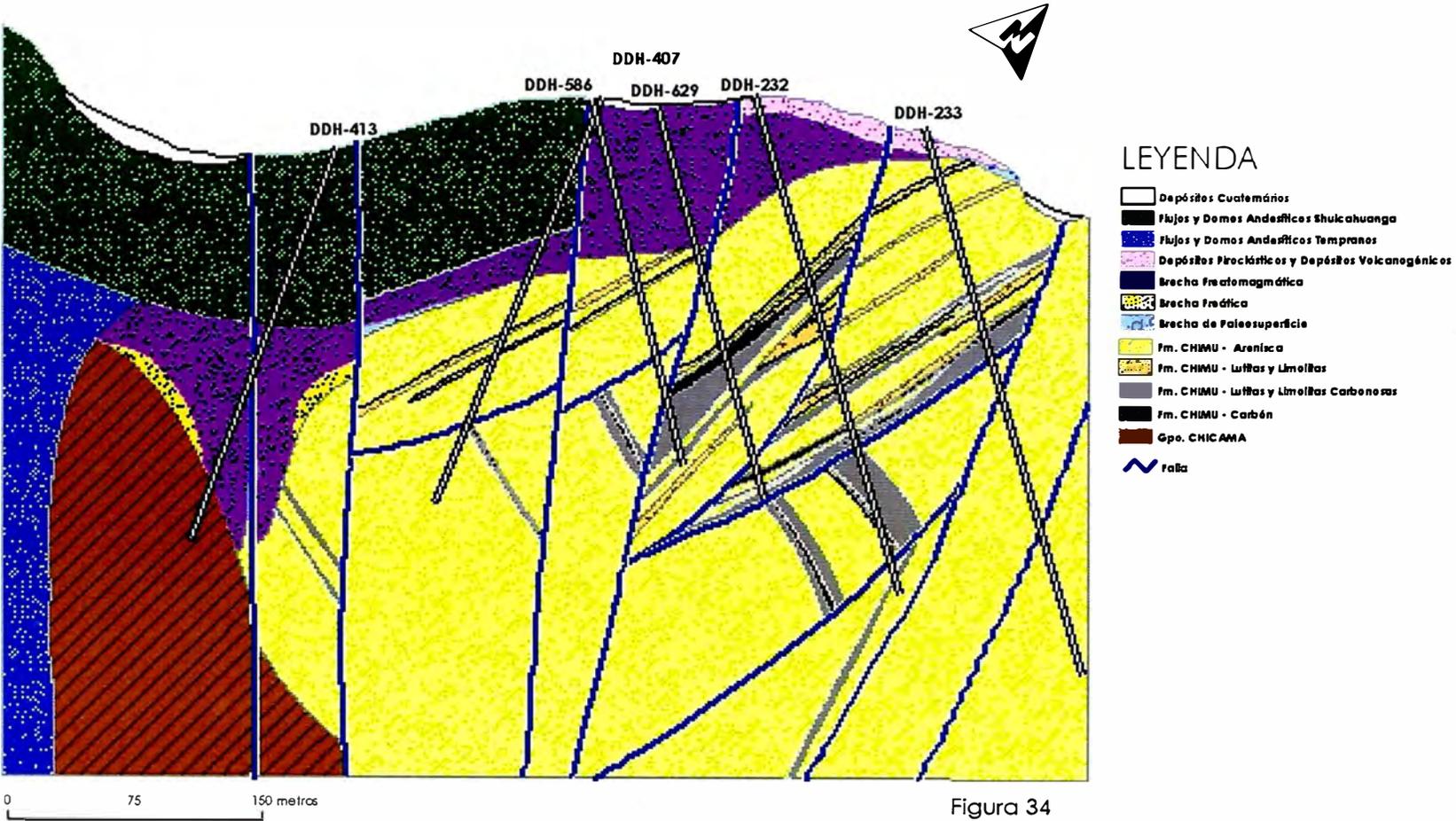
LEYENDA

-  Mineralización
-  Falla
-  Sondajes

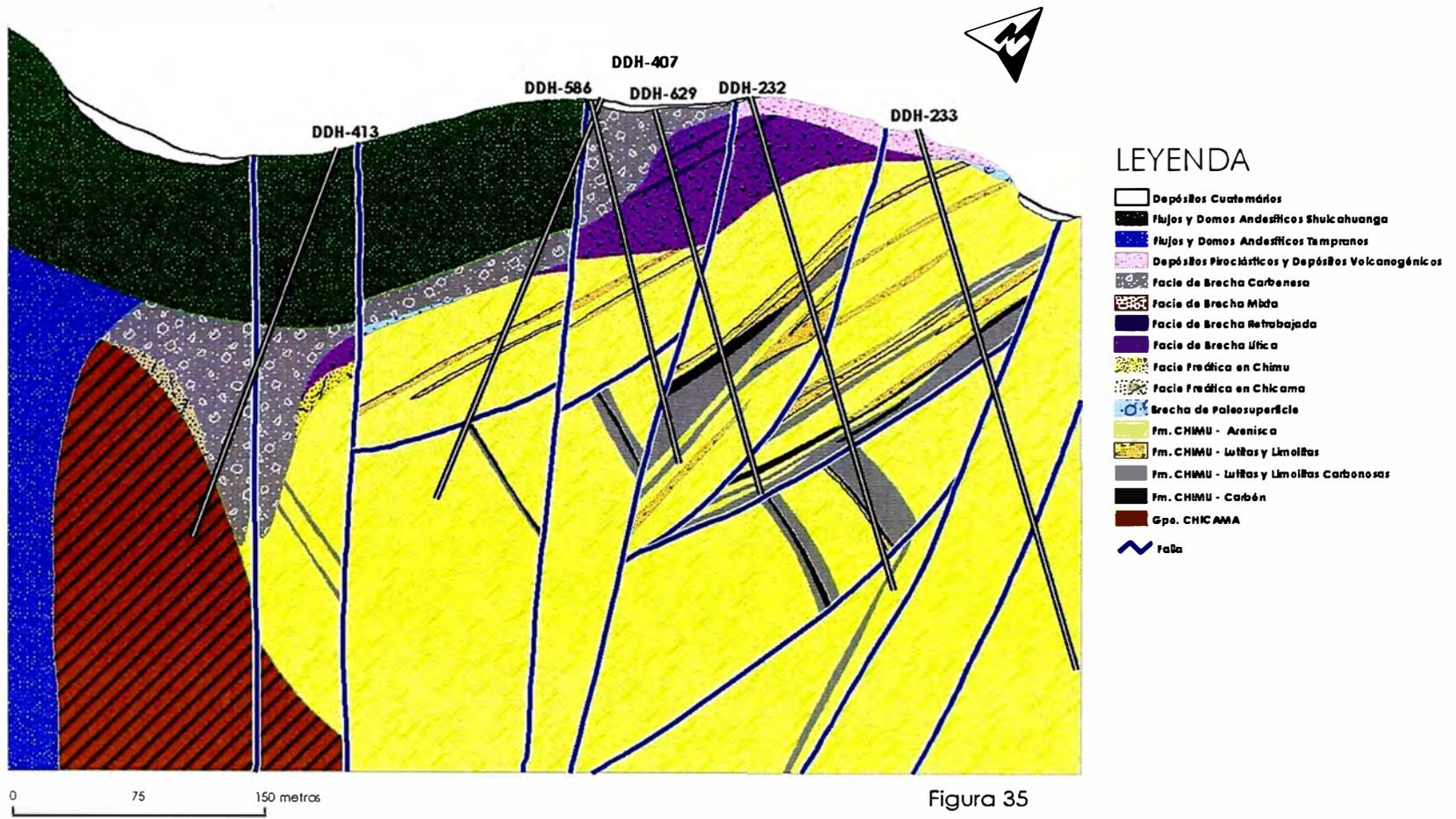
SECCION 4300



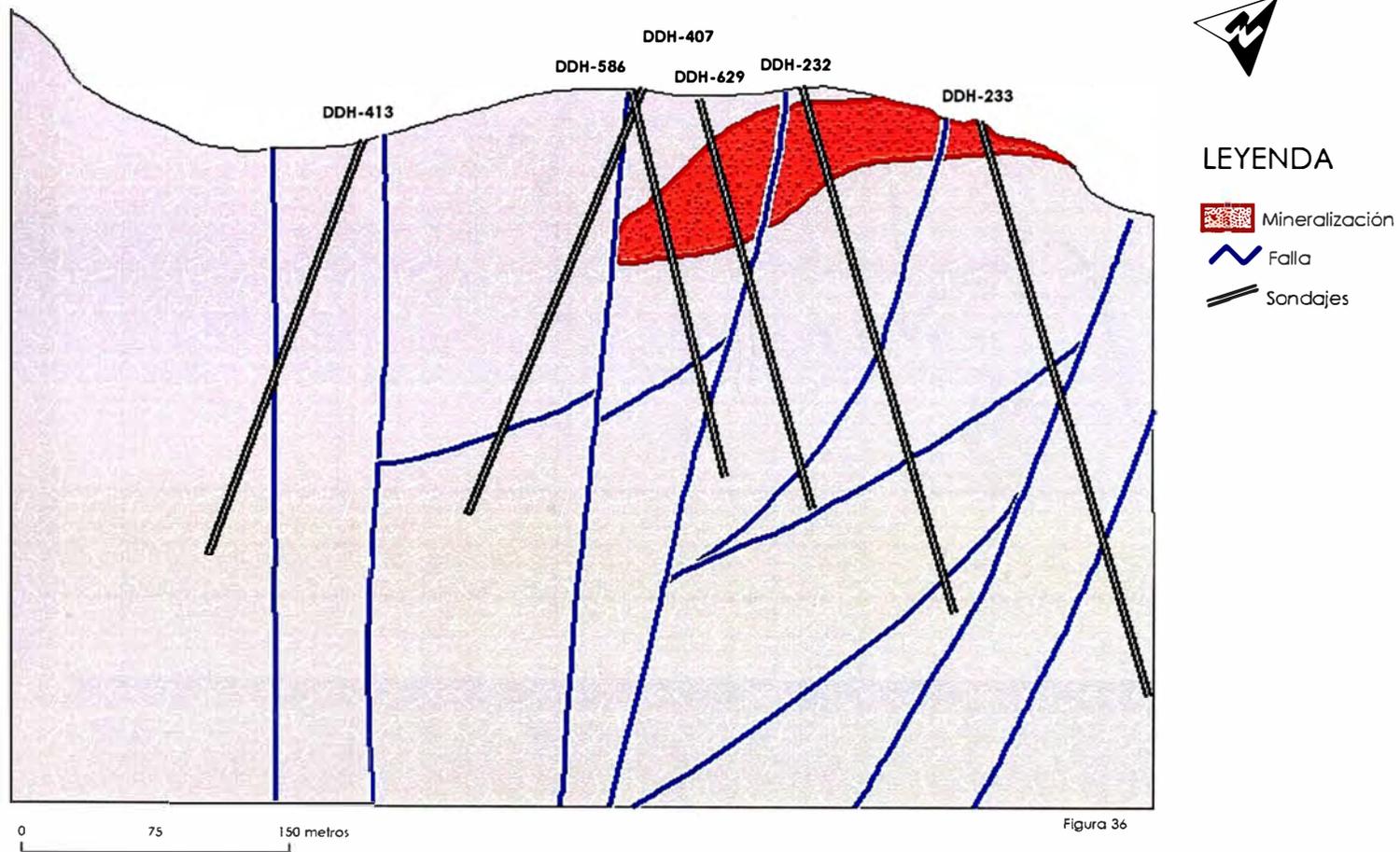
SECCION 4050

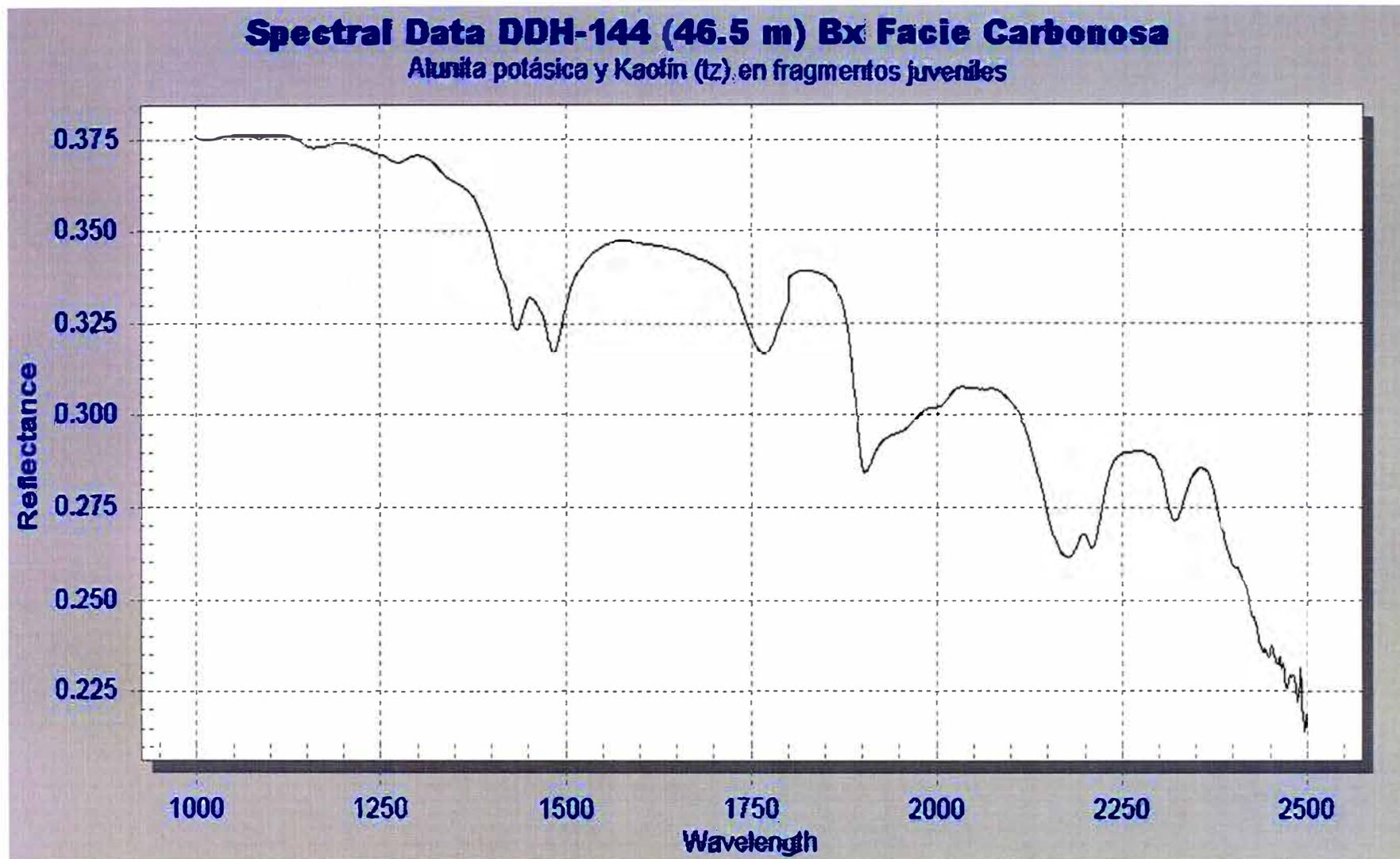


SECCION 4050

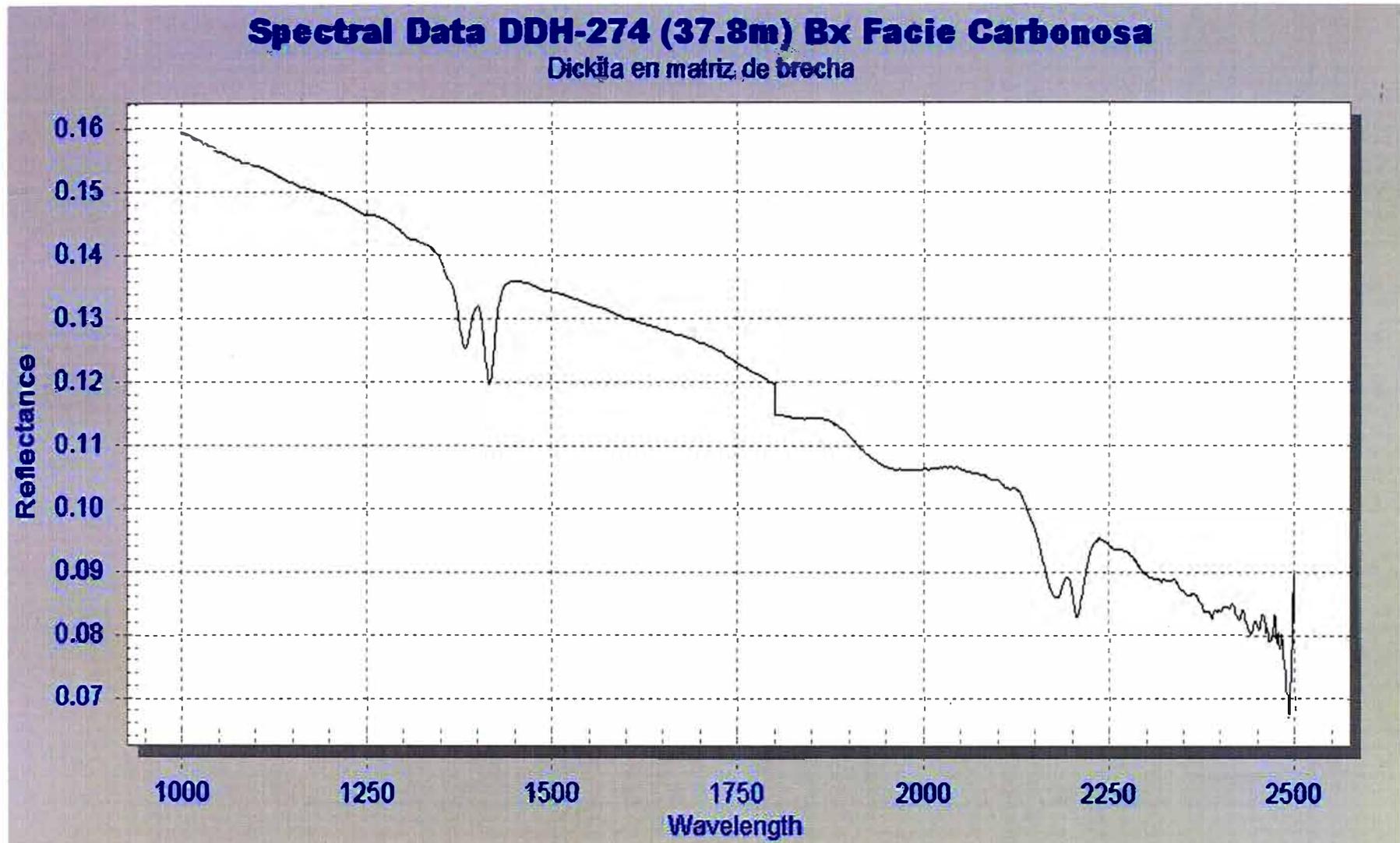


SECCION 4050

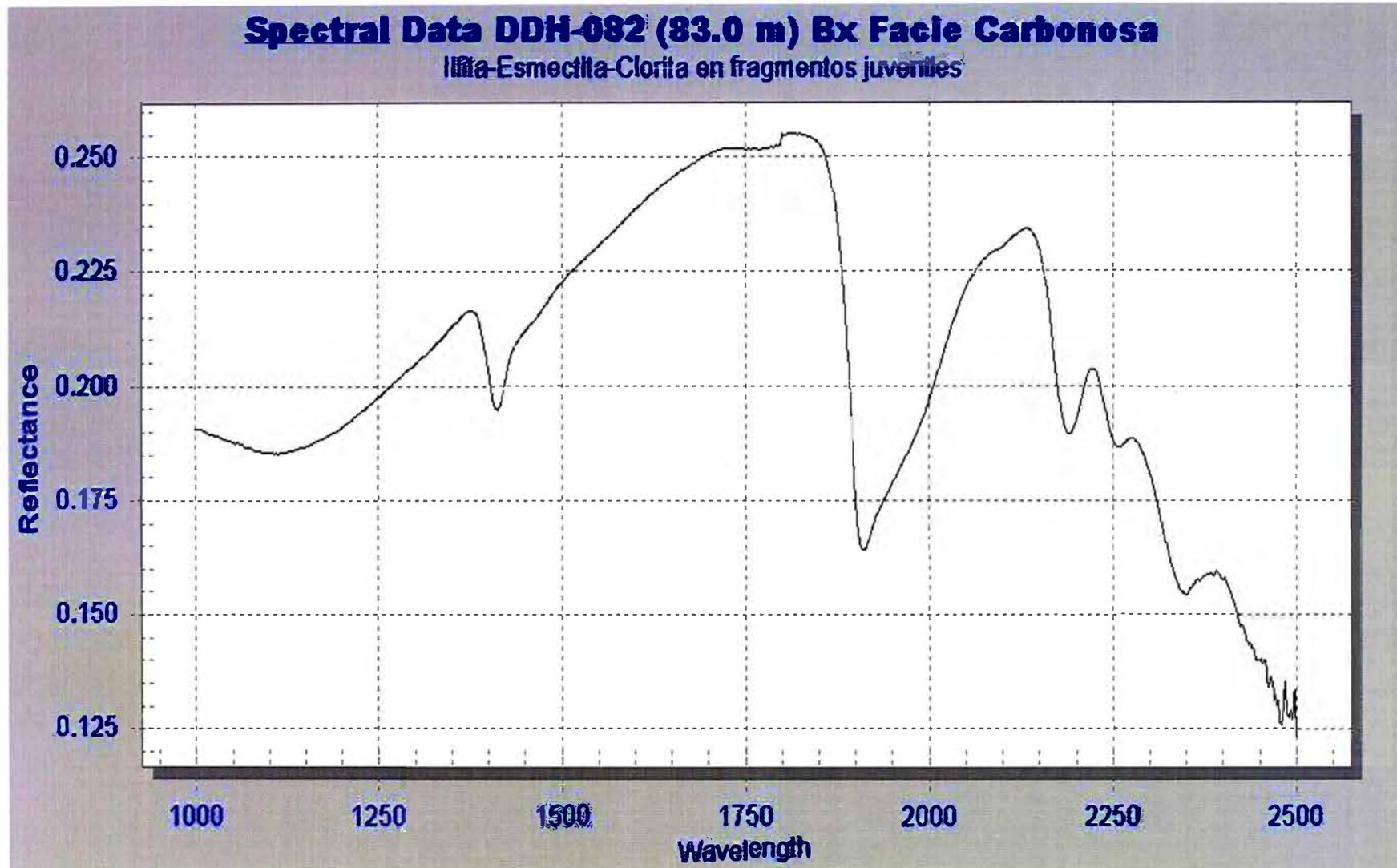




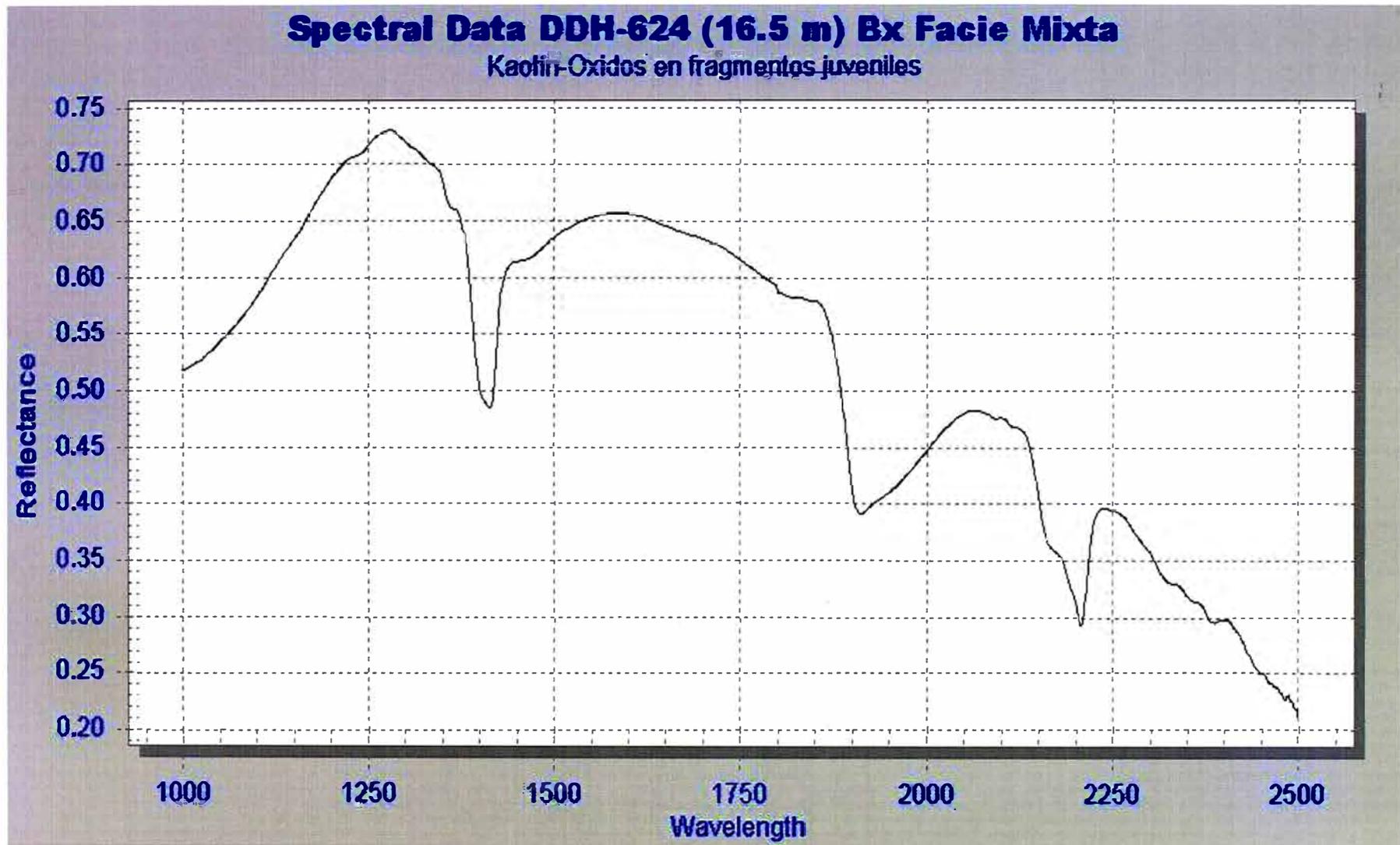
Espectro N° 01. Gráfica del espectro tomado con ASD mostrando alunita-K y kaolín en trazas



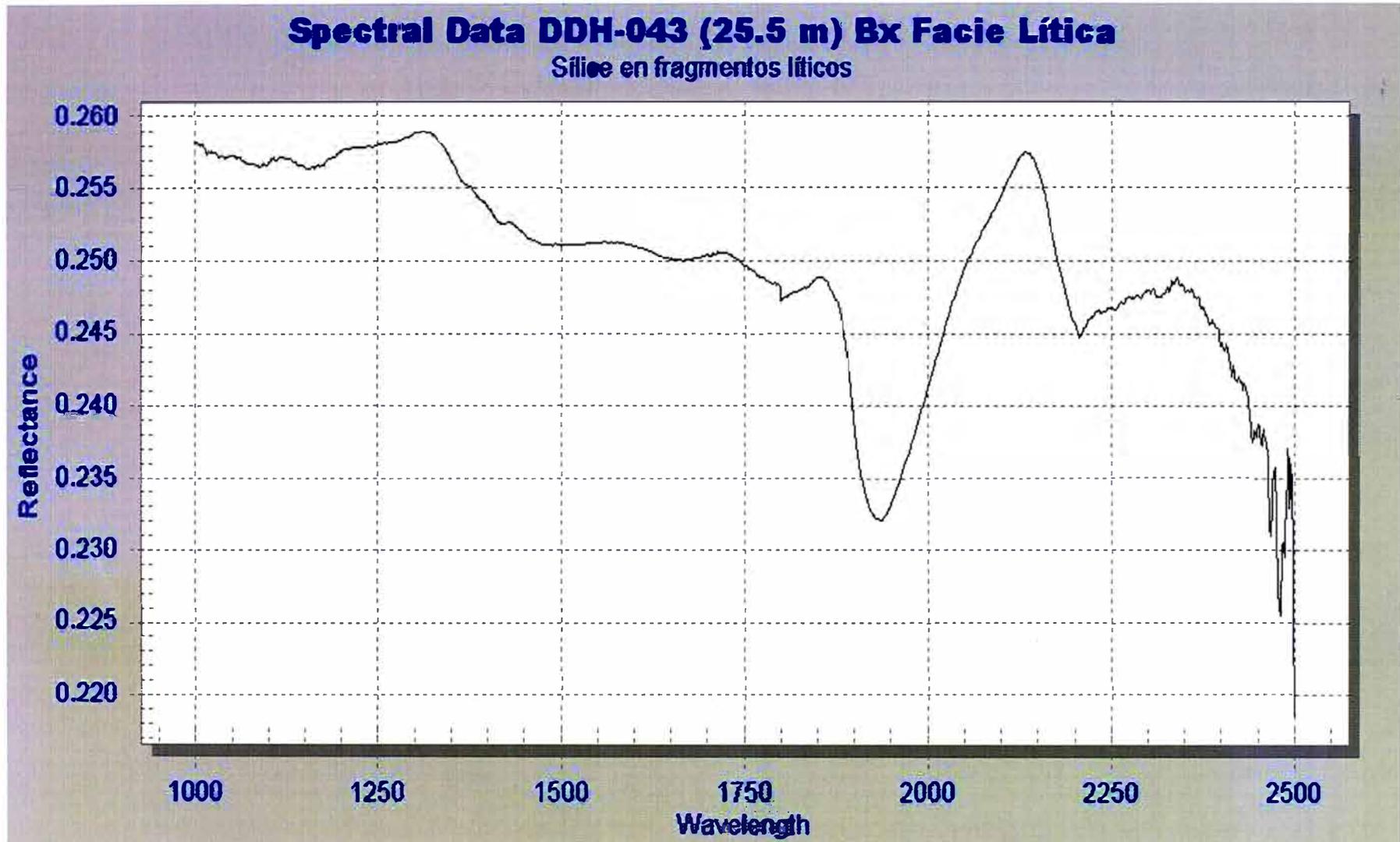
Espectro N° 02. Gráfica del espectro tomado con ASD identificando dickita en matriz de brecha



Espectro N° 03. Gráfica del espectro tomado con ASD identificando illita-esmectita-Clorita en fragmentos juveniles en una brecha de facies carbonosa



Espectro N° 04. Gráfica del espectro tomado con ASD identificando kaolín y óxidos en fragmentos juveniles en una facies de brecha mixta



Espectro N° 05. Gráfica del espectro tomado con ASD mostrando silicificación de fragmentos líticos en una facies de brecha **lítica**