

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**La Brecha Gioconda y Pucairca en la mineralización del  
Prospecto Lincuna, Distrito Minero Ticapampa – Aija**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor: Bach. Ernesto Luis CARHUAPOMA TRAVEZAÑO**

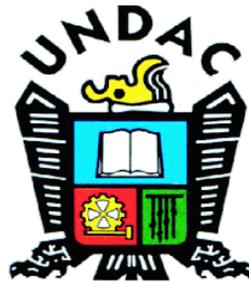
**Asesor: Ing. Ramiro Ernesto DE LA CRUZ FERRUZO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**La Brecha Gioconda y Pucairca en la mineralización del  
Prospecto Lincuna, Distrito Minero Ticapampa – Aija**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

---

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI  
PRESIDENTE

---

Mg. Luis Arturo LAZO PAGÁN  
MIEMBRO

---

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO  
MIEMBRO

## **DEDICATORIA**

A mi madre Marlene TRAVEZAÑO, quien con sus consejos me han motivado a seguir adelante. Porque ella siempre está brindándome su apoyo y consejos para ser de mí una mejor persona, todo se lo debo a ella.

A mi hermano Ronald por sus palabras de aliento día tras día y la confianza que me dio.

## **RECONOCIMIENTO**

Agradezco al Superintendente de Exploraciones de la Compañía Minera Lincuna S.A. por brindarme la oportunidad de desempeñarme profesionalmente y así poder ampliar mis conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en mi formación universitaria.

Agradezco a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica por todas sus enseñanzas a lo largo de mi carrera, por su tiempo, amistad y conocimientos que me transmitieron.

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo.

## **RESUMEN**

Uno de los aspectos más interesantes del Prospecto Lincuna es la presencia de brechas hidrotermales en los sectores Norte y Noreste del Proyecto donde se han reconocido 20 tubos de brechas que están distribuidos a lo largo de lineamientos estructurales y cruce de fallas. Las dimensiones mínimas expuestas en superficie están en el orden de 10mx25m y las dimensiones máximas están en el orden de 250m x 150m.

Con respecto a las formas predominan las ovaloides, circulares y tabulares. Las brechas se exponen en altitudes que van de los 4,150 m.s.n.m. a 4,650 m.s.n.m.

Estos merecen ser analizados debido a la importancia que tienen como canales de flujos de soluciones hidrotermales.

La distribución de los tubos de brecha y la presencia de minerales de alteración tales como: cuarzo cristalizado y amorfo, turmalina, epídota, sericita, clorita, pirita, sulfuros etc. nos indican que hay relación con un sistema pórfido.

El 60% de los tubos de brecha descritos ocurren en las áreas mapeadas consideradas prospectivas por la presencia de alteraciones hipogénicas y sulfuros.

Dentro de este marco en la presente tesis estudiaremos las brechas Gioconda y Pucairca.

**Palabras clave:** Brechas, Rocas volcánicas.

## **ABSTRACT**

One of the most interesting aspects of the Prospect is the presence of hydrothermal breccias in the North and Northeast sectors of the Project where 20 gap pipes have been recognized that are distributed along the lines and crossing of faults. The minimum dimensions on the surface are in the order of 10m x 25m and the maximum dimensions are in the order of 250m x 150m.

With respect to the predominant forms of the ovaloid, circular and tabular. The gaps are exposed at altitudes ranging from 4,150 m.s.n.m. at 4,650 m.s.n.m

These data are analyzed due to the importance they have as hydrothermal solutions results channels.

The distribution of the gap tubes and the presence of alteration minerals such as: crystallized and amorphous quartz, tourmaline, epidote, sericite, chlorite, pyrite, sulfides, etc. they indicate that there is a relationship with a porphyry system.

60% of the gap tubes are described in the mapped areas considered prospective due to the presence of hypogenic and sulphurous alterations.

Within this framework in this thesis we will study the Gaps Gioconda and Pucairca.

**Keywords:** Gaps, Volcanic rocks.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto se encuentra en zonas de interés geológico que tienen relación con rocas volcánicas (lavas, tobas, aglomerados e intrusivos subvolcánicos de composición intermedia a ácida) del Grupo Calipuy de edad Terciario Inferior a Medio, las que suprayacen en discordancia angular a rocas sedimentarias (secuencias de areniscas, lutitas y calizas) del Jurásico Superior y Cretáceo Inferior.

Estructuralmente las rocas sedimentarias del basamento mesozoico presentan fuerte plegamiento, mientras que los volcánicos del Grupo Calipuy presentan buzamientos de 10° a 25° con ligeras variaciones locales.

Los rasgos geomorfológicos y estructurales indican la existencia de una estructura circular de 24 Km. de diámetro y cuyo centro se ubica en las inmediaciones del poblado de Aija; dicha estructura circular podría estar asociada a una caldera(?) de tipo resurgente desarrollado en los inicios del volcánico Calipuy y profundamente erosionada en el Neógeno, donde el emplazamiento del batolito en ascenso acentuó las estructuras circulares A. Cossío 1997.

Los prospectos investigados se circunscriben borde oriental de la estructura circular y están emplazados en intrusivos subvolcánicos porfiríticos, tobas y lavas de composición andesítica a riolítica, afectados por una alteración hidrotermal que comprende propilitización, cuarzo-sericita y silicificación.

El sistema regional de las fallas Cordillera Blanca, Santa de rumbo Andino (NW-SE) y sus componentes secundarios tienen influencia en el comportamiento morfoestructural y metalogenético del área de interés y de otros distritos mineros como Pierína (Au), Santo Toribio (Pb,Zn,Ag), Huinac, etc.

En el sector Noreste del área del Proyecto existe un sistema preferencial de fracturamientos con una orientación dominante NE-SW a E-W rellenados con minerales de cuarzo amorfo y cristalizado, óxidos de fierro y aisladamente Gn, Sph (incluido marmatita), galena argentífera, Py, Aspy y turmalina.

Los reconocimientos iniciales han revelado la presencia de una amplia zona de aproximadamente 6 Km x 3 Km con ocurrencia de intrusivos subvolcánicos y brechas hidrotermales con signos de alteración hidrotermal (ocurrencia de propilitización, cuarzo-sericita, silicificación y presencia de sulfuros).

El prospecto de Gioconda tiene un área de 800m x 600m, es un área con mayor intensidad de silicificación y sulfuros. Brecha intrusiva hidrotermal, tobas y lavas andesíticas a dacíticas con alteración propilitica y cuarzo-sericita, afectadas por venillas de cuarzo y óxidos de fierro, metasedimentos lacustrinos silicificados y pirítizados.

El prospecto de Pucairca tiene un área de 1 000m x 800m, se encuentra en Tobas riódacíticas a riolíticas con diseminación abundante de piritita y oxidación fuerte, aisladamente brechas hidrotermales con matriz de cuarzo-turmalina y clastos riolíticos silicificados de naturaleza tobácea.

Las estructuras principales favorables a la mineralización en el proyecto son: vetas, zonas de venillas, tubos de brecha y stockwork.

En las áreas de Gioconda y Pucairca la sericitización hidrotermal es débil a moderada y está relacionada al sistema preferencial de venillas de cuarzo-turmalina de orientación NÉ-SW a E-W

Existe mineralización de óxidos de cobre (pátinas de crisocola y calcantita) en los tubos de brecha, que se circunscriben en el borde de los tubos de brecha y/o están controladas por estructuras de vetas mineralizadas de sulfuros de cobre, óxidos de fierro y cuarzo.

El resultado del muestreo de roca en canal (4m) realizado en la brecha Gioconda, para un tramo continuo de 28m presenta un valor promedio de 2.2g/t Au, manteniendo buena correlación con As, Sb y Cu.

## INDICE

|                     | Pág. |
|---------------------|------|
| DEDICATORIA.....    | i    |
| RECONOCIMIENTO..... | ii   |
| RESUMEN.....        | iii  |
| ABSTRACT.....       | iv   |
| INTRODUCCIÓN.....   | v    |
| INDICE.....         | vii  |

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

|  |   |
|--|---|
| 1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....                 | 1 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                   | 2 |
| 1.3. OBJETIVOS.....                                  | 2 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....                         | 2 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                    | 2 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....                 | 2 |
| 1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 3 |
| 1.6. LIMITACIONES.....                               | 3 |

### CAPITULO II

#### MARCO TEÓRICO

|  |    |
|--|----|
| 2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....        | 4  |
| 2.2. BASES TEORICAS – CIENTÍFICAS .....  | 4  |
| 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS..... | 52 |
| 2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....       | 54 |
| 2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....    | 55 |

**CAPITULO III**  
**METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

|   |    |
|---|----|
| 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....                  | 56 |
| 3.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....                            | 57 |
| 3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....                        | 57 |
| 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 57 |
| 3.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....   | 57 |
| 3.6. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO .....                        | 58 |

**CAPITULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSION**

|   |    |
|---|----|
| 4.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....                     | 59 |
| 4.2. RESEÑA HISTÓRICA.....                              | 61 |
| 4.3. GEOMORFOLOGÍA.....                                 | 62 |
| 4.4. CLIMA Y VEGETACIÓN.....                            | 63 |
| 4.5. GEOLOGÍA REGIONAL.....                             | 64 |
| 4.6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....                          | 68 |
| 4.7. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LAS BRECHAS.....          | 70 |
| 4.8. RELACIÓN DE LAS BRECHAS CON LA MINERALIZACIÓN..... | 82 |

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Determinación del Problema**

En la presente tesis se da a conocer el comportamiento de las Brechas Gioconda y Pucairca en la mineralización del Prospecto Lincuna.

Se ha determinado realizar el comportamiento geológico de las brechas y su relación con la mineralización en el prospecto, que sirvan como guía en futuras exploraciones.

Asimismo, es necesario determinar parámetros que sirvan como guías en lograr establecer la mineralización económica, por lo que es uno de los objetivos planteados en la formulación de este proyecto.

Una de las características esenciales para la identificación de la mineralización en el prospecto son las brechas.

El entendimiento de las características geológicas de las brechas requiere de una exploración y análisis.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Las características geológicas de las Brechas Gioconda y Pucairca determinan la mineralización en el Prospecto Lincuna?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar la geología de las Brechas Gioconda y Pucairca del Prospecto Lincuna.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar la geología de las Brechas Gioconda y Pucairca.
- Conocer los controles estructurales de la mineralización de las Brechas Gioconda y Pucairca.
- Conocer los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos de las Brechas Gioconda y Pucairca.

## **1.4. Justificación de la investigación**

En la ciencia de la geología es necesario realizar una relación entre las brechas y la mineralización presente en el prospecto, con la finalidad de conocer el comportamiento geológico de las brechas y la mineralización presente en ellas.

### **1.5. Importancia y alcances de la investigación**

Es importante porque se establecería una guía de exploración de minerales utilizando las brechas.

### **1.6. Limitaciones**

La información proporcionada es solo referencial cuando se aplica a otros tipos de prospectos de exploración.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

Por muchos años el distrito minero de Ticapampa - Aija, ha sido estudiado estableciéndose diversos yacimientos económicos como Hércules y Huancapetí, los más conocidos, por lo que es interesante establecer el comportamiento de las Brechas y su posible relación con la mineralización.

#### **2.2. Bases teóricas - científicas**

##### **Brechas relacionadas a mineralización**

La presencia de cuerpos de brechas, con una gran variedad de características, es común acompañando a un amplio espectro de yacimientos hidrotermales y muchas veces las brechas mismas constituyen cuerpos mineralizados. Consecuentemente es

importante entender los procesos que generan brechas asociadas a mineralización, cuáles son las características que permiten distinguir distintos tipos de ellas y describir el rol de las brechas en la formación de yacimientos minerales.

¿Qué es una brecha? Una brecha es una roca constituida por Fragmentos líticos que se mantienen ligados por una matriz y cuyo cemento en el caso de las asociadas a mineralización pueden ser minerales hidrotermales incluyendo a los minerales de mena (Ej. turmalina, cuarzo, calcopirita, etc.). En general, los minerales hidrotermales rellenan total o parcialmente los huecos formados en la roca fragmentada y mucha de la mineralización en brechas ha sido introducida por fluidos hidrotermales y consecuentemente se encuentra en la masa fundamental de la brecha. Este último es un término general, no genético, que incluye matriz y el cemento de la brecha. Los procesos hidrotermales en ocasiones producen reemplazo o metasomatismo en brechas, este reemplazo corresponde composicionalmente a cemento, pero que ha sido emplazado por sustitución de material preexistente en la brecha.

En brechas sedimentarias o volcanogénicas es común que su formación involucre transporte y agregación de materiales clásticos o piroclásticos, pero en brechas genéticamente asociadas a procesos hidrotermales es más frecuente que las brechas sean formadas por desagregación de rocas pre-existentes in situ o con limitado transporte de los fragmentos.

Los fragmentos o clastos provienen de rocas fragmentadas, las que son progresivamente molidas mientras mayor es la deformación (brechización). Algunas brechas contienen solo fragmentos de la roca encajadora de los cuerpos brechosos o pueden tener fragmentos introducidos ajenos a las rocas encajadoras adyacentes y los fragmentos pueden tener variadas intensidades de alteración hidrotermal. Se usan los términos monolitológica o monomítica para aquellas que están formadas exclusivamente de un tipo de roca y heterolitológicas o polimíticas para aquellas que incluyen una variedad composicional de fragmentos.

En brechas se pueden producir alineamientos de fragmentos e incluso estratificación.

La matriz puede ser de roca molida derivada localmente o material rocoso introducido de granulometría más fina que los fragmentos (dependiendo del grado de molienda) que rellena los espacios entre fragmentos. El origen de la matriz puede ser detrítico, cataclástico, volcánico, plutónico, etc. Se utiliza el término correspondiente para indicar que los fragmentos y la matriz de una brecha tienen la misma composición, pero las brechas pueden ser semi-correspondientes o no-correspondientes si la composición es mixta o completamente diferente respectivamente entre los fragmentos y la matriz. Cuando existen fragmentos o partículas enfriadas directamente de un magma eruptivo, se habla de material juvenil.

A menudo es difícil discriminar la naturaleza del material de una brecha, pero la presencia de fragmentos de pomez en una diatrema se interpretan como material ígneo juvenil.

La textura o fábrica de la brecha puede variar desde aquellas soportadas por fragmentos en las que los fragmentos están en contacto entre sí y las soportadas por matriz en las que los fragmentos aparecen dispersos en un material de grano más fino. En brechas soportadas por fragmentos los huecos entre los fragmentos pueden ser espacios abiertos o estar parcial o completamente rellenos.

Los fragmentos de la brecha pueden tener distinto grado de redondeamiento, a saber:

- Fragmentos angulosos
- Fragmentos sub-angulosos
- Fragmentos sub-redondeados
- Fragmentos redondeados

En brechas relacionadas a mineralización el redondeamiento de los fragmentos resulta del movimiento entre los fragmentos. La molienda, desgaste o atrición entre los fragmentos resulta en redondeamiento y mientras mayor sea el movimiento entre fragmentos o más violento produce más redondeamiento de los fragmentos. Aunque puede parecer un contrasentido en algunos tipos de brechas asociadas a mineralización los fragmentos pueden

estar bien redondeados (Ej. diques de guijarros o "pebble dikes" y brechas de diatremas,

De acuerdo al tamaño de los fragmentos se habla de megabrechas para aquellas que tienen fragmentos >4 m de diámetro, mesobrechas los fragmentos oscilan entre 2 mm y 4 m y Microbrechas para las que tienen fragmentos de menos de 2 mm.

### **Clasificación de Brechas Relacionadas a Mineralización**

Sillitoe (1985) publicó una descripción detallada y una clasificación de brechas relacionadas a mineralización. Esta clasificación incluye 5 tipos principales de brechas, con algunos sub- tipos, a saber:

#### **1) BRECHAS MAGMÁTICO - HIDROTERMALES**

Chimeneas de brechas

Tipo pórfido (cuerpos de brecha asociados a sistemas porfíricos)

#### **2) BRECHAS HIDROMAGMÁTICAS**

##### **Freáticas**

Depósitos epitermales

Depósitos tipo pórfido

Kuroko (sulfuros masivos)

##### **Freatomagmáticas**

Sistemas maar - diatrema

Depósitos tipo pórfido y epitermales

#### **3) BRECHAS MAGMÁTICAS**

(volcánicas) **Diatremas volcánicas**

Tipo pórfido y otros depósitos.

#### **4) BRECHAS INTRUSIVAS**

Con matriz intrusiva

#### **5) BRECHAS TECTONICAS**

Fracturamiento frágil en fallas

Corbett y Leach (1998) también presentaron descripciones y una clasificación de brechas relacionadas a mineralización, la cual en líneas generales es similar a la de Sillitoe (1985).

Esta incluye:

##### **1) BRECHAS MAGMÁTICO-HIDROTERMALES**

Profundas relacionadas a pórfidos

Chimeneas de brecha

##### **2) BRECHAS FREATOMAGMÁTICAS**

Diatremas (nivel alto)

##### **3) BRECHAS FREÁTICAS**

Superficiales

##### **4) BRECHAS MAGMÁTICAS DE INYECCIÓN**

Brechas hidráulicas

##### **5) BRECHAS HIDROTERMALES DE COLAPSO**

Procesos retrógrados en pórfidos

##### **6) BRECHAS DE DILATACIÓN**

Estructuras de espacios abiertos (sectores de tensión en fallas)

##### **7) BRECHAS DE DISOLUCIÓN**

En calizas y dolomitas (por disolución kárstica)

Para los efectos de estos apuntes se utilizará la clasificación de Sillitoe (1985) para caracterizar los distintos tipos de brechas.

### **BRECHAS MAGMÁTICO-HIDROTERMALES**

Chimeneas de brecha ("Breccia pipes"; Ej. brechas con matriz de turmalina)

Ej. en Chile: Distritos San Pedro de Cachiyuyo, Cachiyuyo de Llampos, Los Azules y Cabeza de Vaca en la III Región (Sillitoe y Sawkins, 1971; Colley et al., 1991), también en el Distrito Sierra Gorda en la II Región (Boric et al., 1990), ligados a plutones granodioríticos paleocenos.

Estos cuerpos de brecha se presentan asociados a intrusivos, batolitos o stocks intrusivos estériles (no alterados, no mineralizados).

Aunque existe una gradación hacia las brechas asociadas a pórfidos cupríferos Sillitoe (1985) incluye específicamente en este grupo aquellos cuerpos de brecha que no están asociados a sistemas porfíricos, mientras Corbett y Leach (1998) no hacen esta distinción.

Se estima que las chimeneas de brecha se emplazan a profundidades de 1 a 3,6 Km, lo que se interpreta principalmente por su ubicación en porción apical de intrusivos epizonales. Ellas se presentan cuerpos individuales o en grupos ("clusters") de hasta 200. En general son verticales y no se desvían más de  $\pm 15^\circ$  de la vertical. Se trata de cuerpos cilíndricos de sección circular u ovoide en planta y con una extensión vertical varias veces mayor que la dimensión horizontal; aunque en la mayoría se angostan en profundidad en forma de cono

invertido; ocasionalmente presentan formas bífidas en profundidad o bien se ramifican hacia arriba.

La dimensión horizontal (diámetro) en general oscila entre 50 a 300 m, la vertical en muchos casos se desconoce, pero de acuerdo a datos de 4 distritos varía entre 725 y 860 m.

El contacto entre la brecha y las rocas encajadoras es abrupto, con una zona de fracturas verticales densamente espaciadas. En algunos casos se ha observado que los cuerpos de brecha terminan hacia arriba en una cúpula y la existencia de este techo indica que es improbable que estos cuerpos de brecha hayan alcanzado hasta la superficie. Cuando se ha podido observar el fondo de las chimeneas de brecha este es irregular, pero aproximadamente plano y el cuerpo de brecha termina contra un intrusivo menos alterado.

Los fragmentos varían desde angulosos a subredondeados, alcanzando desde centímetros hasta metros de diámetro, localmente pueden alcanzar decenas de metros. El grado de brechización decrece hacia el interior y hacia abajo en el cuerpo de brecha. El espacio abierto puede alcanzar a 5-30% del volumen de la brecha y está ocupado por un cemento de minerales de ganga y sulfuros. En las brechas con mayor redondeamiento de fragmentos se presenta harina de roca por la atrición y molienda entre fragmentos. Consecuentemente existen dos tipos extremos que van desde brechas con oquedades a brechas con matriz de harina de roca, con todos los estados intermedios posibles.

En algunas chimeneas de brecha la porción superior cercana a la cúpula del techo se caracteriza por presentar fragmentos tabulares alineados paralelos a la cúpula, esto se ha denominado brecha dominó o brecha de tejas ("shingle breccia"), se interpreta como exfoliación de la roca y caída hacia el interior del cuerpo brechoso.

Normalmente no existen evidencias que sugieran movimiento significativo de los fragmentos dentro de la brecha, generalmente los fragmentos parecen haber sido separados y podrían volverse a su posición original como un rompecabezas, pero existe algún desplazamiento descendente de los fragmentos en toda la chimenea.

Por esta razón normalmente son brechas monolíticas, solo hay mezcla de litologías cuando la brecha cruza contactos litológicos.

Las chimeneas de brechas se localizan en la parte superior o inmediatamente sobre plutones o stocks o en los márgenes de plutones. A veces se extienden desde un plutón en sus rocas de techo. No parece haber un control estructural en la localización de chimeneas de brecha.

La mineralización dominante es cobre y los contenidos de Mo, W y/o Au también son importantes; algunas contienen Ag, Pb, Zn. En distritos con grupos de chimeneas de brecha menos del 50% de ellas están mineralizadas, aunque todas han sido afectadas por reemplazo hidrotermal y relleno de huecos.

La alteración hidrotermal dominante es sericitización de los fragmentos, acompañada de Turmalina (chorlo) o dumortierita y en menor medida cloritización y silicificación.

La ganga y menas están bien cristalizadas e introducidas después y probablemente durante la fragmentación. Usualmente en estas brechas la mineralización hipógena ocurrió en un solo evento y es raro que haya re-brechización de la mineralización temprana. La mineralización está preferentemente ubicada en el margen de la chimenea.

Los antecedentes de inclusiones fluidas indican temperaturas de homogenización entre 310° - 410°C y 1-50% NaCl eq.

Considerando que existen evidencias de movimiento descendente del material fragmentado dentro de las chimeneas de brechas y la existencia de hasta 20% de espacio abierto en muchas chimeneas, cualquier mecanismo de brechización debe ser capaz de crear un hueco apreciable.

Se han propuesto 5 hipótesis para la producción del hueco espacio:

1. Disolución localizada y fragmentación por colapso gravitacional y/o fracturamiento hidráulico hacia arriba del material rocoso por fluidos liberados de un magma en enfriamiento.
2. Liberación, tal vez explosiva de volátiles de un magma con material acarreado físicamente hacia arriba (fracturamiento hidráulico).

3. Movimiento descendente de magma, ya sea por contracción o drenaje, produciendo el colapso gravitacional de la columna de roca sobreyacente.
4. Desarrollo de una acumulación de fluidos o burbuja en el techo de un plutón por acumulación de fluidos liberados del magma. Produciendo el colapso gravitacional de las encima de la misma.
5. Generación de zonas de extensión en zonas de dilatación o tensión en fallas durante desplazamiento de las mismas.

Las cuatro primeras hipótesis son consistentes con la asociación entre las chimeneas de brecha, rocas intrusivas y alteración hidrotermal - mineralización, mientras que la quinta no, de modo que esta última no se considera como mecanismo general de brechización. Ahora bien, las cuatro primeras hipótesis no pueden considerarse como mutuamente excluyentes y todas pueden contribuir en distinto grado a brechizar las rocas. La existencia de redondeamiento de fragmentos y matriz de harina de roca en algunas brechas implica movimientos entre clastos sugiriendo que el mecanismo de brechización involucró la expulsión explosiva de volátiles desde un magma en cristalización seguida de descompresión y colapso gravitacional, mientras que brechas clasto-soportadas con fragmentos angulosos probablemente resultaron principalmente de fracturamiento hidráulico y colapso gravitacional por disolución hidrotermal o bien por la acumulación de fluidos en el techo de un cuerpo intrusivo.

### **Cuerpos de brechas asociadas a sistemas porfídicos**

Los cuerpos de brechas son comunes en sistemas de tipo pórfido y varían desde cuerpos menores adyacentes a pórfidos, hasta constituir la porción económicamente dominante de estos sistemas (Ej. yacimiento Los Bronces de Cía. Minera Disputada de Las Condes).

Estos cuerpos de brecha comparten muchas de las características de las chimeneas de brecha con matriz de turmalina anteriormente descritas, pero tienen particularidades propias. En cuanto a forma constituyen cuerpos lenticulares, ovoides o circulares con forma de chimeneas con buzamiento fuerte o verticales. Pueden ser cuerpos individuales o constituir grupos.

Pueden tener formas de diques, cuerpos irregulares, anulares y constituir brechas de caparazón de intrusiones. La forma de chimenea en sistemas porfídicos es en general menos regular y son frecuentes los embalamientos y extensiones irregulares de los cuerpos de brecha.

La dimensión horizontal puede ser desde pocos metros, hasta un máximo de 2 x 0,7 Km en el cuerpo de brecha compuesto de Los Bronces. La dimensión vertical usualmente está en el rango 500 a 1.000 m y al menos 1.100 m en Los Bronces. Pueden presentar contactos gradacionales con el pórfido huésped, pero también pueden ser abruptos.

La base de los cuerpos de brecha usualmente es una rápida transición a pórfido fracturado o con stockwork. El techo se caracteriza porque

decrece el tamaño de la brecha y hay una transición a pórfido mineralizado. El techo se ha encontrado de 200 a 1200 m debajo de la superficie, lo que sugiere que la mayor parte de las brechas asociadas a pórfidos eran originalmente ciegas (no alcanzaban la paleosuperficie).

Los fragmentos son angulosos a redondeados y la presencia de harina de roca es más común, así como fragmentos heterolitológicos. La matriz de harina de roca localmente presenta alineamiento irregular, pero vertical de partículas constituyentes. Textura fluidal atribuida al transporte ascendente por fluidos del material (fluidización). La norma es que sean brechas soportadas por fragmentos, pero hay gradación a cuerpos de harina de roca.

Tienen variedad textural. Ej. Los Bronces donde se han identificado 7 brechas con distinto tamaño y forma de fragmentos, naturaleza y cantidad de matriz y grado/tipo de alteración/mineralización.

Es frecuente que exista ascenso de fragmentos (Ej. 200 m en Brecha Infiernillo de Los Bronces), pero también puede haber descenso de fragmentos o poco movimiento general.

La mayoría se desarrolla dentro de intrusivos porfíricos, pero también en rocas suprayacentes.

La posición es variable algunos cuerpos ocurren en el centro, pero otras son excéntricas. El control estructural por fallas no es obvio, pero es probable.

Es común el desarrollo de brechas en los contactos entre distintas litologías, especialmente entre intrusivos y rocas de caja.

La alteración potásica es frecuente con presencia de biotita y feldespato potásico, también hay alteración sericítica con turmalina y son menos frecuentes las alteraciones propilíticas y argílicas en este tipo de brechas asociadas a pórfidos.

Las brechas comúnmente tienen leyes más altas que los stockworks en sus alrededores y su emplazamiento es pre-mineral a intra-mineral en los pórfidos mineralizados.

El origen de la brechización se atribuye preferentemente a la liberación violenta de fluidos desde los stocks en enfriamiento, produciendo fracturamiento hidráulico seguido de colapso gravitacional.

## **BRECHAS HIDROMAGMÁTICAS**

### **Brechas Freatomagmáticas**

Tomado de Sillitoe (1985). Ore Related Breccias in Volcanoplutonic Arcs, Economic Geology, V. 80, N° 6, pp. 1467-1514.

### ***Depósitos de tipo pórfido y epitermales de metales preciosos (± metales base)***

**Aspectos generales:** Las brechas en esta sección están asociadas principalmente con depósitos epitermales y pórfidos cupríferos y parecen ser apreciablemente menos ampliamente distribuidas que otras variedades de brechas descritas de esos dos tipos de depósitos.

Estas brechas fueron por primera vez reconocidas como asociadas a depósitos minerales por Sillitoe y Bonham (1984), aunque ellas podrían incluir algunas de las brechas “prehidrotermales” de Bryner (1961) y constituir la categoría de brechas estudiadas por Wolfe (1980).

Se prefiere el término diatrema al de chimenea de brecha o de conducto relleno de brecha de este tipo porque se cree que ellas cumplen con la definición original de Daubreé (1891) que una diatrema es un conducto de emisión producido por una explosión volcánica.

**Características:** Esta categoría posee un número de características unificadoras que ayudan a distinguirlas de otros tipos de brechas. Muchos ejemplos de brechas de este tipo, especialmente aquellas de Cripple Creek, Montana Tunnels, Cerro de Pasco, El Teniente, Guinaoang, Dizon y Acupán, son de grano fino y en gran medida soportadas por matriz; es usual de 50 a 90% de material de matriz. En Montana Tunnels el material de la matriz es de tamaño de grano de <2 mm, pero es deficiente en fracciones de tamaño limo o arcilla (Sillitoe et al., 1985). Aparte de harina de roca, muchas brechas tienen en su matriz material tobáceo juvenil. El material comúnmente se aproxima a la dacita en cuanto a composición e incluye cristales enteros y fragmentos de cristales de cuarzo, biotita y feldespato. El componente tobáceo a menudo es difícil de reconocer, cuando está intensamente alterado, como ocurre en Montana Tunnels. Brechas

con una matriz total o parcialmente tobácea han sido denominadas tufisitas por Cloos (1941). *(Nota: la matriz de la Brecha Braden del yacimiento El Teniente corresponde a una tufisita, aunque a priori no está claro si posee material tobáceo juvenil, lo que sí está claro es que el proceso de brechización que formó la Brecha Braden diluyó las leyes en la misma, de modo que el contenido de cobre de la brecha es solo alrededor de 1/3 del presente en las rocas circundantes; esto significaría que hubo un aporte de alrededor de 2/3 material estéril al cuerpo de brecha y este aporte pudo incluir rocas estériles pulverizadas y eventualmente también material tobáceo juvenil).*

La abundancia de material de matriz generalmente no permite la presencia de espacios abiertos en muchas de las brechas, sin embargo, existen grandes huecos cavernosos en El Teniente y Dizon. Los de El Teniente alcanzan hasta 8 m de diámetro, rellenos con agua, y tapizados por cristales de yeso (hasta 3 m de largo) y otros sulfuros hipógenos (pirita, calcopirita, tenantita-tetrahedrita).

Los clastos de estas brechas son heterolitológicos y comprenden todas las litologías conocidas en el entorno de la diatrema. Además, hay clastos líticos y algunas diatremas contienen clastos riolíticos a dacíticos (latíticos a fonolíticos en Cripple Creek) aparentemente juveniles. La mayoría de los clastos están pobremente vesiculados (líticos cognatos), pero la presencia de pómez dacíticas ha sido reconocida en Dizon y Guinaoang (Sillitoe y Gappe, 1985; Sillitoe y

Angeles, 1985), donde las pómez están aplastadas paralelas a las paredes inclinadas de las diatremas. Los clastos alcanzan hasta 10 o más metros en diámetro y son subangulosos a redondeados. Los clastos, sobre todo los menores, están pulidos. En varias localidades se presentan grandes clastos esferoidales que muestran exfoliación esferoidal hipógena, incluyendo Mi Vida (Koukharsky y Mirré, 1976) y Dizon (Malihan, 1982).

En algunas diatremas se reconocen varias facies de brechas. Por ejemplo, en Guinaoang, una facies tobácea temprana está cortada e incorporada como fragmentos en brechas líticas de grano grueso y fino (Sillitoe y Angeles, 1985). En Acupán, 95% de la Diatrema Balatoc está ocupado por una brecha tardía, la que progresivamente es de grano más fino hacia su interior. Una brecha más temprana, aun de grano más fino se presenta como remanentes alrededor de las paredes de la diatrema (Damasco y de Guzmán, 1977). En Cripple Creek una fase tardía distintiva de brecha con un componente de toba basáltica en su matriz constituye una saliente con forma de chimenea que se conoce como Cresson "Blowout" (Loghlin y Koschmann, 1935). Una brecha más gruesa típicamente caracteriza las partes marginales de algunas diatremas, como se ejemplifica por la brecha de guijarros en Dizon y la brecha lítica gruesa en Guinaoang.

Las diatremas típicamente son más grandes que las chimeneas de brecha de turmalina y, con la mayoría ocupa >1 km<sup>2</sup> de superficie. Las dos mayores conocidas Cripple Creek y Guinaoang tienen 5,9 y

8,5 km en su dimensión máxima superficial respectivamente y parecen haberse formado por la coalescencia de varias diatremas más pequeñas. La extensión vertical de las diatremas también es grande, con Cripple Creek, El Teniente y Acupan excede los 1.000 m. La Brecha Braden tendría un contacto irregular, en forma de diente de perro, con un pórfido dacítico post-mineral a una profundidad de alrededor de 1.600 m y puede que no se extienda más abajo. Muchas diatremas tienen paredes inclinadas hacia adentro y varias de ellas tienen forma de embudo, forma que se cree tipifica su parte superior. Los contactos son generalmente abruptos y definidos por fallas anulares en las cuales es común la salbanda y brecha de falla. Las rocas de caja en el borde de las fallas anulares están agrietadas y, en algunos casos, brechizadas. Anillos discontinuos de brecha con espacios abiertos rodean diatremas en El Teniente (Brecha Marginal; Howell y Molloy, 1960) y Acupán (Damasco y de Guzmán, 1977); ellas parecen pre-datar el emplazamiento de la diatrema (*Nota: esta sería una interpretación errónea, en realidad el anillo de brechas angulosas post-dataría a la diatrema*). Grandes bloques de las rocas de caja, hasta de varios cientos de metros de largo, se desprenden de las paredes de algunas diatremas y son particularmente de amplia distribución en las partes marginales de brechas, algunos de estos bloques en Montana Tunnels son casi verticales (Sillitoe et al., 1985).

En Wau Sillitoe et al. (1984b) presentaron evidencia de preservación parcial de un cráter de maar y del anillo de tobas que lo rodea, los que se infiere que sobreyacen una diatrema rellena con brecha comparable a las descritas anteriormente. Dos variedades de brecha están presentes tanto dentro del cráter del maar y son los componentes del anillo de tobas. Cerca del 90% de la brecha es masiva, no estratificada, heterolitológica y soportada por matriz. Es similar a la “brecha de explosión” de Wohletz y Sheridan (1983) de anillos de tobas basálticos y conos de cenizas y consecuentemente es de origen de caída balística. El 10% restante es de tamaño de arena a grava y muestra estratificación cruzada y forma de duna. Esos horizontes de grano más fino, los cuales son de hasta varios metros de espesor, también contienen abundante lapilli acrecional. Esas características son típicas de depósitos piroclásticos de surtidores de base (Ej. Moore, 1967; Fisher y Walters, 1970), los cuales son constituyentes comunes de volcanes de maar (Ej. Lorenz, 1973; Sheridan y Wohletz, 1983). Sedimentos lacustres, ricos en restos de plantas, dominan la parte superior de la secuencia intra-maar en Wau y los sobreyacen por bloques de filitas del basamento y su cubierta de anillo de tobas que se deslizaron en el maar después que cesó la actividad explosiva (Sillitoe et al., 1984b).

Brechas finas con estratificación cruzada con apariencia similar a los depósitos de surtidores de base en Wau, y supuestamente del mismo origen, han sido observadas en porciones restringidas de diatremas

de Montana Tunnels (Sillitoe et al., 1985), Cripple Creek (Lindgren y Ransome, 1906), Cerro de Pasco (Silberman y Noble, 1977), El Teniente (Lindgren y Bastin, 1922), Guinaoang (Sillitoe y Angeles, 1985), Dizon (Sillitoe y Gappe, 1984) y posiblemente Bassick (Cross, 1896). Lapilli acrecional está presente en esos depósitos de surgidores de base en Cripple Creek (Thomson et al., 1985), Guinaoang y Dizon. Los depósitos de surgidores de base claramente constituyen bloques en Montana Tunnels, Cripple Creek, Guinaoang y Dizon, pero es incierto en Cerro Pasco, Bassick y El Teniente. Esos depósitos de surgidores de base se cree que se han hundido por subsidencia dentro de las diatremas a partir de depósitos subaéreos de anillos de tobas. La presencia de sedimentos fluvio-lacustres, caracterizados por ondulitas y grietas de desecamiento, hasta profundidades de >300 m debajo de la superficie actual se explican de la misma manera (Thompson et al., 1985). Evidencias adicionales que las diatremas alcanzaron a la paleosuperficie son la presencia de pedazos de madera carbonizada en Montana Tunnels, Bassick, Cripple Creek, Acupan y Dizon.

Varias diatremas fueron cortadas por diques o cuerpos irregulares de roca intrusiva, como ocurre en Montana Tunnels, Cripple Creek, Cerro de Pasco, El Teniente, Dizon y Wau. En Montana Tunnels y El Teniente la brechización estaba todavía activa durante la intrusión, lo que se evidencia por contactos irregulares, arremolinados, y con relaciones de cortes mutuos entre la brecha y las rocas intrusivas,

además de márgenes de enfriamiento en los pedazos de rocas de dique incorporadas en la brecha de Montana Tunnels (Sillitoe et al., 1985). Se reconocen domos endógenos en varias localidades donde la erosión es mínima o no ha progresado demasiado, Ej. Cerro de Pasco (Silberman y Noble, 1977), Guinaoang (Sillitoe y Angeles, 1985), Wau (Sillitoe et al., 1984b) y posiblemente Dizon (Sillitoe y Gappe, 1984).

Los diques y cuerpos de pórfido encontrados en varias diatremas probablemente han alimentado domos a niveles más altos, actualmente erosionados. Un control estructural del emplazamiento de diatremas, es evidente en Montana Tunnels, Cerro de Pasco y Wau, las cuales se presentan dentro de fallas regionales mayores.

### **Alteración y mineralización**

Las diatremas asociadas a depósitos epitermales de metales preciosos fueron emplazadas antes que comenzara la mineralización (pre-minerales), como en Montana Tunnels y posiblemente Acupan, o mientras esta estaba ocurriendo (intra-minerales). En contraste las diatremas que acompañan a depósitos de tipo pórfido de Cu-Mo o Cu-Au son generalmente muy tardías o post-minerales.

Existe la tendencia de que la mineralización de metales preciosos ( $\pm$  base) esté concentrada en los bordes de las diatremas, aunque también puede haber mineralización en su interior.

Ejemplos de mineralización marginal incluyen: un enorme cuerpo de sílice-pirita y mineralización asociada de Ag-Pb-Zn-Cu en Cerro de

Pasco (Cerro de Pasco Corporation, 1950), un anillo de brecha aurífera con espacios abiertos en Acupan y vetas someras y stockwork asociados en Wau (Sillitoe et al., 1984b). Teluros de oro también están concentrados entorno al Cresson Blowout, el que corresponde a una fase tardía de la diatrema de Cripple Creek (Loughlin y Koshmann, 1935).

El incremento de permeabilidad gracias a las fallas en anillo y agrietamiento o brechización asociada de las rocas de caja es la razón primaria para la depositación de menas alrededor del margen de diatremas. *(Nota: esto último es aplicable a la Brecha Marginal de El Teniente, la cual no sería una brecha pre-existente como lo interpretaron Howell y Molloy (1960), sino que una mineralización depositada en el borde más permeable de la diatrema).* En Acupan, existen 11 cuerpos lentiformes principales de brecha paralelos al contacto de la diatrema en intervalos verticales de hasta 600 m y se piensa que fueron invadidos por fluidos mineralizadores en las porciones donde intersectaron vetas auríferas (Worley, 1967; Damasco y de Guzmán, 1977).

Mineralización de metales preciosos también se presenta dentro de diatremas: vetas auríferas y brechas freáticas en Cripple Creek (Thompson et al., 1985), una chimenea de brecha con metales preciosos en Bassick (Emmons, 1896) y una zona de mineralización de Au-Ag-Zn-Pb esencialmente diseminada en Montana Tunnels (Sillitoe et al., 1985). En Montana Tunnels la presencia de una

apreciable cantidad de sulfuros clásticos (incluyendo fragmentos de venillas) en la brecha muestran que la mineralización continuó durante el período de brechización activa, probablemente durante pausas en la actividad explosiva.

En el caso de los cuatro pórfidos cupríferos, la mena se localiza fuera de los límites de las diatremas, aunque existen clastos mineralizados ampliamente distribuidos dentro de las diatremas mismas. En Mi Vida existe una etapa importante de alteración argílica avanzada que afecta a gran parte de la brecha y que originó un cuerpo zonado con forma de chimenea de Cu y Pb-Zn en el interior de la diatrema (Kouharsky y Mirré, 1976).

**Las brechas de diatrema están alteradas en forma débil, pero pervasiva independientemente si son pre o post-minerales.** La alteración parece no tener relación directa con la mineralización (excepto en Montana Tunnels y Mi Vida) y en general se caracteriza por sericita, arcillas, clorita, carbonato, ceolitas, specularita y pirita. Sin embargo, parte de la pirita es invariablemente clástica. Esta alteración se atribuye al alto contenido de fluidos de las brechas al tiempo de su formación

### **Análogos modernos**

Los volcanes de maar son un fenómeno volcánico de amplia distribución, aunque aquellos que involucran magmas de composición riolítica o dacítica parecen ser menos comunes que sus contrapartes básicas. Esto puede deberse en parte a su destrucción durante el

emplazamiento posterior de domos, como en Julcani, Perú (Shelnut y Noble, 1985). Desde el punto de vista de mineralización epitermal, la erupción de 1886 de Rotomahana en la zona volcánica de Taupo en la Isla Norte de Nueva Zelanda es de cierto interés, aunque no produjo un maar monogenético típico.

Durante la erupción basáltica desde el rift de Tarawera, el magma basáltico ascendiendo desde la continuación suroeste de la fisura se cree que interactuó con aguas meteóricas del sistema geotérmico de Rotomahana gatillando una erupción freatomagmática catastrófica (Nairn, 1979). Surtidores de base saturados con agua alcanzaron hasta 6 km hacia el oeste desde el conducto alimentador actualmente cubierto en un 95% por el lago Rotomahana. La explosión desintegró dos grandes depósitos de sinter que cubrían parte del sistema geotermal de Rotomahana, así como un gran volumen de rocas alteradas del sistema mismo. Ocurrió actividad hidrotermal después que el Rotomahana se aquietó, tal como lo demuestran las erupciones hidrotermales en el cercano Waimangu unos cuatro años más tarde.

### **Origen**

Sheridan y Wohletz (1981, 1983) concluyeron que la actividad explosiva freatomagmática responsable de la generación de maar-diatremas puede resultar de una interacción de tipo combustible-refrigerante entre el magma y una fuente externa de agua. En el caso de las diatremas que se discuten aquí, la fuente se cree que fue un acuífero cargado de agua subterránea a profundidades de 1 a 2 km o

más (Ej. El Teniente) bajo la superficie. Las fallas también pueden haber facilitado el acceso de las aguas subterráneas en algunos lugares.

Lindgren y Bastin (1922) fueron los primeros que propusieron la interacción explosiva de un magma y agua meteórica como mecanismo para la formación de una de las diatremas discutidas aquí – la chimenea Braden en El Teniente.

Está claro que las diatremas se generaron por múltiples explosiones, cada una involucrando expansión y vaporización de agua subterránea y fragmentación e incorporación de partículas magmáticas (Sheridan y Wohlenz, 1983). Los componentes juveniles (magmáticos) y accidentales (rocas de caja) de los productos piroclásticos resultantes se caracterizan por un alto grado de pulverización (Self y Sparks, 1978; Sheridan y Wohlenz, 1983), tal como se observa en la mayoría de las brechas. El ascenso de magma fragmentado, rocas, vapor y agua en las diatremas da lugar a productos de erupción característicos (Wohlenz y Sheridan, 1983), entre los cuales los depósitos de surtidores de base y lapilli acrecional son particularmente diagnósticos. Sin embargo, la erupción se caracterizó por tanto por la actividad de caída de piroclastos, como por surtidores de base saturados en agua dirigidos lateralmente, con un dominio de los primeros a medida que la disponibilidad de agua se reduce (Sheridan y Wohlenz, 1981). Los materiales eruptados originan los anillos de tobas o conos de tobas (Wohlenz y Sheridan, 1983).

La subsidencia al igual que la actividad explosiva juega un rol mayor en la construcción de diatremas y cráteres de maares sobre ellas (Lorenz, 1973, 1975). La subsidencia de las rocas limitadas por fallas en anillo ocurre durante la explosión y después de ella. Masas de rocas se despegan de las fallas en anillo en profundidad por exfoliación en lajas curvas (Ej. Montana Tunnels) y cerca de la superficie por deslizamientos y derrumbes (Ej. Wau). Como resultado de este despegue gravitacional de masas de rocas, las paredes de los cráteres de los maares retroceden hasta alcanzar hasta dos veces el diámetro de las diatremas subverticales subyacentes. Los deslizamientos y sedimentación fluviolacustre dominan en el cráter del maar después que termina la actividad explosiva (Ej. Wau).

La intrusión de cuerpos irregulares de magma o diques y el emplazamiento de magmas como domos endógenos en la paleosuperficie ocurrió durante (probablemente entre medio de) la actividad explosiva, pero fue dominante en las etapas finales del emplazamiento de diatremas, probablemente debido a la disminución del aporte de agua (Lorenz, 1975).

Donde la mineralización se produce principalmente por fluidos de derivación magmática, como es el caso de los pórfidos cupríferos, el emplazamiento de diatremas tiende a ser un evento tardío. En contraste, donde los procesos mineralizadores fueron dominados por fluidos meteóricos, como es el caso de los depósitos epitermales, la formación de menas tiende a acompañar o a seguir al emplazamiento

de diatremas. Se concluye, por tanto, que cantidades importantes de agua no pueden alcanzar hasta los niveles profundos (con alteración potásica) de sistemas de tipo pórfido cuprífero, durante las etapas magmático-hidrotermales. No es hasta la etapa tardía de colapso de la celda convectiva de agua meteórica que el agua alcanza hasta cuerpos residuales de magma y pueden instigar actividad freatomagmática.

En situaciones epitermales la depositación de menas fue controlada por la permeabilidad existente, como fallas en anillos, agrietamiento y brechización alrededor de los maeres y diatremas (Ej. Acupan, Cerro de Pasco, Wau) y por la naturaleza pobremente litificada de la brecha misma (Ej. Montana Tunnels) o por la generación de permeabilidad por brechización freática (Ej. Cripple Creek, Wau). El mecanismo responsable para la brechización del anillo en torno de algunas diatremas, como en Acupan y El Teniente, permanece como problemático.

Estas brechas (Brecha Marginal) fueron generadas en parte antes del emplazamiento de la diatrema (Ej. Howell y Molloy, 1960), de la cual parecen ser precursoras. ¿Pueden haberse formado por altas presiones magmáticas o de fluidos en la manera que propusieron Koide y Bhatarcharji (1975)? *(Nota: la interrogante anterior surge de la suposición que la Brecha Marginal existía antes de la Brecha Braden tal como lo interpretaron Howell y Molloy (1960). Sin embargo, la Brecha Marginal con clastos angulosos y matriz*

*de turmalina con sulfuros metálicos es una típica brecha hidrotermal, cuyo fracturamiento ocurrió ya sea por fracturamiento hidráulico, colapso gravitacional o ambos; esto indica que no representa necesariamente una brechización de alta presión como sugiere Sillitoe, sino que, todo lo contrario, la Brecha Braden es resultado de una explosión por existir una presión enorme muy por encima de la carga litostática, mientras que la Brecha Marginal ocurrió a presiones mucho menores y posiblemente hidrostáticas en forma posterior a la Brecha Braden).*

## **MAARES, ANILLOS DE TOBAS, DIATREMAS Y CUELLOS DE BRECHA**

Traducción libre de un capítulo del libro: Laznicka, Peter, 1988. Breccia and Coarse Fragmentites: petrology, environments, association, ores. Elsevier, 831 p.

El dominio geotectónico clásico de diatremas, el cratón estable, aplicable a chimeneas de kimberlitas y estructuras explosivas clásicas de basalto, monchiquita y relacionadas a minettas (lamprófiros) en Escocia (Fife oriental; Geikie, 1902); Alemania occidental (Schwaben, SE de Stuttgart: Cloos, 1942); Plateau de Colorado norte (Reservas Navajo y Hopi; Williams, 1936; Hack, 1942); área de Sydney, Australia (Wilshire, 1961) y otros, actualmente se ha ampliado. Ahora se conocen importantes provincias de diatremas como asociadas a rifts y grabens (Rift de Africa Oriental; Le Bas, 1977; el Rift de San

Lorenzo, Canadá, Gold, 1972; Montañas České Stredohorí, Checoslovaquia, Kopecký, 1966). Más recientemente Sillitoe y Bonham (1984) y Sillitoe et al. (1984b) demostraron que las diatremas freatomagmáticas también son importantes y parte integral de los sistemas volcánicos “orogénicos” (1) a lo largo de sistemas de rift de trás-cordilleranos (Cripple Creek, Colorado; Ortiz, Nuevo Mexico) de los márgenes activos de placas convergentes continentales (tipo Pacífico); (2) en cadenas de tipo Andino (El Teniente y Río Blanco, Chile; Cerro de Pasco, Perú) y (3) en arcos de islas (Balatoc, Santo Niño, Guinaoang y Dizon en Filipinas; Wau, Niugini y Pueblo Viejo, República Dominicana).

Gradualmente los volcanes de maar (cráteres) y los anillos de tobas fueron reconocidos como las expresiones superficiales de diatremas (Cloos, 1942; Lorenz, 1975) y se han introducido en la literatura modelos compuestos de maar → diatrema → conducto (tronco) alimentador (Hearn, 1968; Hawthorne, 1975; Pasteris, 1984). Todos los modelos recientes reconocen el considerable dinamismo temporal en la evolución de estos sistemas, consistente en una interrelación entre fases de progreso ascendente (explosión, flujo de volátiles), de progreso descendente (colapso) y de estabilización (Ej. relleno del cráter). dejando perplejos a los autores más antiguos. Aunque más adelante se utiliza un modelo “ideal” de diatrema para describir el conjunto de fragmentitas gruesas (Fig. 1), el lector

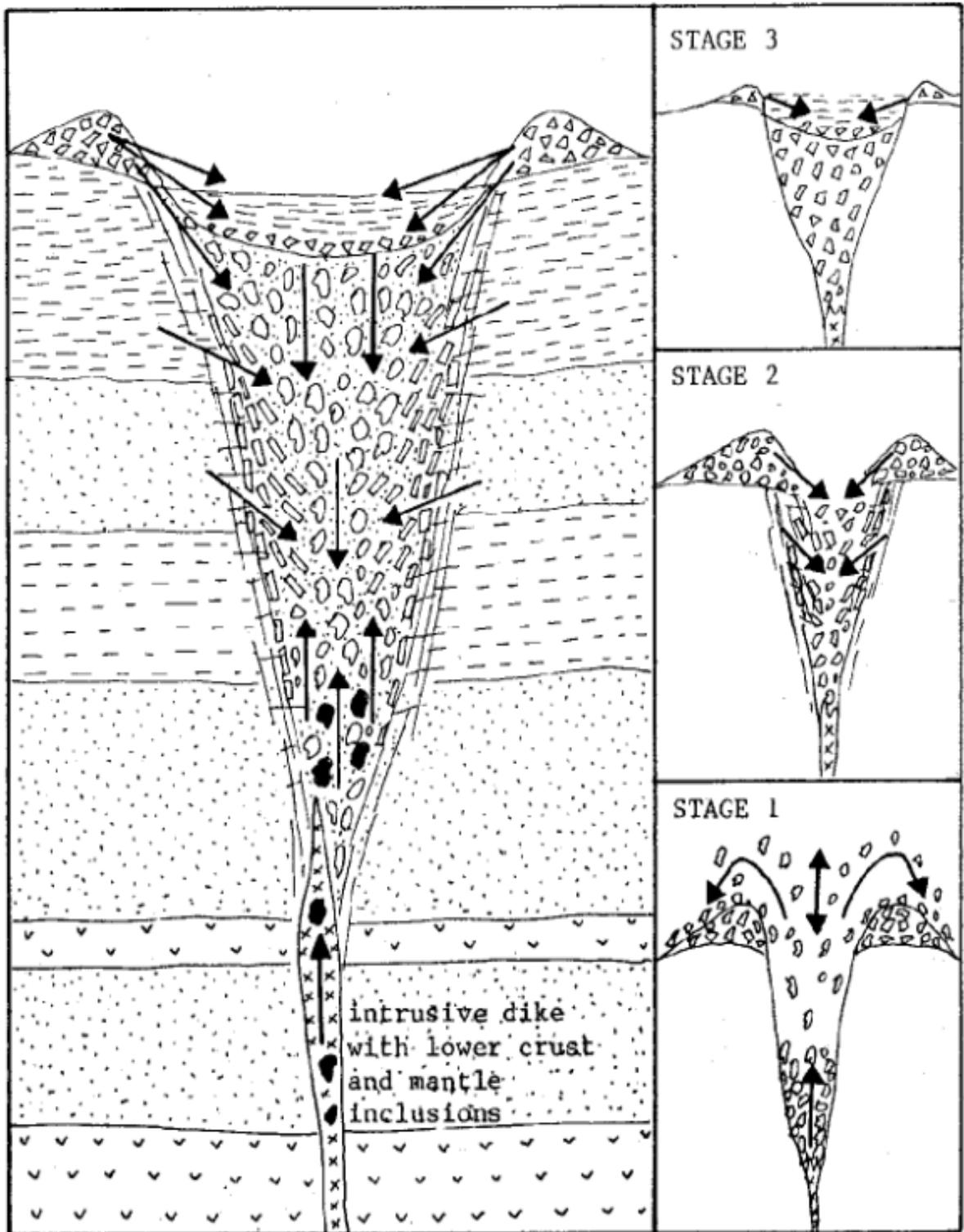


Fig. 1. Movimiento de material durante el desarrollo de una diatrema. Etapa 1: Explosión con fragmentación y movimiento ascendente de material y formación de anillo de tobas por expulsión lateral de materiales. Etapa 2: Colapso con movimiento descendente de los materiales y el derrumbe de paredes de roca de caja y deslizamiento de materiales de anillo de tobas hacia el interior del cráter (maar). Etapa 3: Relleno sedimentario del maar o depositación de material piroclástico. Las diatremas pueden tener (y comúnmente tienen) varios pulsos explosivos sucesivos y pueden o no estar acompañadas de actividad volcánica Posterior.

debe darse cuenta que existe un número inusualmente alto de variaciones (Ej. la “diatrema peperítica” de Autran y Peterlongo, 1982) y que diatremas aisladas, parcialmente desarrolladas o incompletas difíciles de reconocer son cosa común.

Diatremas inactivas geológicamente jóvenes (Terciarias) han sido exhumadas alrededor del mundo, por erosión y remoción de sus rocas sedimentarias menos resistentes. Esto causa inversión del relieve de manera que el sistema originalmente subterráneo está ahora expuesto como cerros cónicos abruptos, cuellos, paredes y salientes rocosas.

### **Fragmentitas gruesas en un sistema compuesto maar/diatrema**

#### **Supraestructura**

Prácticamente todos los maares están rodeados por un campo de material eyectado consistente en bloques de tamaño variable (A) Aubele et al. (1976) registraron bloques de 1 m de diámetro transportados hacia fuera del cráter en el campo de Mount Taylor en Nuevo Mexico.

Los anillos de tobas están constituidos por tobas de tamaño arenas o lapilli conteniendo algunos fragmentos más grandes dispersos o intercalaciones de brechas tobáceas (B) Puede haber tanto fragmentos volcánicos (juveniles), como de roca de caja. Tufisita, un agregado con textura tobácea compuesto principalmente de fragmentos pulverizados de rocas de caja excavadas del cráter y paredes de la diatrema (fluidización del material y atrición de

fragmentos), es particularmente común en el "Tuffschlotten" del sur de Alemania (Cloos, 1942).

Depósitos de surgidor de base ("base surge" en inglés) caracterizados por estratificación cruzada y abundante lapilli acrecional, a veces rodean o coalescen con el anillo de tobas (Crowe y Fisher, 1973). De esta manera se interpreta la porción superior bien estratificada de la Brecha Namie en Wau, Niugini (Sillitoe et al., 1984b).

En muchos campos de diatremas la actividad explosiva/colapso se traslapa con emisión de lava. Estas lavas se exponen como flujos, domos, diques y sills que refuerzan los complejos frágiles y generalmente blandos y retardan su obliteración.

### **El cráter (maar)**

Los maares "activos" generalmente se rellenan con un lago y su fondo está constituido por un conjunto de material eyectado (incluyendo grandes bloques) depositado en agua. (C), materiales de deslizamiento o derrumbes (D) y talud de las paredes del cráter (E). Unos pocos maares contienen conos de cenizas en su interior (F), por Ej. el maar de Zuni Salt Lake en Nuevo Mexico (Aubele et al., 1976).

Los maares inactivos están rellenos por material detrítico depositado en agua y sedimentos químicos (Ej. sales en el Zuni y algunos de los cráteres Hopi, materiales volcanoclásticos, productos de su alteración hidrotermal o diagenética (bentonita), suelos fósiles y depósitos de fuentes termales (Ej. travertino, sílice; Hack, 1942). Las "capas de lago" pueden contener una variedad considerable de brechas (G). El

travertino un sedimento común en los cráteres Hopi Buttes, tiene frecuentemente una fábrica brechosa (bloques fragmentados) o cementa material volcánico (bombas, lapilli, cristales de augita). Su apariencia a menudo se parece más a calcretas que a depósitos de fuentes termales. El travertino infiltra la escoria de basalto sin efectos de alteración.

### **Diatrema y sus rocas de caja**

Desde arriba y hacia adentro, la porción de la pared de una diatrema está constituida por una roca fragmentada por impacto gradando a una roca agrietada o brecha de mosaico in situ y hacia una brecha de bloques sedimentarios (o ígneos) encajados en forma suelta o apretada, desplazados hacia abajo por deslizamiento y colapso. Ambos tipos de brechas han sido expandidas e inyectadas por matriz tobácea desde el margen. En Hopi Buttes donde las rocas de caja son sedimentarias mesozoicas, coloreadas de naranja claro por la alteración, la matriz tobácea da paso hacia el interior a areniscas pulverizadas.

Los bloques de areniscas (cuando las rocas encajadoras son sedimentarias) tienen a menudo exfoliación esferoidal. Cuando la fragmentación suelta y expande las rocas de caja sedimentarias (¡o ígneas!) estas son inyectadas por magma fluido dando por resultando notables brechas de inyección (intrusivas) soportadas por matriz o por fragmentos (J). Estas son gradacionales a brechas con inclusiones sedimentarias en basalto, monchiquita o minetta (K). Intrusiones

localizadas en el centro y brechas de inclusiones de las porciones profundas de diatremas (L) tienden a tener una proporción mayor o una representación exclusiva de fragmentos juveniles (volcánicos y magmáticos) y de fragmentos exóticos. Tales fragmentos tienden a estar subredondeados por atrición.

La porción central de muchas diatremas está rellena por materiales piroclásticos estratificados que mantean hacia adentro o por tufisitas. Incluyen tobas de cristales, líticas o vítreas a tobas de lapilli, las que contienen fragmentos juveniles, exóticos y de roca de caja dispersos. Generalmente los materiales piroclásticos o tufisitas presentan estratificación piroclástica y ella resulta de la depositación desde el aire y/o surtidores de base (Lorenz, 1975). Las discordancias angulares entre unidades acumuladas son comunes (Hearn, 1968). El gran espesor acumulativo del relleno estratificado tobáceo y las discordancias angulares se explican por repetidas erupciones alternadas con subsidencia. Los fragmentos de roca de caja en la toba a menudo aumentan en tamaño para formar bloques redondeados por atrición de decímetros a metros de diámetro, los cuales a su vez gradan a una megabrecha de bloques angulosos o lajas de rocas de caja caídas hacia abajo en la matriz tobácea (N). El núcleo de la diatrema modelo está relleno por una brecha gruesa, no estratificada o aglomerado, cortando la toba. En la porción superior de la diatrema (O) hay fragmentos volcánicos y materiales eyectados (bombas) con una proporción menor de fragmentos de rocas de caja

y exóticos, los que están rellenos entre medio por matriz tobácea. Tales brechas se interpretan como de origen por caída de vuelta de material (al cráter) y el alto grado de redondeamiento de los fragmentos y atrición se explican por molienda autógena en el cráter (conducto de emisión) durante repetidas explosiones.

A profundidades mayores el núcleo de la diatrema, brecha o aglomerado (P) tiene una proporción mucho mayor de fragmentos exóticos, incluyendo nódulos derivados del manto y muestras de la corteza inferior (granulitas, eclogitas). Ellos probablemente fueron emplazados por explosiones/chorros de gases magmáticos, pero (O) y (P) a menudo se traslapan y sus límites mutuos son poco claros. El cuello externo de una diatrema “típica” a menudo está enmascarado por lonjas arqueadas de roca de caja (R), las cuales descienden hasta 1.280 m en algunas diatremas del centro-norte de Montana (Hearn, 1968).

### **Conducto (tronco) alimentador**

El conducto consiste en un dique subvolcánico denso, masivo, con o sin márgenes de enfriamiento. Estos no son brechosos, excepto por la presencia de xenolitos, la mayoría de los cuales han sido traídos desde las profundidades (S).

### **Apéndices**

En muchos campos de diatremas, existen estructuras circulares que se traslapan con o están interconectadas por medio de diques intrusivos someros, sills, diques anulares cónicos (cone sheets) y

estructuras similares y están cubiertas o flanqueadas por flujos de lava máficos.

Muchos diques actúan como mini-diatremas o reproducen algunos de los componentes de diatremas (Ej. incorporando estilos de brechas J, K, L, P). Otras variedades de brechas (T) son particularmente comunes a lo largo de las fracturas huéspedes del dique, encima de él. Tales brechas incluyen brechas de agrietamiento o mosaico de la roca de caja, brecha de peperita y otras variedades.

### **DESVIACIONES DEL MODELO IDEAL DE DIATREMA**

Muchas “diatremas” se desvían considerablemente del modelo ideal discutido anteriormente. La mayoría son substancialmente más simples, siendo a menudo una forma inicial abortada.

Alternativamente la simpleza puede deberse a una exposición profunda que muestra una sección cercana a la zona de raíz. Comúnmente la forma inicial es de un embudo o un sistema fracturas con forma de cuña expandido relleno de brecha, toba, tufisita o lava, acompañado de megabloques de roca de caja levemente subsidentes. Esto puede variar a un patrón ramificado de cuerpos tabulares de brecha (vetas o vetillas) gradando a un stockwork, incorporando grandes bloques de roca de caja en una posición relativamente no rotada (Ej. en la diatrema de State Island, Ontario; Sage, 1982). En otras partes grandes bloques de brecha tienen una matriz de toba o lava (Ej. Garnet Ridge, Arizona) gradando a una zona

de brechas de impacto (Gold, 1972) constituida por un enrejado de vetas de material ígneo en rocas de caja expandidas y fragmentadas.

### **MINERALIZACIÓN ASOCIADA CON SISTEMAS DE DIATREMAS**

Existen diatremas o chimeneas de kimberlitas que contienen diamantes y diatremas relacionadas a rocas alcalinas o carbonatitas ricas en Nb, REE, Zr, Th, U y otros metales raros.

Sin embargo, no es necesario extenderse aquí respecto a ellas (no se traduce lo referente a ellas).

Las diatremas indirectamente sustentan mineralización condicionado a: (a) porosidad y permeabilidad estructural que controla la migración de fluidos y depositación de menas (*Nota: la matriz tobácea o de tufisita de muchas diatremas puede ser impermeable debido a la fina pulverización del material y la alteración argílica, de modo que comúnmente la mineralización se restringe a los bordes de la diatrema donde las rocas brechizadas por impacto, agrietamiento o deslizamiento gravitacional proveen la permeabilidad necesaria para la circulación hidrotermal*); (b) calor focalizado desde una fuente profunda (geoterma) dentro de la diatrema capaz de generar convección de fluidos; (c) rocas pulverizadas y fragmentadas permeables liberando metales en trazas en los fluidos percolantes; (d) terreno para la infiltración de fluidos superficiales y precipitación de minerales a partir de ellos (procesos supergenos). Varios atributos se combinan a menudo durante la

historia evolutiva de un sistema de diatrema para permitir la mineralización.

Las diatremas en asociaciones volcano-plutónicas “orogénicas” han sido recientemente resumidas por Sillitoe y Bonham (1984), Sillitoe et al. (1984b) y Sillitoe (1985).

Allí existe un amplio espectro de tiempo de emplazamiento de diatremas. En los pórfidos de Cu-Mo gigantes chilenos El Teniente y Río Blanco – Disputada las diatremas (como la “Formación” Braden) postdatan la etapa principal de mineralización y parecen no relacionarse a ella. Una lista creciente de depósitos epitermales de oro y oro - plata espacialmente asociados a diatremas y formados en las fases últimas del emplazamiento de las diatremas (Acupan, Filipinas) o poco tiempo después del emplazamiento (Cripple Creek, Colorado), por precipitación a partir de celdas hidrotermales convectivas o en el borde de la estructura explosiva. Pequeñas infiltraciones de minerales de uranio en los sedimentos de lagos de maar (Shoemaker, 1956) probablemente precipitaron de fuentes termales.

**Brechas en sistemas compuestos de maar/diatrema:** ver Fig. 2 para la ubicación del código de letras.

(A) Bloques eyectados aislados en paleosuperficie rodeando al conducto de emisión (vent); heterolitológicos, soportados por fragmentos, proveniencia de fragmentos mixta (roca de caja>juveniles>exóticos), angulosos, sub-angulosos.

- (B) Toba o tufisita; heterolitológica, soportada por matriz>por fragmentos, fragmentos juveniles>caja, exóticos en toba, roca de caja>>juveniles en tufisitas.
- (C) Bloques eyectados y derrubios depositados en agua; heterolitológico, soportado por fragmentos, angulosos a subangulosos, fragmentos de rocas de caja y juveniles, en matriz de toba laminada o de barro.
- (D) Brecha de derrubios o derrumbe; mono o heterolitológica, soportada por matriz o fragmentos, caótica, fragmentos de roca de caja, angulosos.
- (E) Brecha de derrubios de talud; mono o heterolitológica, angulosos, fragmentos de roca de caja, sin matriz o matriz de relleno secundario.
- (F) Depósitos de cono de cenizas, crudamente estratificados a ceniza no estratificada con bloques dispersos o capas de lapilli, escoria, bombas o bloques. Monolitológicos, soportados por matriz a fragmentos, angulosos, huecos, fragmentos juveniles
- (G) Brechas en sedimentos de lago, variables.
- (H) Brecha de roca de caja in-situ, agrietada (crackle) a mosaico, de calce apretado, soportada por fragmentos, pero a menudo expandida de los márgenes e inyectada por toba. Monolitológica, angulosa, fragmentos de roca de caja.

- (I) Brecha de bloques de roca de caja, levemente deslizados; subangulosos a subredondeados, monolíticas, soportadas por fragmentos, fragmentos de roca de caja.
- (J) Brecha de intrusión de alto nivel (inyección); fragmentos de roca de caja, en matriz volcánica, mono a levemente heterolítica (fragmentos volcánicos); soportada por matriz o por fragmentos, fragmentos de roca de caja>>juveniles.
- (K) Brecha de inclusiones de alto-nivel (xenolítica) a basalto o volcanita similar con inclusiones de roca de caja aisladas, levemente horneadas o termalmente alterados. Monolítica>heterolítica, soportada por matriz, angulosos a subredondeados, fragmentos de roca de caja>juveniles.
- (L) Brecha de intrusión a nivel profundo y brecha xenolítica; heterolítica, soportada por matriz, subredondeada a angulosa, juveniles>exóticos>roca de caja.
- (M) Brecha tobácea estratificada. Heterolítica, soportada por matriz>fragmentos, roca de caja>juveniles en matriz de toba o tufisita.
- (N) Megabrecha de bloques de roca de caja en matriz de toba o tufisita; soportada por matriz, angulosos, fragmentos de roca de caja; grada en brecha con abundantes fragmentos de roca de caja.
- (O) Brecha o aglomerado grueso de conducto de emisión (vent); heterolítico, soportada por fragmentos<matriz, angulosos a

redondeados, juveniles>>roca de caja>>exóticos; bombas en coliflor, algunas con inclusiones de roca de caja; en gran parte caída de vuelta y molidos en conducto de emisión (vent).

(P) Brecha gruesa de explosión (chimenea o pipe), brecha de diatrema; heterolitológica, soportada por matriz>fragmentos, angulosos a subredondeados, fragmentos juveniles y exóticos; matriz de toba a menudo fluidizada. Emplazamiento desde abajo, fundidos en conducto de emisión (vent).

(Q)

(R) Megabrecha de tajadas arqueadas de roca de caja. Monolitológica, angulosos, fragmentos de roca de caja.

(S) Xenolitos en el alimentador; heterolitológica, subangulosos a redondeados, exóticos>juveniles.

(T) Varias brechas a lo largo de estructuras en extensión de apéndices de diques.

(U) Varias brechas hospedadas en lavas (idénticas a lavas en otros ambientes volcánicos).

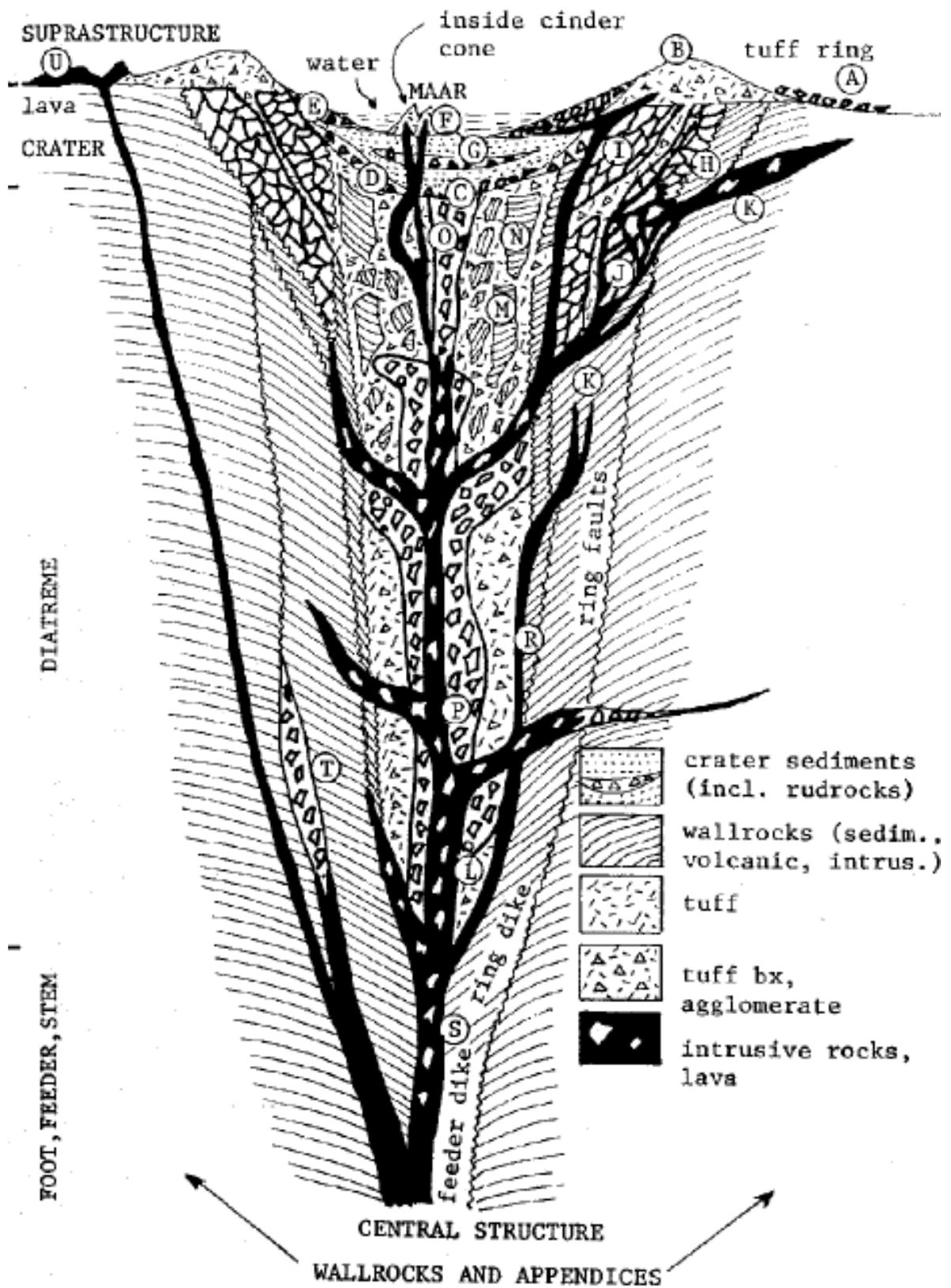
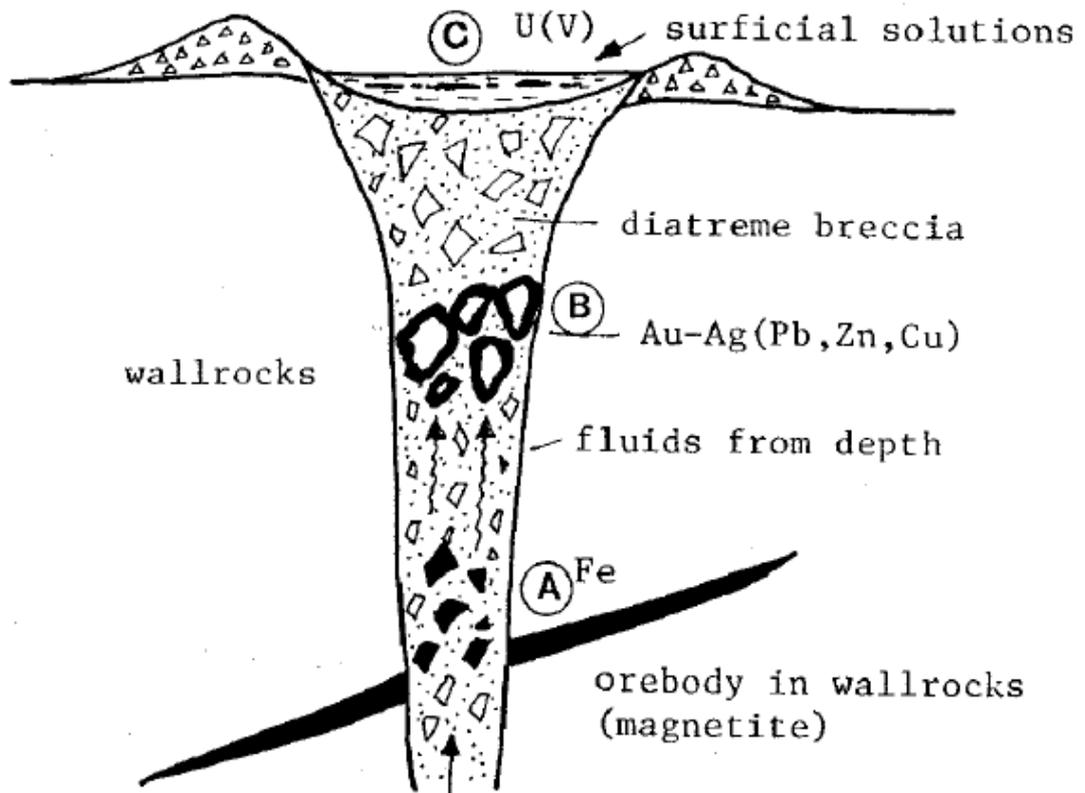


Fig. 2. Brechas en sistemas compuestos de maar/diatrema: Este esquema corresponde a un modelo ideal de diatrema; en ejemplos reales algunos de los componentes pueden estar ausentes.



|            | wallrocks<br>formation | diatreme<br>emplacement | supergene<br>development |
|------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| magnetite  |                        |                         |                          |
| pyrite     |                        |                         |                          |
| galena     |                        |                         |                          |
| sphalerite |                        |                         |                          |
| Au+Ag      |                        |                         |                          |
| U oxides   |                        |                         |                          |

Fig. 3. Esquema que ilustra las relaciones que puede tener la mineralización a una diatreme. A) Mineralización pre-diatreme incorporada a los fragmentos y matriz de la brecha. B) Mineralización depositada por fluidos hidrotermales circulantes dentro de la brecha luego de su formación. C) Depositación superficial de soluciones dentro del maar (Ej. U). En el caso del yacimiento El Teniente la Brecha Braden incorporó fragmentos de rocas mineralizadas con Cu-Mo, las que existían antes de la brechización, luego una vez formada la brecha fue afectada por alteración/mineralización caracterizada por sericita, calcita, yeso, cuarzo, siderita, ankerita, baritina, anhidrita, turmalina y depositación de pirita, calcopirita, molibdenita, blenda, galena, tenantita y finalmente la exposición a un ambiente oxidante produjo un limitado enriquecimiento supergeno en la parte superior de la brecha expuesta a la denudación.

**BRECHAS FREÁTICAS** (*depósitos epitermales de metales preciosos ± metales base*)

Este tipo de brechas se desarrolla a niveles someros siempre <1000 m de profundidad y se asocian con estructuras volcánicas (domos volcánicos, sistemas maar-diatrema, calderas).

Constituyen in amplio rango de cuerpos de brecha en sistemas epitermales que van desde pequeñas vetas y vetillas hasta grandes chimeneas, masas tabulares y cuerpos irregulares ramificados que frecuentemente se ensanchan o se abren hacia arriba.

La extensión vertical conocida de los cuerpos de brechas está en el rango 200-500 m y ellas alcanzan la (paleo) superficie. Sus texturas son extremadamente variadas, presentan restringido desplazamiento ascendente de los fragmentos y una amplia presencia de espacios abiertos. Presentan sucesivas etapas de alteración, mineralización y brechización; el control estructural es más evidente, tanto por fallas, como por estructuras volcánicas. La alteración hidrotermal dominante es la silicificación, acompañada o gradando a alteración argílica avanzada. Si existe alteración argílica avanzada esta se asocia a sulfuros tales como pirita, enargita, luzonita y covelina, generalmente como cemento de fragmentos silicificados.

Si no se presenta alteración argílica avanzada se presentan cantidades menores de pirita, ya sea sola o acompañada de esfalerita, galena, calcopirita, tenantita-tetrahedrita y/o argentita.

Las brechas epitermales comúnmente constituyen menas de oro y/o plata ó pueden constituir las porciones de mejor ley de los depósitos. El Au y Ag en la mayoría de los casos están en el cemento de la brecha. La excepción la constituye Buckskin (USA) donde los metales preciosos ocurren en vetas y stockworks que cortan una brecha silíceo.

La génesis de las brechas freáticas se atribuye al aumento de la presión hidrostática en sistemas epitermales debajo una barrera de baja permeabilidad (sellamiento por depositación de sílice hidrotermal a niveles someros). La brechización puede gatillarse por intrusión, fallamiento o deslizamientos, lo que induce el fracturamiento hidráulico, la repentina descompresión del sistema, transformación violenta del agua sobrecalentada a vapor (flashing en inglés) conducente a una explosión hidrotermal.

**BRECHAS MAGMÁTICAS** (*pórfidos y depósitos epitermales*).

Sillitoe (1985) introdujo este grupo para cuerpos de brecha formadas casi exclusivamente por materiales fragmentarios juveniles de origen magmático, con participación menor de fragmentos accidentales de otras rocas. Más recientemente han sido referidas como diatremas volcánicas que son producto de una erupción volcánica de magma félsico. Un ejemplo de este tipo de brecha es el complejo volcánico plioceno La Copa en el yacimiento Río Blanco (Serrano et al., 1996), este complejo incluye una chimenea o cuello volcánico de dacita brechosa y un depósito superior de tobas de la misma composición.

El cuerpo brechoso existente en Río Blanco es post-mineral, pero este tipo de cuerpos de brecha pueden ser pre- o post-minerales. El origen se atribuye a la liberación de energía durante la cristalización y/o descompresión de cuerpos de magma hidratado emplazados cerca de la superficie. La brechización de las caparzones y rocas de caja de stocks ha sido asignada a procesos magmático-hidrotermales de exsolución de fluidos por ebullición retrógrada seguida de descompresión. Sin embargo, si la liberación de energía por estos procesos es suficiente grande como para producir fracturamiento frágil hasta la superficie, esto causa la ruptura catastrófica de toda la columna de roca suprayacente y gatillar una erupción volcánica. Las diatremas volcánicas representarían el conducto de emisión de magma fragmentado durante la erupción.

### **BRECHAS DE INTRUSIÓN**

La inyección de magma en rocas pre-existentes puede producir la fragmentación mecánica de las rocas e incorporación de roca de caja en un magma intrusivo. El magma para los efectos mecánicos es un fluido y si es inyectado a presión produce fracturamiento hidráulico, produciendo brechas con matriz ígnea. Esta brecha por una parte grada a roca intrusiva masiva (con o sin xenolitos de las rocas encajadoras) y por otra parte a rocas de caja no fracturadas. Este tipo de brechas son comunes como parches irregulares cerca del techo y techo de stocks subvolcánicos, como en depósitos de tipo pórfido.

## BRECHAS TECTÓNICAS

El fracturamiento durante el movimiento de fallas de varios tipos origina la generación de brechas (cataclasitas). Muchos depósitos minerales se localizan en fallas (vetas) y las brechas de falla están comúnmente asociadas con mineralización. En muchos lugares cuerpos enticulares de brecha de falla están mineralizados, especialmente en sectores tensionales de fallas.

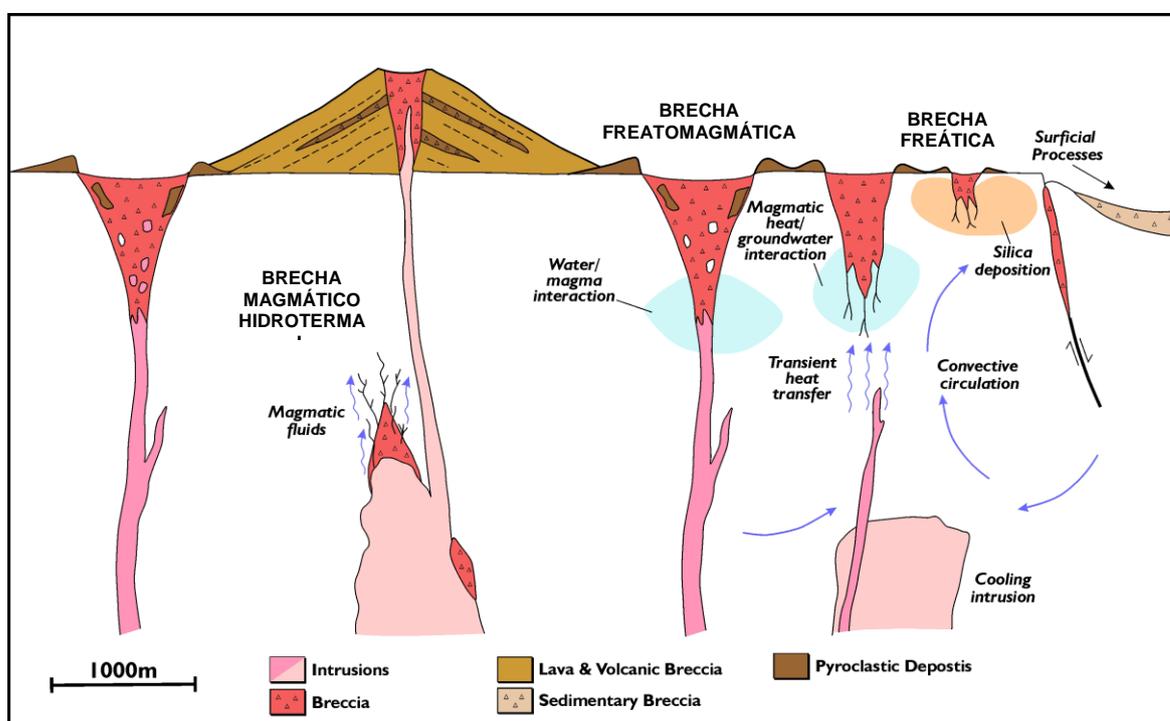


Fig. 4. Diagrama esquemático que muestra los entornos de formación de las brechas.

**CARACTERÍSTICAS DE CHIMENEAS DE BRECHA** (tomada de: Corbett y Leach, 1998. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, alteration and mineralization. Society of Economic Geologists, Special Publication Number 6)

| Nombre común             | MAGMÁTICA - HIDROTÉRMAL   | FREATOMAGMÁTICA  | FREATICA  |
|--------------------------|---|--|---|
|                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chimeneas de brecha sub-volcánicas</li> <li>• Chimeneas de brecha magmático-hidrotermales</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brechas de diatrema</li> <li>• Brecha fluidizada con matriz molida</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brecha de erupción hidrotermal</li> </ul>  |
| Origen                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exolución violenta de volátiles desde una intrusión, seguida de colapso gravitacional</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Explosión freatomagmática por emisión de volátiles y calentamiento violento de aguas subterráneas</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Explosión hidrotermal por descompresión de aguas geotermales y su vaporización violenta ("flashing").</li> </ul> |
| Nivel de emplazamiento   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundo a nivel de pórfidos.</li> <li>• No necesita tener emisión (no alcanzan a la superficie)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductos de emisión intermedios de diatrema</li> <li>• Brechas de matriz molida fluidizada que explota la estructura.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficial, forma depósitos de sinter en las fuentes termales que fluyen de ellas en la superficie</li> </ul>   |
| Actividad intrusiva      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Derivada de pórfidos, diques</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Domos endógenos</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguna expuesta</li> </ul>  |
| Estilo de mineralización | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuarzo-sulfuros, Au±Cu, gradando a carbonato - metales base + Au</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbonato metales base + Au</li> <li>• Au-Cu de alta sulfuración</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Epitermales de Au - Ag tipo adularia-sericita</li> </ul>   |
| Alteración hidrotermal   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuarzo-sericita</li> <li>• Biotita, feldespato-K</li> <li>• Actinolita, epidota</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Illita a smectita</li> <li>• Pirita finamente diseminada</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sílice fina, pirita, marcasita</li> </ul>  |
| Forma                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estilos de intrusión dominados por fragmentos de intrusivos introducidos.</li> <li>• Estilos de colapso dominados por fragmentos locales de roca de caja.</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facies de conducto de emisión dentro de diatrema.</li> <li>• Facies de anillo de tobas lanzadas fuera de la diatrema.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chimeneas con forma de cono invertido y facies de anillo de tobas.</li> </ul>                                    |
| Fragmentos               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Juveniles magmáticos y locales de roca de caja.</li> <li>• Brechas con fragmentos tabulares en estilos de colapso.</li> <li>• Fragmentos molidos en estilos de inyección.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragmentos juveniles intrusivos característicos.</li> <li>• Lapilli acrecional local</li> <li>• Tufisita bien molida</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comúnmente fragmentos angulosos de derivación local.</li> </ul>  |
| Matriz                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Harina de roca, espacios abiertos</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Molida y fluidizada alterada a arcillas-pirita</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sílice-pirita</li> </ul>   |
| Ejemplos                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kidston, San Cristobal, Goolden Sunlight, Mt. Leyshon, Los Bronces, Río Blanco, Cabeza de Vaca.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wau, Kelian, Acupan, Kerimenge, Lepanto, Tolukuma, Brecha Braden de El Teniente.</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Champagne Pool, Puhipuhi, Toka, Tindung, McLaughlin, El Tambo.</li> </ul>  |

### 2.3 Definición de términos básicos

Pocos términos son indicativos de brecha para tanta gente, que aquellas del título de esta sección. Por otra parte, pocos grupos de clasificación de brechas son más heterogéneos y abiertos que el presente y más sujeto a malentendidos debido el uso de “distintos términos para lo mismo y términos idénticos para distintas cosas” (dicho de Radim Kettner, 1961). El término principal de Diatrema fue introducido por Daubrée (1891) como un “conducto de emisión (“vent” en inglés) producido por una explosión volcánica”, actualmente es usado en un sentido mucho más restringido para conductos de emisión formados por explosiones freatomagmáticas (Sillitoe y Bonham, 1984).

Definiciones de términos seleccionados en la categoría de maar, diatrema y cuello de brecha.

✓ **Maar**

Un cráter volcánico cortado en las rocas de caja por debajo del nivel general del terreno y que posee un anillo bajo compuesto de desechos piroclásticos (toba o toba de lapilli); Lorenz (1973).

Puede contener un lago.

✓ **Anillo de tobas o cono**

Un amplio cráter volcánico sobre el nivel general del terreno rodeado por un borde con forma de anillo de desechos piroclásticos (toba o toba de lapilli); Lorenz (1973).

✓ **Conducto de emisión de brecha (garganta)**

Un conducto relleno con brecha de un volcán u otro sistema eruptivo (Ej. un geyser) en la subsuperficie, dentro de un cono de lava/piroclástico o debajo de un maar. Puede formarse por una variedad de explosiones: por gases magmáticos, explosiones freatomagmáticas o hidrotermales.

✓ **Cuello de brecha**

Remanentes de un cuello volcánico relleno principalmente por brecha, exhumado y sobresaliendo sobre sus alrededores.

✓ **Chimenea de brecha de explosión**

Término general para chimeneas de brecha formadas por cualquier tipo de actividad explosiva: gas magmático, freatomagmático, freático.

✓ **Diatrema**

“Conducto de emisión producido por una explosión volcánica” que subyace un maar o anillo de tobas (Daubrée, 1981). Conducto relleno con brecha de origen freatomagmático (Sillitoe, 1985).

✓ **Modelo de diatrema**

Una diatrema ideal compuesta, incluyendo sus accesorios y marco geológico (Cloos, 1941; Hearn, 1968).

✓ **Kimberlita (chimenea de)**

Un modelo de diatrema compuesta de una peridotita de flogopita, potencialmente con contenido de diamantes, sus accesorios, marco geológico (Hawthorne, 1975; Dawson, 1980).

✓ **Dique de brecha**

Un cuerpo tabular de brechas relleno una fractura dilatada.

✓ **Dique de guijarros (pebble dike)**

Ídem al de arriba, pero con fragmentos redondeados soportados por matriz.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Las características geológicas de las Brechas Gioconda y Pucairca determinan la mineralización en el Prospecto Lincuna.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

1. Las características geológicas de las Brechas Gioconda y Pucairca determinan la mineralización.
2. Los controles estructurales determinan la mineralización en las Brechas Gioconda y Pucairca.
3. Los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos determinan la mineralización en las Brechas Gioconda y Pucairca.

## **2.5. Identificación de Variables**

### **2.5.1. Variable Independiente**

Las características geológicas de las Brechas Gioconda y Pucairca.

### **2.5.2. Variable Dependiente**

La mineralización en el Prospecto Lincuna

### **2.5.3. Variable Interviniente**

- Ley del mineral
- Dilución de la ley del mineral

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Tipo y diseño de Investigación

El trabajo de investigación es del tipo No Experimental, el diseño de investigación es de tipo múltiple:

**Exploratorio:** Se realizó el mapeo cartográfico de la zona para determinar qué tipos de rocas volcánicas del Grupo Calipuy encontramos en las brechas Gioconda y Pucairca y definir si tiene alguna relación con algunos autores que describen las brechas hidrotermales.

**Descriptivo:** Se describirá las características geológicas, se conocerá los controles estructurales de la mineralización de las Brechas Gioconda y Pucairca del Prospecto Lincuna.

**Correlacional:** Se realizará una correlación de las brechas Gioconda y Pucairca para determinar si los minerales varían en Ley.

### **3.2 Población de estudio:**

El Prospecto Lincuna

- **Tamaño de muestra**

Las Brechas Gioconda y Pucairca

- **Selección de muestra**

Muestreo sistemático de las Brechas Gioconda y Pucairca

### **3.3 Métodos de la Investigación**

En el proyecto de investigación se ha realizado un análisis detallado de la teoría y antecedentes del prospecto, los cuales contribuyeron a entender el comportamiento de las brechas y su influencia en el origen de la mineralización.

### **3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

- ✓ Se realizó el cartografiado geológico para identificar la zona de interés la toma de datos y muestras.
- ✓ Para seleccionar los diferentes datos y muestras, se realizaron muestreo geoquímico.

### **3.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos**

- ✓ Interpretación de toda la información obtenida en las diferentes etapas de Trabajo.
- ✓ Los datos es insitu tal como se reconoce en el campo, en las muestras de rocas y minerales.

### **3.6 Tratamiento Estadístico**

- Técnicas Analíticas e Interpretación de toda la información obtenida en las diferentes etapas de Trabajo.

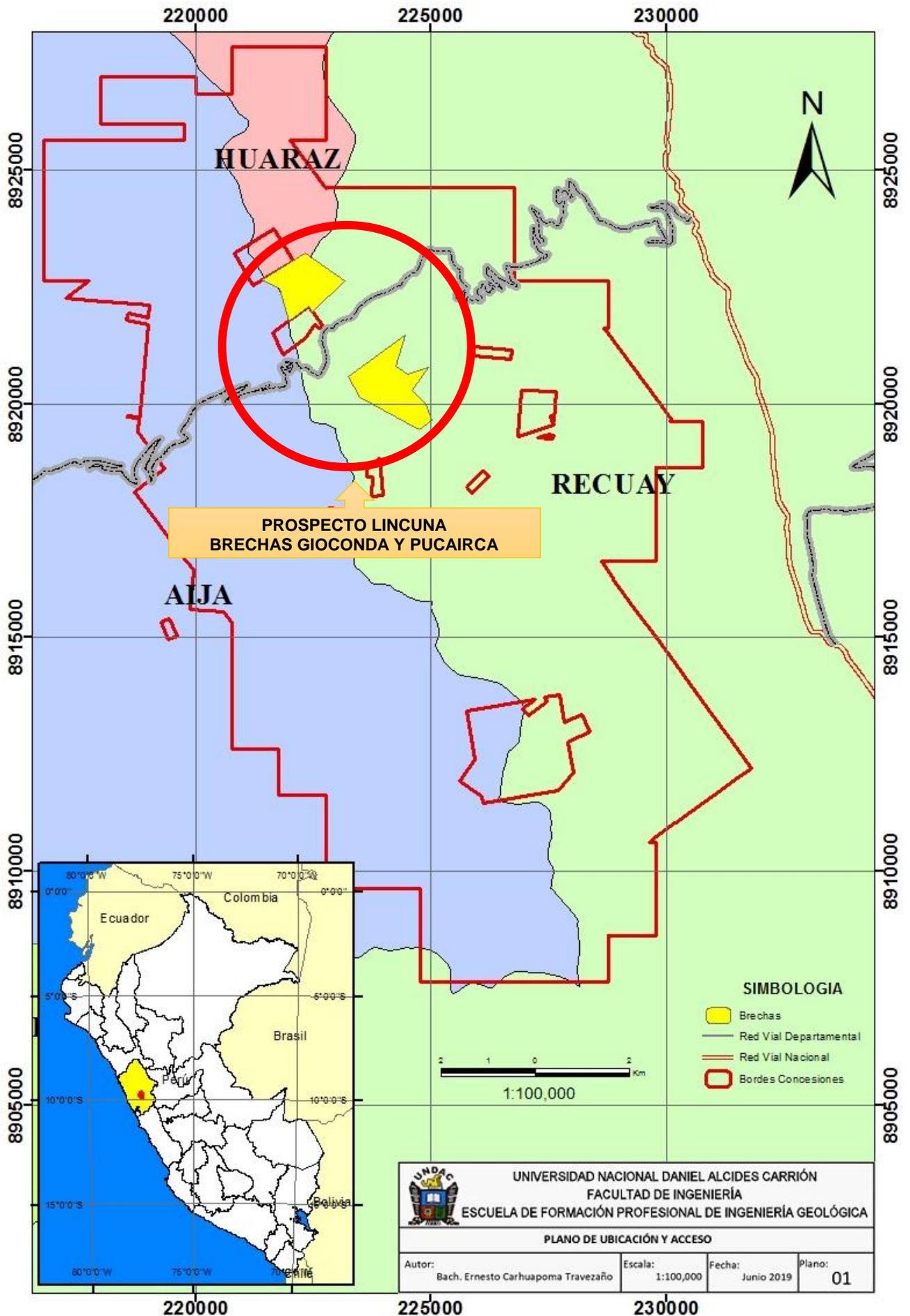
## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **4.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

El área del Proyecto se localiza en el margen izquierdo del Río Santa a 40 km. al Sur de la Ciudad de Huaraz y está delimitada por las coordenadas. U.T.M.: 271,000 E - 8'908,000 N. Políticamente pertenece a las Provincias de Recuay y Aija del Departamento de Ancash.

El acceso principal desde Lima es por la carretera Panamericana Norte hasta la altura de Pativilca (205 Km.), luego una carretera asfaltada hasta la ciudad de Recuay (173 Km.). Posteriormente parte una carretera afirmada de 42 Km. que recorre transversalmente el área y llega al Pueblo de Aija. Numerosas trochas carrozables facilitan los desplazamientos en el área.



## 4.2. RESEÑA HISTÓRICA

El “Distrito Minero de Ticapampa-Aija” en el que se circunscribe el Proyecto Alianza, tiene una larga historia de desarrollo minero de más de 150 años y es conocido por su contenido polimetálico de Zn, Pb, Ag y presencia de Au como subproducto en vetas y mantos (Hudson et al 1975; Trunit et al 1982).

Hay varios autores que han realizado estudios y trabajos con diferentes fines y propósitos que tratan sobre el área del proyecto y alrededores:

- Caldas V.J. 1968 “Geología de la Mina Collaraca”.
- Hudson et al 1975 “Estudio Geológico Distrito Minero Ticapampa-Mina Hércules”,
- Trunit P., Fesefelt K., Stephan S. 1982 “A Caldera of Neogene Age and Associated Hydrothermal Ore Formation, Ticapampa-Aija Mining District, Cordillera Negra, Department of Ancash, Perú”.
- Díaz B.N, 1993 “Estudio Geológico Complementario del Area Pucará o Pucairca”.
- Arenas M. 1995 “General Reconnaissance of the Auriferous Possibilities in the Mining Properties of Compañía Minera Alianza S.A. Unpublished Report”.
- Cobbing, et al 1996 “Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca”.
- Cossío A. 1997 “Geología del Area del Proyecto Alianza”.
- Jemielita R. 1997 “A Report on the Cia. Minera Alianza S.A. Concessions, Ticapampa-Aija District, Department of Ancash”.

### 4.3. GEOMORFOLOGÍA

La Cordillera Negra corresponde a un segmento de la Cordillera Occidental de los Andes del Perú. Presenta superficies de erosión a diferentes niveles, expuestos entre los 3,400 y 4,900 metros sobre el nivel del mar.

Regionalmente presenta relieves con topografías variadas tales como colinas, antiguos circos glaciales, superficies onduladas, quebradas y escarpas. En general, las líneas de cumbres presentan rumbo andino (NW- SE).

El patrón de drenaje es radial-dendrítico en el flanco occidental de la Cordillera Negra; es decir, en el dominio de la estructura circular de 24 Km. de diámetro asociada a rocas volcánicas y dendrítico en el flanco oriental de la Cordillera Negra (margen izquierda del Río Santa); los cuales confluyen a dos cuencas hidrográficas importantes; la cuenca hidrográfica del Río Santa (sector Este) y la cuenca hidrográfica del Río Huarmey (sector Oeste).



*Fig.5. Vista de los rasgos geomorfológicos del Prospecto Lincuna.*

#### **4.4. CLIMA Y VEGETACIÓN**

La Cordillera Negra, posee un clima con características de templado a frío y seco, debido a la influencia de la altitud.

Los meses de Diciembre - Abril están caracterizados por un régimen de lluvias más o menos persistentes, las tormentas de nieve se localizan en alturas superiores a los 4,000 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas de 0°C a 5°C en las noches y 0 a 14°C en el día.

Los meses de Junio - Octubre se caracterizan por presentar un período de sequía con precipitaciones pluviales muy esporádicas con temperaturas durante el día de 5°C a 16°C y en las noches de 0°C a 1°C. Esto se pone en evidencia en altitudes superiores a los 4,500 metros (Huancapetí, Pucamarca, Huarón, Dos Obreros, Gioconda, Cashacancha, etc.), estas temperaturas bajas son muy conocidas por los lugareños como "heladas".

Durante los meses de Junio -Agosto se acentúan las corrientes de aire (vientos) con velocidades de 20 a 40 Km./h, Las características climáticas del área del proyecto corresponde a "tundra seca de alta montaña" definido por el "Instituto Nacional de Recursos Naturales" de Perú (INRENA).

La distribución de las especies vegetales varía de acuerdo con la altitud en que se desarrollan. En altitudes cercanas a los 3,700 metros la vegetación se caracteriza por la presencia de arbustos y gramíneas, tales como los quisuares, retamas, variedades de

cactus, huamanpinta, ancosh etc.; en las altitudes superiores a los 4,000 metros, la vegetación es básicamente gramíneas conocidas ampliamente en la región andina con el nombre de "ichu".

La actividad agrícola se circunscribe a las altitudes inferiores a los 3,500 metros y se localizan en las vertientes del Valle del Santa y en las quebradas que confluyen al Río Aija (Qda. Santiago, Río La Merced y Río Mallqui); en estos sectores la agricultura se caracteriza por los sembríos de papa, trigo, cebada, haba, arveja y quinua.

En el área del Proyecto, la actividad agrícola se restringe solo a la quebrada Collaracra.

#### **4.5. GEOLOGÍA REGIONAL**

Se han identificado dos tipos de rocas (metamórficas y volcánicas) que corresponden a la Formación Chimú y productos efusivos del Volcánico Calipuy.

Geológicamente el Grupo Calipuy de edad Terciaria, constituye la cubierta volcánica de la Cordillera Negra, que suprayace en discordancia angular a las series plegadas del Mesozoico.

La unidad litoestratigráfica más antigua expuesta cerca al área del Proyecto es la Formación Chicama de edad Jurásico Superior, esta unidad aflora en las cercanías del poblado de Aija y la Merced, se caracteriza por presentar secuencias de areniscas con intercalaciones de lutitas oscuras y nódulos con núcleos piritosos.

Suprayaciendo en discordancia subparalela se encuentran unidades del Grupo Goyllarisquizga de edad Cretáceo Inferior: la Formación

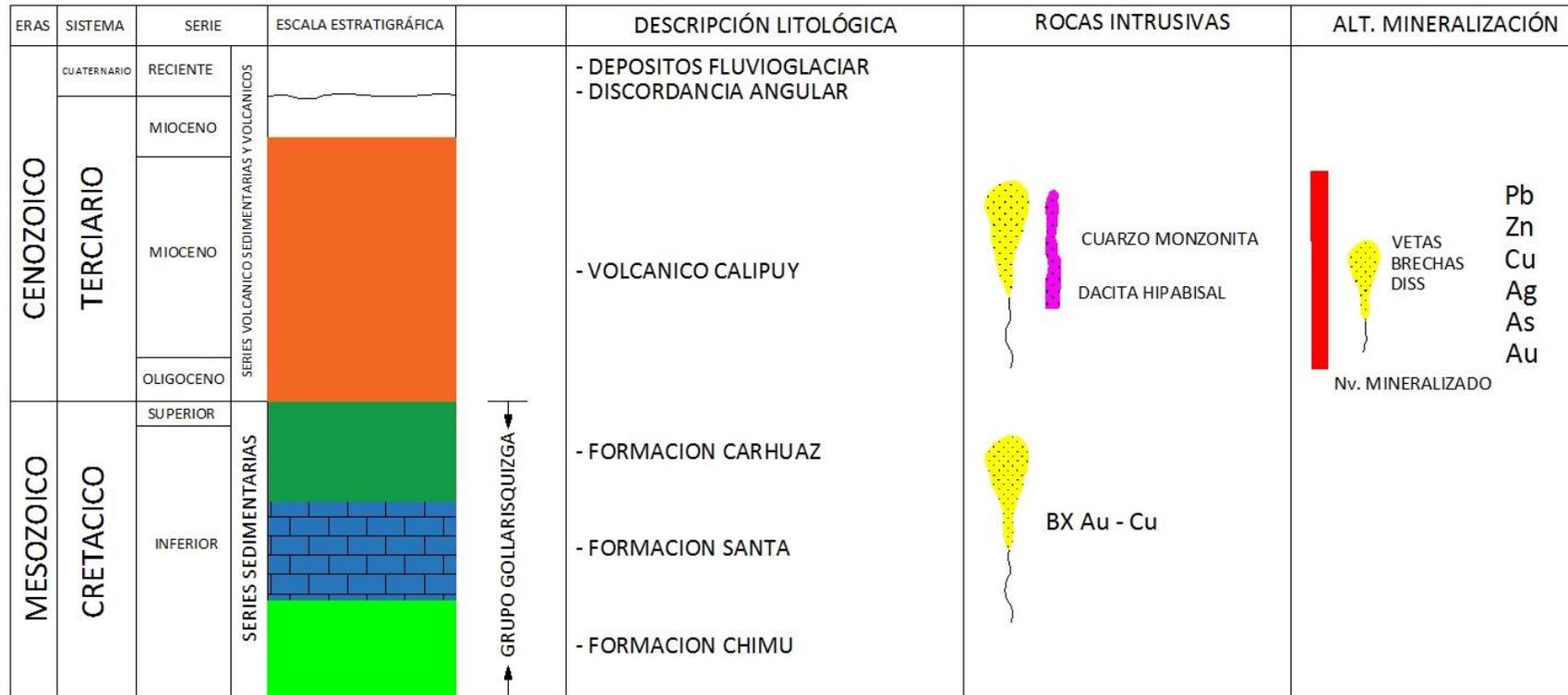
Chimú conformada por areniscas cuarzosas; encima las Formaciones Santa y Carhuaz indiviso con secuencias de lutitas, calizas y areniscas.

Cubriendo a las series Mesozoicas, afloran rocas volcánicas del Grupo Calipuy de edad Terciario Inferior a Medio; que consisten de lavas, aglomerados volcánicos, piroclásticos finos a gruesos, de composición andesítica a riolítica, niveles de rocas sedimentarias lacustrinas e intrusivos subvolcánicos con textura porfirítica de composición intermedio-ácido.

Las áreas prospectivas del Proyecto se circunscriben al borde oriental de la estructura circular y están emplazadas en tobas e intrusivos subvolcánicos con textura porfirítica de composición intermedia a ácidas, con fuerte alteración hidrotermal propilítica, cuarzo-sericita débil a moderada y silicificación con disseminaciones de pirita, las cuales están afectadas por venillas de cuarzo y óxidos de hierro.

El sistema regional de la falla Cordillera Blanca, falla Santa y sus componentes de cizalla han jugado un rol importante en el comportamiento morfo-estructural y metalogenético del área de interés y de otros distritos.

# COLUMNA ESTRATIGRÁFICA



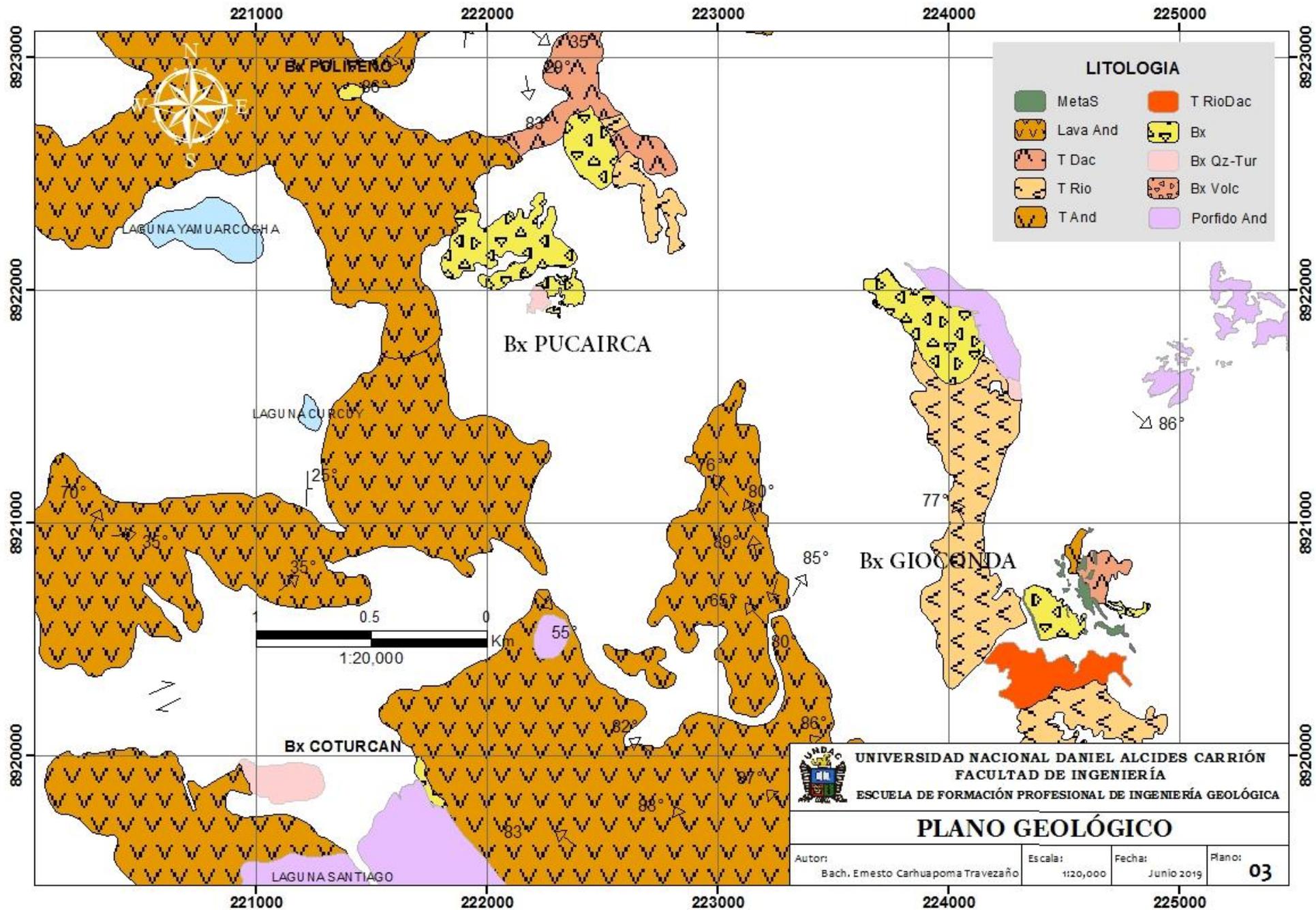
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

## COLUMNA ESTRATIGRÁFICA

Autor:  
 Bach. Ernesto Carhuapoma Travezaño

Fecha:  
 Junio 2019

Plano:  
 02



#### 4.6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

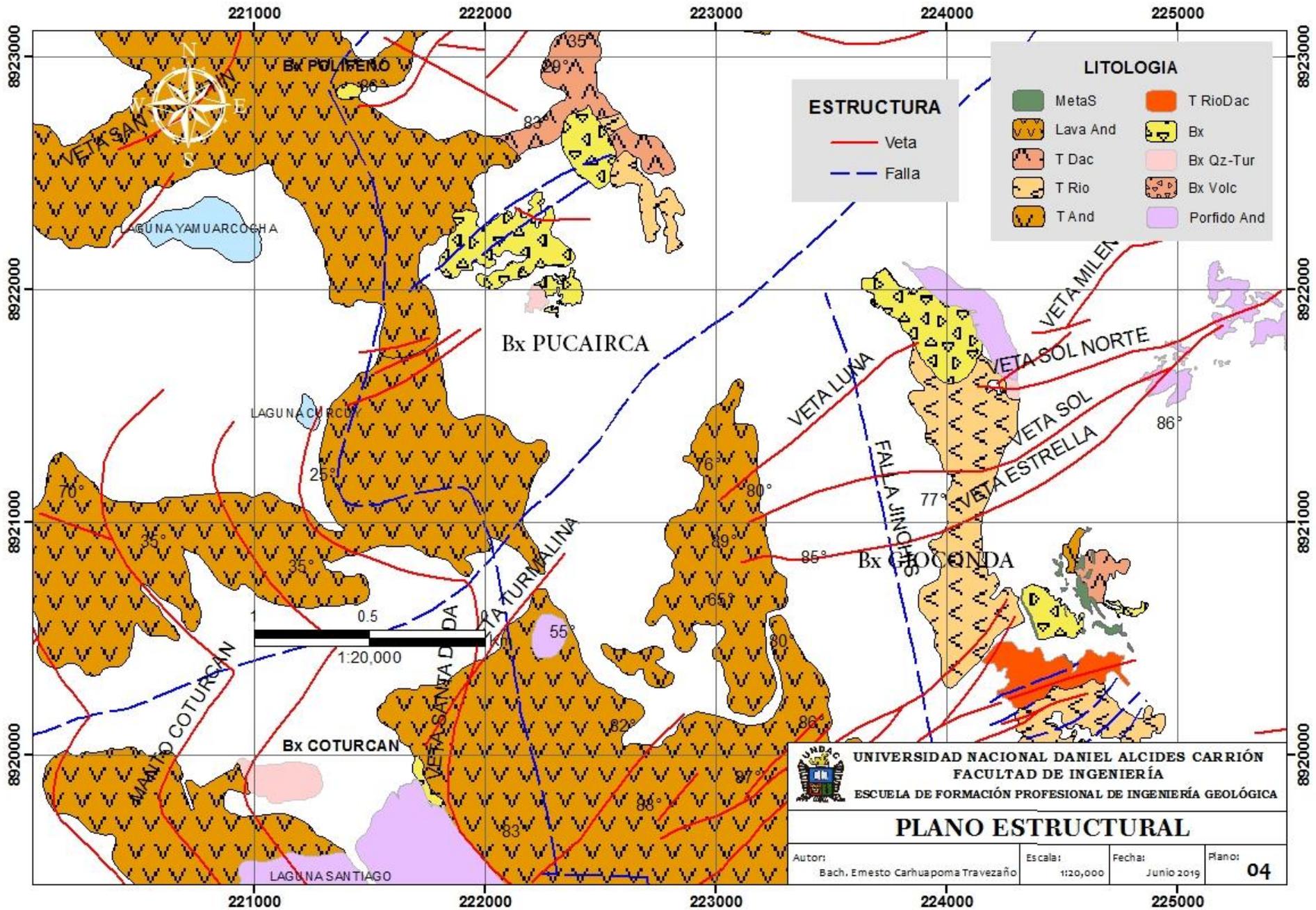
Dentro la Cordillera Negra se define tres tipos de estructuras: Fallas, Pliegues y estructuras circulares

**FALLAS:** Están divididas en dos sistemas.

1. Sistema Andino de dirección NW-SE corresponden a fallas regionales que han controlados la evolución andina y la geodinámica de las cuencas del Mesozoico.
2. Sistema de fallas de dirección NE-SW se encuentra entre los sistemas de fallas Huanllac-Churin y Huaraz-Recuay. Aparentemente se trata de fallas de cizalla originada por el movimiento transcurrente de las fallas de rumbo andino.

**ESTRUCTURAS CIRCULARES:** Están alineadas según una dirección NW-SE. Se encuentra principalmente entre el sistema de fallas Huaraz Recuay y el sistema de fallas de Huanllac-Churin y corresponde a centros volcánicos que fueron fuentes de emisión de las lavas del arco magmático del grupo Calipuy.

El área de interés corresponde al sector Occidental de la Cordillera de los Andes, donde se emplazan un sistema de fallamientos inversos con dirección predominante "NW-SE" como resultados de esfuerzos compresivos con dirección tectónica (E-W), que han producido anticlinales y sinclinales con ejes de orientación "NW-SE" que afectan directamente a la secuencia lito-estratigráfica de la Cordillera de los Andes. Este sistema también ha generado sistemas de fallas normales secundarios sub-paralelos con orientaciones "NE-SW y NW-SE" de alto ángulo de buzamiento (sub-verticales).



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**PLANO ESTRUCTURAL**

|  |                     |                      |                     |
|--|---------------------|----------------------|---------------------|
| Autor:<br>Bach. Ernesto Carhuapoma Travezaño | Escala:<br>1:20,000 | Fecha:<br>Junio 2019 | Plano:<br><b>04</b> |
|--|---------------------|----------------------|---------------------|

## 4.7. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LAS BRECHAS

### 4.7.1. Brecha Gioconda Central

Se ubica en un sector del prospecto Gioconda a una altitud de 4,600 metros sobre el nivel del mar y la parte central está ubicada en las coordenadas U.T.M.: 8'920,600 N y 224,450 E.

Tiene una dimensión de 300m x 150m y una forma ovaloide

Es una brecha polimíctica con clastos dacíticos, calizas y cuarcita provenientes de posiciones estratigráficas inferiores a las que se exponen en superficie.

Los clastos son subangulares a subredondeados y de tamaños bien clasificados presentando imbricación en las márgenes (“slab breccia”).

La brecha es soportada por clastos que predominan sobre la matriz.

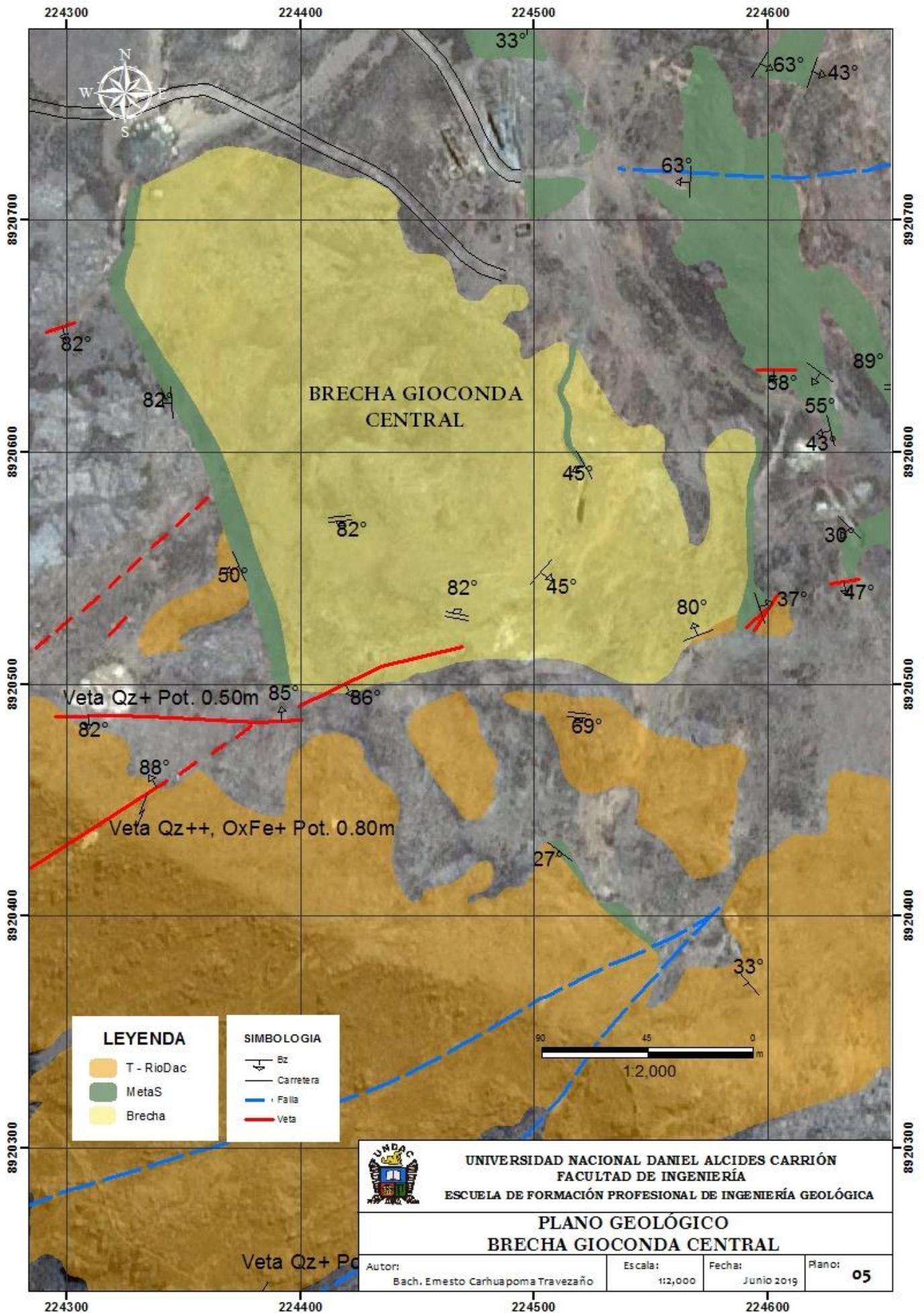
La alteración hidrotermal es de sericitización moderada, silicificación fuerte y núcleos aislados de argilitización.

La matriz está formada por clásticos finos de naturaleza dacítica, sílice y venas de cuarzo cristalizado.

En general, los clastos están afectados por venillas de cuarzo cristalizado y turmalina, originando texturas de tipo rompecabezas y estructuras de stockwork.

Es la brecha más importante del Proyecto por su contenido anómalo de Au, Cu, Pb y Zn.

- Clasificación - Brecha Hidrotermal (crackled)



**LEYENDA**

|  |
|--|
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:orange; border:1px solid black;"></span> T - RioDac |
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:green; border:1px solid black;"></span> MetaS       |
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:yellow; border:1px solid black;"></span> Brecha     |

**SIMBOLOGIA**

|  |           |
|--|-----------|
|  | Bz        |
|  | Carretera |
|  | Falla     |
|  | Veta      |



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**PLANO GEOLÓGICO  
 BRECHA GIOCONDA CENTRAL**

|  |                     |                      |                     |
|--|---------------------|----------------------|---------------------|
| Autor:<br>Bach. Ernesto Carhuapoma Travezaño | Escala:<br>1:12,000 | Fecha:<br>Junio 2019 | Plano:<br><b>05</b> |
|--|---------------------|----------------------|---------------------|

#### **4.7.2 Brecha Gioconda Norte**

Se encuentra ubicado en el sector Norte del Prospecto Gioconda a una altitud promedió de 4,600 metros sobre el nivel del mar y la parte central se encuentra ubicada en las coordenadas U.T.M.: 8'921,050 N y 224,630 E.

Presenta una dimensión de 50m x 40m y tiene una forma ovaloide.

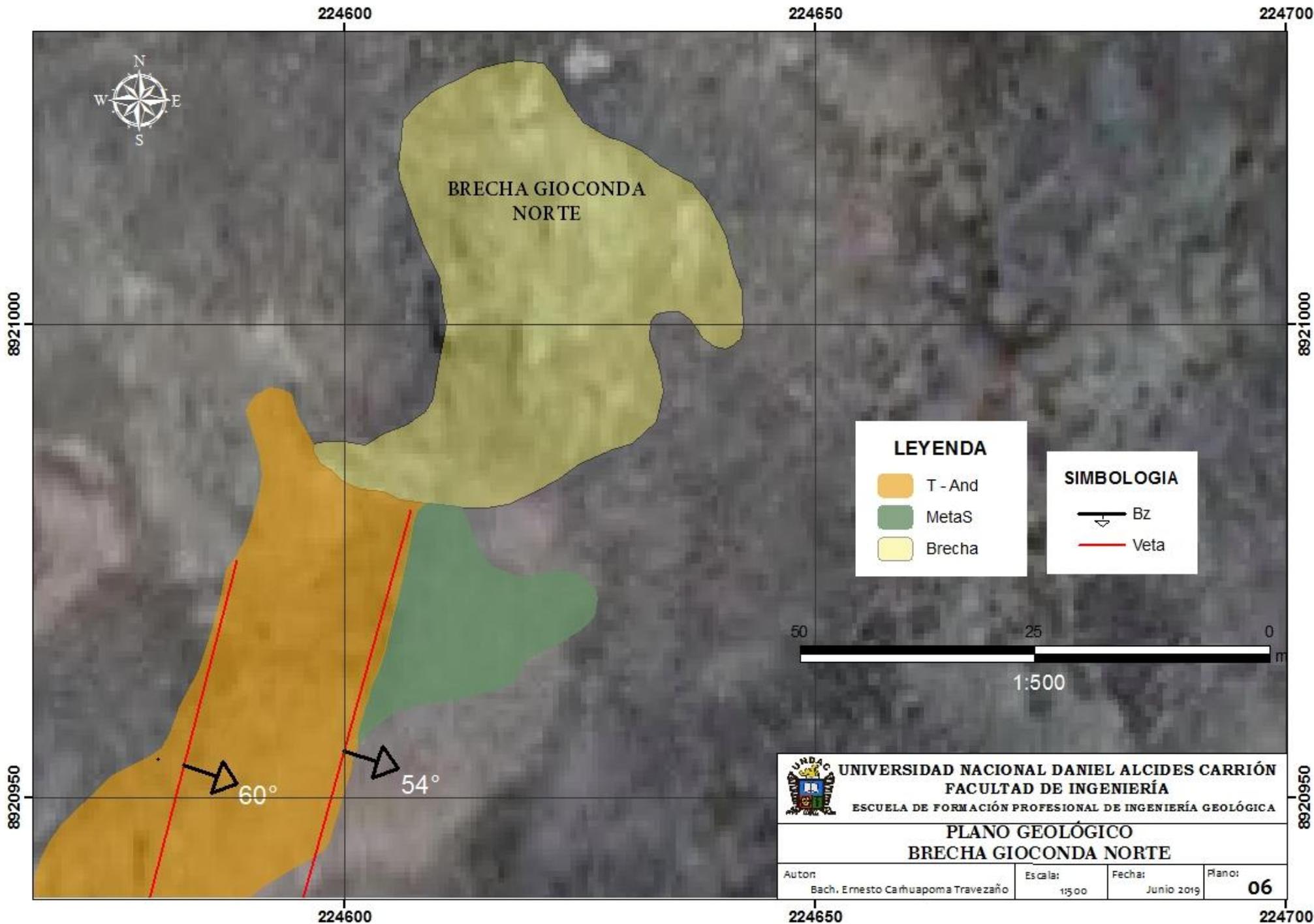
Brecha polimíctica con clastos de lavas dacíticas, calizas y areniscas cuarzosas provenientes de niveles más profundos.

Los clastos son subangulosos de diferentes tamaños (centimétricos), cementados por una matriz de sílice, clásticos finos, venas de cuarzo cristalizado y turmalina relleno los intersticios.

Hay también disseminaciones de pirita, esfalerita y galena en la matriz.

La alteración hidrotermal presente en los clastos es la sericitización débil a moderada.

- Clasificación - Brecha Intrusiva Hidrotermal



#### **4.7.3. Brecha Gioconda Este**

Se encuentra ubicada en el sector Este del Prospecto Gioconda a una altitud promedio de 4,600 metros sobre el nivel del mar.

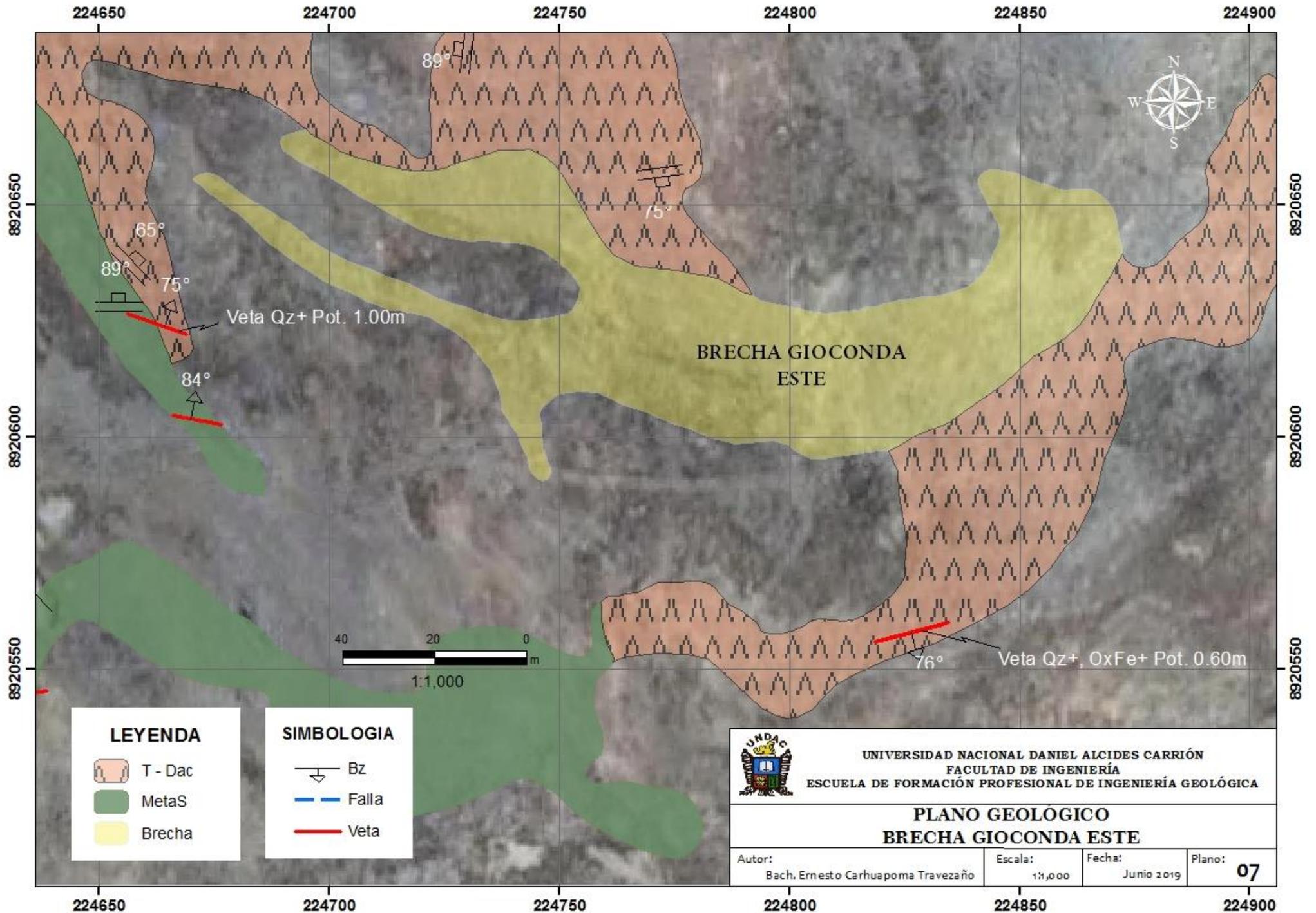
La parte central del tubo se ubica en las coordenadas U.T.M.: 8'920,640 N y 224,800 E.

Presenta una dimensión aproximada de 150m x 40m y de forma circular.

La brecha presenta clastos monomícticos de naturaleza dacita lávica en una matriz de turmalina, que predomina sobre los clastos. Los clastos son subangulosos y presenta sericitización débil a moderada y diseminación de pirita.

La distribución de los clastos es caótico, pero en las márgenes presenta una ligera imbricación "slab breccia".

- Clasificación - Brecha Intrusiva Hidrotermal



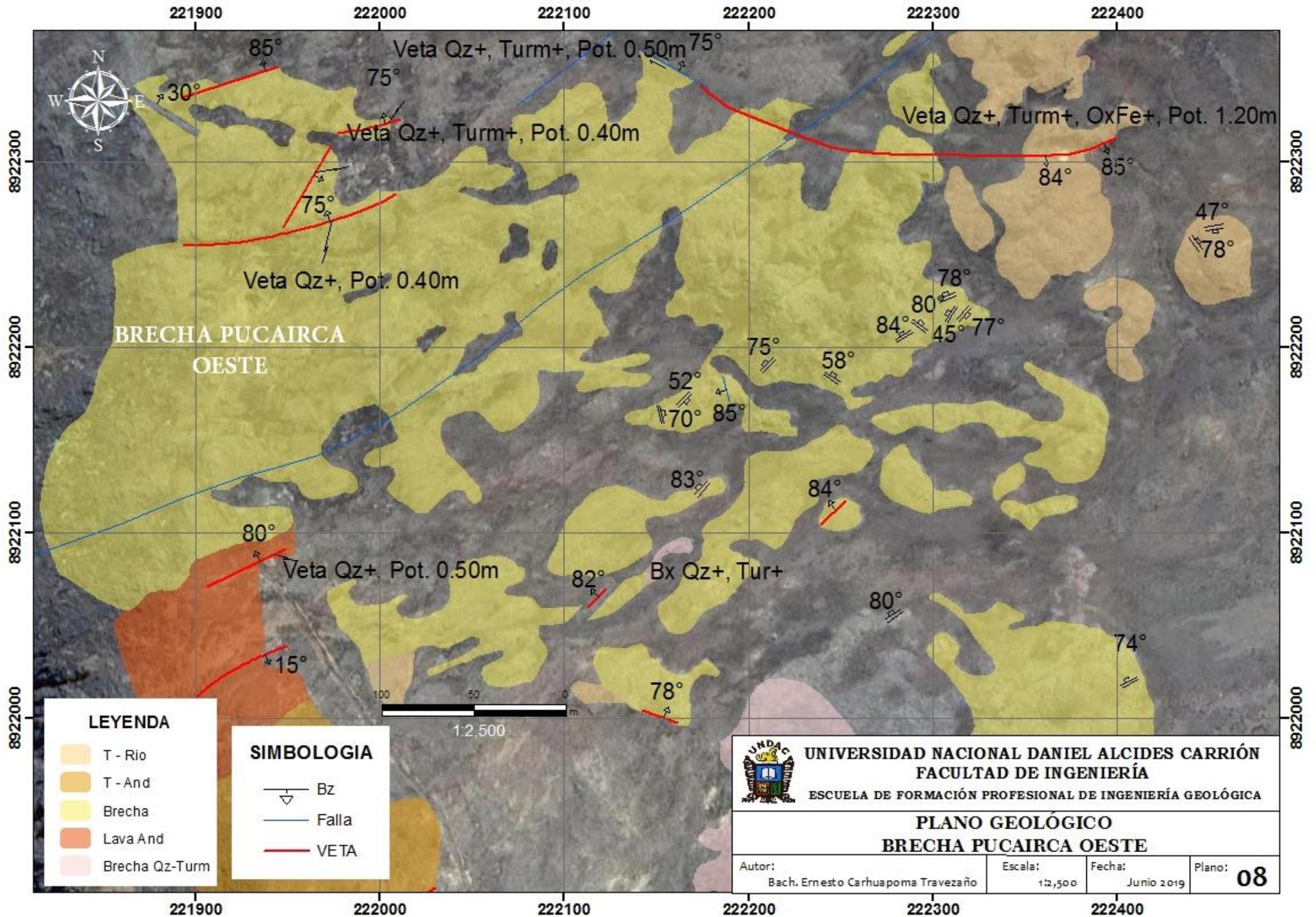
#### **4.7.4. Brecha Pucairca Oeste**

Ocurre en el sector Oeste del área de Pucairca a una altitud de 4,650 metros sobre el nivel del mar. La parte central del tubo se localiza en las coordenadas U.T.M.: 8'922,250N y 222,000 E. Presenta una dimensión de 450m x 240m y tiene la forma ovaloide.

Los clastos son monomícticos conformados por tobas riolíticas de formas subangulares y tamaños que varían de 0.5 cm a 30cm, presentando una distribución caótica. La matriz está formada por turmalina y sílice gris.

Los clastos presentan una alteración hidrotermal de sericitización débil; tanto los clastos como la matriz están afectados por venillas de cuarzo, pirita y limonita. La brecha presenta valores anómalos erráticos poco significativos en Mo.

- Clasificación - Brecha Hidrotermal



#### **4.7.5. Brecha Pucairca Sur**

Se encuentra ubicado en el sector Sur del área de Pucairca, a una altitud de 4,600 metros sobre el nivel del mar.

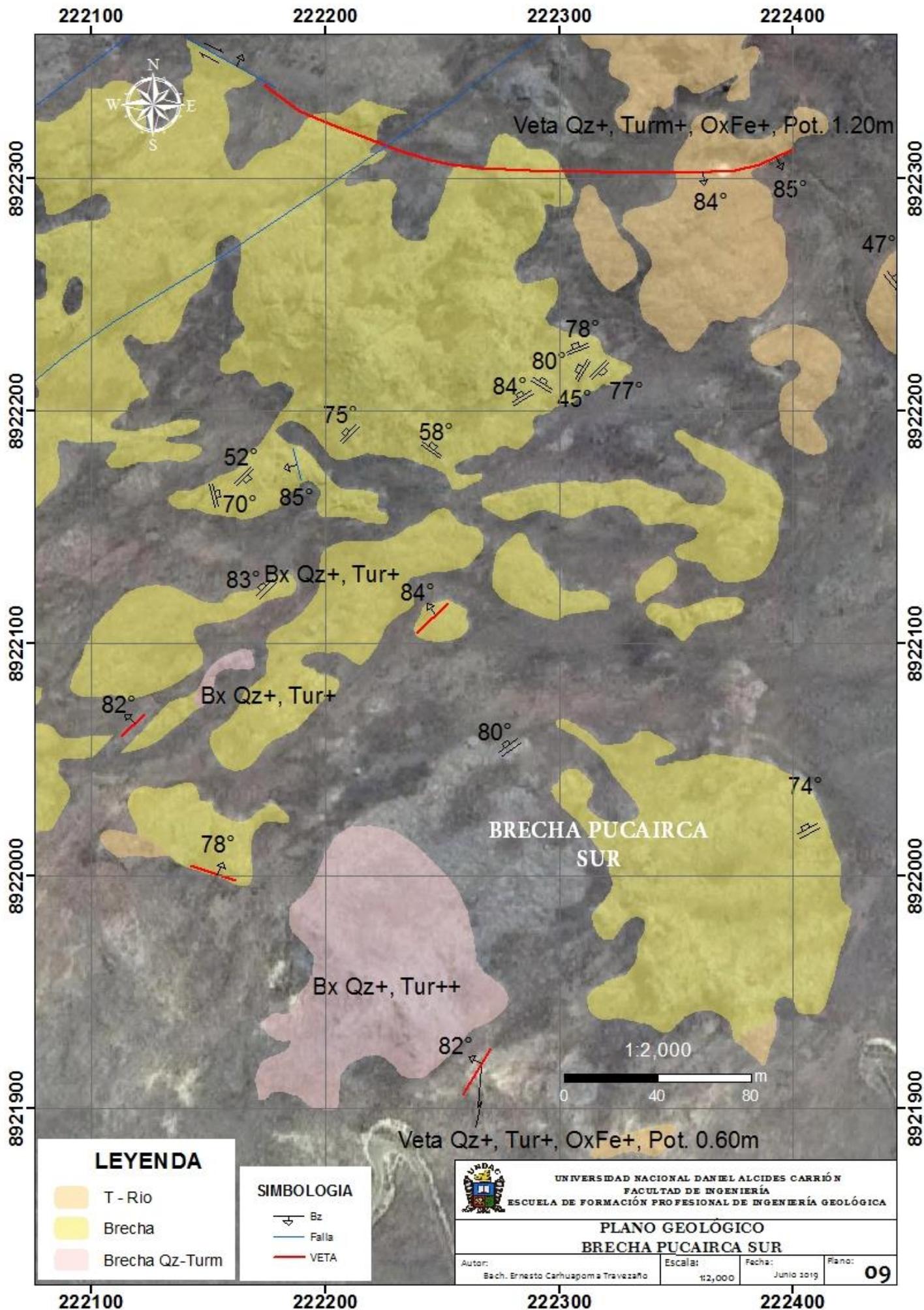
La parte central del tubo se encuentra localizado en las coordenadas U.T.M.: 8'921,200 N y 222,300 E.

Tiene una extensión de 250m x 120m.

Presenta clastos monomícticos soportados por la matriz de turmalina, conformados por tobas riolíticas subangulares.

Los clastos presentan una alteración sericítica y cavidades originadas por la lixiviación de la pirita.

- Clasificación - Brecha Hidrotermal



**LEYENDA**

- T - Rio
- Brecha
- Brecha Qz-Turm

**SIMBOLOGIA**

- Bz
- Falla
- VETA



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**PLANO GEOLÓGICO  
 BRECHA PUCAIRCA SUR**

|   |                    |                      |                     |
|---|--------------------|----------------------|---------------------|
| Autor:<br>Bach. Ernesto Carhuapoma & Travezzaño | Escala:<br>1:2,000 | Fecha:<br>Junio 2019 | Plano:<br><b>09</b> |
|---|--------------------|----------------------|---------------------|

#### **4.7.6. Brecha Pucairca Mina Diez Hermanos**

Se encuentra aflorando en el sector Norte de Pucairca. Cabe mencionar que la brecha forma parte de la caja de la Mina 10 Hermanos, donde las labores se circunscriben al borde de la brecha y al interior de esta. La brecha se encuentra a una altitud de 4,600 metros sobre el nivel del mar. La parte central del tubo se localiza en las coordenadas U.T.M.: 8'922,570 N y 222,480 E y tiene una dimensión de 270m x 150m de forma ovaloide.

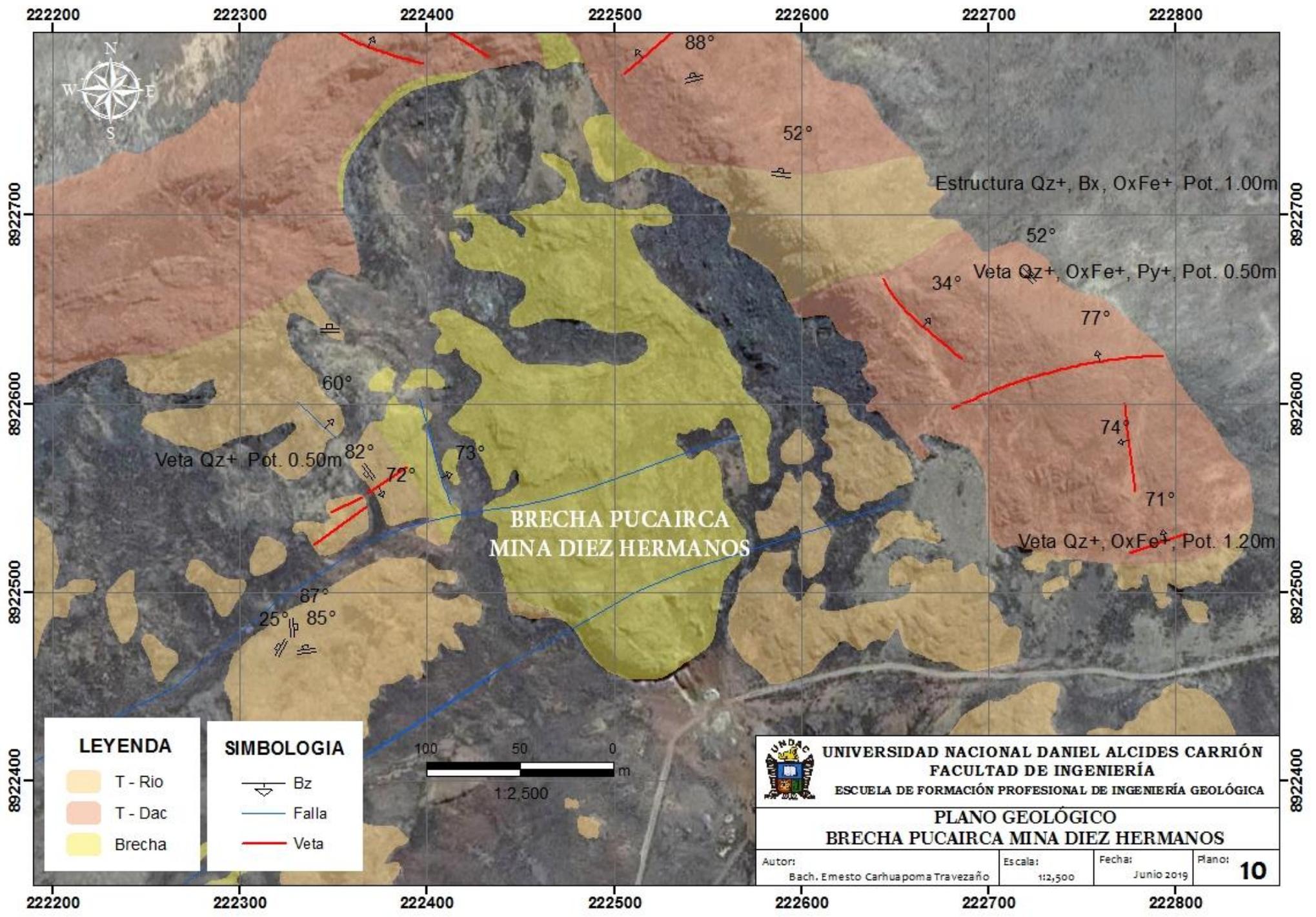
La brecha presenta clastos monomícticos compuestos por tobas riolíticas angulosas a subangulosas. La matriz está compuesta por tobas riolíticas molidas, cuarzo y presencia aislada de turmalina.

Los clastos presentan alteración hidrotermal de cuarzo-sericita.

En la parte central la distribución de los clastos es de tipo "rompecabeza" y en los bordes la distribución es imbricada.

En general la brecha es soportada por los clastos de tamaños variables (0.05m a 0.80m).

- Clasificación: Brecha Hidrotermal (crackle)

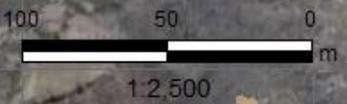


**LEYENDA**

|  |         |
|--|---------|
|  | T - Rio |
|  | T - Dac |
|  | Brecha  |

**SIMBOLOGIA**

|  |       |
|--|-------|
|  | Bz    |
|  | Falla |
|  | Veta  |



|  |   |            |           |
|--|---|------------|-----------|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN |            |           |
|  | FACULTAD DE INGENIERÍA                      |            |           |
| ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA |   |            |           |
| <b>PLANO GEOLÓGICO</b>                                   |   |            |           |
| <b>BRECHA PUCAIRCA MINA DIEZ HERMANOS</b>                |   |            |           |
| Autor:   | Escala:                                     | Fecha:     | Plano:    |
| Bach. Ernesto Carhuapoma Travezaño                       | 1:2,500                                     | Junio 2019 | <b>10</b> |

#### 4.8. RELACIÓN DE LAS BRECHAS CON LA MINERALIZACIÓN

| BRECHA GIOCONDA  | BRECHA PUCAIRCA  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>❖ Se expone a una altitud promedio de 4,650 metros sobre el nivel del mar y con una extensión de 800m x 600m.</li><li>❖ <b>Geológicamente</b> presenta rocas volcánicas, subvolcánicas y metasedimentos que corresponden al Grupo Calipuy de edad Terciario Inferior a Medio. En los bordes SW y S del área ocurren lavas dacíticas y aglomerados volcánicos de composición intermedia a ácida, dichas rocas se presentan frescas a débilmente propilitizadas con presencia de epidota en las zonas de contacto con el tubo de brecha y metasedimentos.</li><li>❖ Se <b>caracteriza</b> por presentar 4 tubos de brecha intrusiva hidrotermal, siendo la más importante por sus características prospectivas la brecha Gioconda Central.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>❖ Se expone a una altitud promedio de 4,550 metros sobre el nivel del mar y con una extensión de 1,000m x 800m.</li><li>❖ <b>Geológicamente</b> presenta una litología variada de tobas de composición andesítica a riolítica, tobas aglomerádicas y rocas subvolcánicas intrusivas de composición andesítica y dacítica. Los cuerpos subvolcánicos intrusivos se restringen a las partes topográficamente más bajas, dichas rocas presentan fenocristales de plagioclasas y cuarzo. Estos presentan una alteración hidrotermal de silicificación, mientras que la sericitización está relacionada a los contactos con venillas de cuarzo.</li></ul> |

Estos tubos en sectores aislados están afectados por venillas de cuarzo y turmalina que afectan tanto a la matriz como a los clastos.

- ❖ Hay **estructuras** tipo stockwork de cuarzo y limonitas de poco desarrollo y aisladamente existen fracturas abiertas rellenos parcialmente con cuarzo cristalizado (drusas) y otras cavidades lixiviadas.
- ❖ **Estructuralmente** ocurren 2 fallas geológicas de tamaño kilométrico con orientación NW-SE y NE-SW que controlan las estructuras mineralizadas y probablemente el emplazamiento de los tubos de brecha ya que tienen un alineamiento NE-SW.  
Cabe destacar la presencia de vetas y mantos puestos en evidencia por la existencia de labores antiguas que fueron explotadas por Ag, Cu, Pb y Zn. Las vetas son de 0.5 a 1.5m de ancho con rumbo S60°W y buzamiento subvertical y longitud hasta 100m.
- ❖ Los **metasedimentos** están silicificados y piritizados; en este sector la alteración hidrotermal de cuarzo-

- ❖ En la parte central hay ocurrencia de tobas andesíticas y tobas aglomerádicas. Las tobas andesíticas presentan silicificación y piritización, mientras que las tobas aglomerádicas se presentan frescas.
- ❖ En el borde Norte y Oeste hay ocurrencias de una gruesa secuencia de pseudoestratificaciones de tobas riolíticas con rumbo N45°W y buzamiento 20° NE, las que presentan una alteración propilítica con disseminaciones y venillas de pirita mayormente oxidadas a limonita.
- ❖ Se **caracteriza** por presentar 6 tubos de brecha intrusiva hidrotermal con dimensiones variables, siendo las más importantes las que se encuentran en el sector Norte (Mina 10 Hermanos).

sericita está relacionado a la presencia de venillas de cuarzo.

❖ La **brecha Gioconda Central** tiene una dimensión de 300m x 150m, los clastos son polimícticos compuestos de lavas dacíticas (silicificados y sericitizados con sectores aislados con argilitización débil), calizas y clastos aislados de cuarcitas; la matriz está silicificada y con diseminaciones de turmalina.

❖ **Minerales** existentes en el área de Gioconda: esfalerita, calcopirita, galena, arsenopirita, pirita, cuarzo, turmalina, epidota, sericita, malaquita, limonita, hematita y jarosita.

#### **Resultados Geoquímicos:**

El muestreo de roca se realizó siguiendo el rumbo de las estructuras principales NW-SE; el muestreo fue sistemático, total de 153 muestras.

❖ **Au** - 24 muestras con valores de 83 ppb a 973 ppb, correspondiendo el valor más alto a la brecha Gioconda Central con una dimensión de 300m x 150m.

❖ **Ag** - 29 muestras con valores de 10 ppm a 96 ppm.

❖ La **brecha de la Mina 10 Hermanos** tiene una dimensión de 270m x 150m presenta clastos de tobas riolíticas angulosas con alteración cuarzo- sericita, la matriz está conformada por cuarzo; predominan los clastos sobre la matriz, y en los bordes hay indicios de pátinas de óxidos de cobre (crisocola y calcantita).

#### **Resultados Geoquímicos:**

El muestreo de roca se realizó siguiendo las estructuras principales; el muestreo fue sistemático, total de 175 muestras.

❖ **Au** - 13 muestras con valores de 84 ppb a 1,790 ppb, muestras que corresponde a un sector con influencias de vetillas de cuarzo, limonitas y turmalina en tobas riolíticas.

- ❖ **Cu** - 17 muestras con valores de 76 ppm a 264 ppm, la distribución tiene una orientación NE - SW en un área de 600m x 300m.
- ❖ **Pb** - 38 muestras, el sector Sur con valores de 936 ppm a 2.988 ppm la mineralización de rumbo NW, brecha Gioconda Central con valores de 261 ppm a 961 ppm.
- ❖ **Zn** valores de 357 ppm a 2,661 ppm.
- ❖ **As** – 58 muestras con valores de 2,254 ppm a 9,159 ppm, presentan una anomalía fuerte en la brecha Gioconda Central.
- ❖ **Ag** - 9 muestras con valores de 10 ppm a 27 ppm, probablemente relacionada a venillas de cuarzo-turmalina y óxidos de fierro, tanto en las brechas silicificadas, sericitizadas como en las tobas riolíticas.
- ❖ **Cu** - 36 muestras con valores de 73 ppm a 1,330 ppm.
- ❖ **Pb** - 4 muestras con valores de 623 ppm a 1,320 ppm.
- ❖ **Zn** - 5 muestras con valores de 345 ppm a 515 ppm.
- ❖ **As** - 17 muestras con valores de 856 ppm a 9,850 ppm, correspondiendo al valor más alto al sector de la “Brecha 10 Hermanos”.

## CONCLUSIONES

- ✓ La Brecha Gioconda cuenta con un área aproximado de 800m x 600m con mayor intensidad de silicificación y sulfuros. Brecha intrusiva hidrotermal, tobas y lavas andesíticas a dacíticas con alteración propilítica y cuarzo-sericita, afectadas por venillas de cuarzo y óxidos de hierro, metasedimentos lacustrinos silicificados y piritizados.
- ✓ La Brecha Pucairca cuenta con un área aproximado de 1 000m x 800m con Tobas riolíticas a riolíticas con diseminación abundante de pirita y oxidación fuerte, aisladamente brechas hidrotermales con matriz de cuarzo-turmalina y clastos riolíticos silicificados de naturaleza tobácea.
- ✓ La Brecha Pucairca Mina 10 Hermanos, presenta clastos monomícticos compuestos por tobas riolíticas angulosas a subangulosas. Su alteración característica es cuarzo-sericita. Su textura es de tipo rompecabeza y en sus bordes es imbricada. La brecha presenta valores geoquímicos anómalos en Au, Cu.
- ✓ La Brecha Gioconda se puede definir como una zona con presencia de Au y Ag. La alta concentración de As indica que en este sistema hidrotermal el Au está acompañado de la arsenopirita, pirita y cuarzo.
- ✓ La Brecha Pucairca presenta intensa piritización y esto sería explicado por la presencia de cuerpos subvolcánicos de naturaleza andesítica y dacítica que provocaron una actividad termal en contacto con gruesas secuencias de rocas volcánicas.
- ✓ Las estructuras principales favorables a la mineralización en las brechas Gioconda y Pucairca serian: vetas, zonas de venillas, tubos de brecha y stockworks.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda profundizar las labores en la Brecha Gioconda, debido a que la zona superficial que nos indica una zona de oxidación y en profundidad que debe incrementarse los valores del Au, Ag, Cu y Zn.
- ✓ Se recomienda hacer perforaciones interceptando la dirección de los metasedimentos contacto con las brechas para obtener las dimensiones de las brechas.
- ✓ Se recomienda realizar secciones transversales cada 50 m para definir las alteraciones y el tipo de mineralización que se encuentra.
- ✓ Se recomienda hacer un análisis estructural a las Brechas de Gioconda y Pucairca para determinar si tienen relación con las fracturas tensionales de cizalla del sistema "Falla Santa".
- ✓ Se recomienda realizar más muestreos de roca en canal, para determinar con los datos geoquímicos si existe una buena correlación con As, Sb y Cu.

## BIBLIOGRAFIA

1. ARENAS F., MARIO (1995)- General Reconnaissance of the Auriferous Possibilities in the Mining Properties of Compañía Minera Alianza S.A.
2. CABOS R., OJEDA M.J. (1975)- Estudio Microscópico y espectrométrico en la Mina Hércules.
3. CALDAS V. J. (1968) - Geología de la Mina Collaracra.
4. COBBING J., SANCHEZ A., MARTÍNEZ V. y ZARATE O. (1996) - Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca; Boletín N°76, serie A: Carta Geológica Nacional.; INGEMMET. Lima.
5. COSSIO AURELIO (1997) - Geología del Área del Proyecto Alianza - Aija-Recuay Dpto. Ancash.
6. DIAZ B. N. (1993) - Estudio Geológico Complementario del Area Pucará o Pucairca.
7. HUDSON C., MOLINA J. y GIL E. (1975)- Estudio Geológico del Distrito Minero de Ticapampa y de la Mina Hércules, Para la Compañía Minera Alianza S.A. Lima Unplished Report.
8. JEMIELITA RICHARD (1997)- A Report on the Compañía Minera Alianza S.A., Concessions, Ticapampa- Aija Mining District, Department of Ancash- Perú for Billiton Exploration and Mining Perú BV.
9. ROBLES I. SANCHEZ C. VELITO C. (1997) Informe - Exploraciones Realizadas en el Proyecto Alianza Joint Venture. Lima Unpublished Report.
10. TRURNIT P, FESEFELDT. K and STEPHAN S. (1982)- A Caldera of Neogene Age and Associated Hydrothermal Ore Génesis.

## ANEXOS



**Foto N°1.** Brecha Gioconda con coordenadas UTM: 224460 E, 8920550 N. clastos de shingle breicce de toba dacítica, con matriz de turmalina, pirita diseminada y óxidos de hierro.



**Foto N°2.** Brecha Pucairca con coordenadas UTM: 222470 E, 8922480 N. clastos de shingle breccia y brecha mosaico de toba andesítica alterada con matriz de turmalina, pirita y drusas de cuarzo, óxidos de hierro.



**Foto N°3.** Brecha Gioconda con coordenadas UTM: 224442 E, 8920569 N. clastos de toba andesítica de 5 a 10cm alterada con matriz de turmalina y óxido de hierro (limonita, hematita), pirita y drusas de cuarzo.



**Foto N°4.** Brecha Gioconda con coordenadas UTM: 224506 E, 8920564 N. zona de imbricación en la parte marginal.



**Foto N°5.** Brecha Pucairca con coordenadas UTM: 222042 E, 8922211 N. presencia de stockwork de venillas de cuarzo, limonita, hematita que afectan las tobas riolíticas y dacitas.



**Foto N°6.** Brecha Gioconda con coordenadas UTM: 224611 E, 8920630 N. metasedimento con diseminación de pirita, óxidos de hierro.



**Foto N°7.** Brecha Gioconda con coordenadas UTM: 224509 E, 8920608 N. toba andesítica con sheeted vein de pirita y turmalina, óxido de hierro.



**Foto N°8.** Brecha Pucairca con coordenadas UTM: 222170 E, 8922281 N. clastos de toba riolítica y dacítica con imbricación.