

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



***“DOMOS, DIATREMAS Y PIROCLÁSTOS DEL  
COMPLEJO VOLCÁNICO CHUCAPACA, EVIDENCIAS  
DE SISTEMAS EPITERMALES, MOQUEGUA – PERÚ”***

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTADO POR  
FERNANDO REMIGIO JULIÁN**

**ASESOR  
MSc. Ing. DAVID ROLANDO ROJAS CABALLERO**

**LIMA – PERÚ**

**2012**

*(DICTAMEN FINAL DE TESIS)*

El último día en la vida de Adán García  
lo halló como todos los otros de su pasado:  
soñando ganarse el "Gordo" en la Lotería,  
los hijos y la mujer durmiendo a su lado.  
Adán salió de su casa, al mediodía,  
después de una discusión muy acalorada:  
su esposa quería pedirle plata a los suegros,  
y Adán besaba a sus hijos mientras gritaba:  
*"Esto se acabó, vida,  
La ilusión se fue, vieja,  
y el tiempo es mi enemigo.  
Y en vez de vivir con miedo, mejor es morir sonriendo  
con el recuerdo vivo".*

**Tema musical Adán García de Rubén Blades.**

*"Para trabajar en este negocio y creo que  
también para cualquier momento de la vida,  
solo debes tener..... PACIENCIA DE PESCADOR,  
amigo"*

**Trabajador de las rutas del Perú**

*A Dios porque nunca me dejaste solo;  
A mi madre Teófila, por enseñarme a dar mis  
primeros pasos en cada etapa de mi vida, por  
darme luz y abrigo en mis noches de lucha;  
A mi padre Teodoro, tu disciplina y motivación  
pusieron en mí el objetivo de mi vida;  
A mis hermanos Alain, Oskar, Shirley, Kelly y  
Diana, por cada consejo que escuché y miré,  
porque nunca se me olvidaran de mi mente y de  
mi piel;  
A mis sobrinos, Franco y Fabiana, me hicieron  
volver a sentir el ímpetu y la alegría que nunca  
se debe perder de un niño.*

*Al amor de mi vida mi esposa Karen, por los  
momentos que te robe y que debí estar a tu  
lado, por enseñarme una vida de alegrías.  
A mi bebe por hacerme creer en la magia de la  
vida y darme cada día muchas sorpresas y  
también, a sus dos amiguitos que nos  
acompañan.*

## AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer de manera muy especial al Ing. Matt Ducsi, Gerente de Exploraciones de Minera GoldFields Perú S.A. y al Dr. César Vidal Cobián, Gerente de la División de Exploraciones de Compañía de Minas Buenaventura S.A.A., por brindarme las facilidades para el desarrollo de este proyecto.

A mi amigo Rubén, por el apoyo, consejos y recomendaciones en mi vida personal, laboral y por las oportunidades en cada momento del camino andado.

A los amigos geólogos del Proyecto Chucapaca, Minera Canteras del Hallazgo SAC, Luis, Elena, Shirley, Regina, Rafael, Lisseth, Oscar, Jair, Alex y Ubaldo por su apoyo constante en el desarrollo de este proyecto y por sus sugerencias incansables.

Al Dr. Peter Dunkley por su tiempo, dedicación y conocimientos, por poder enmarcar este proyecto en el contexto real y científico; a la Dra. Miriam Mamani, Ing. Jorge Quispe Cangana y Ing. Rildo Rodríguez Mejía, por su apoyo con sus conocimientos y tiempo en temas de este Proyecto.

Al Dr. Rolando Carrascal Miranda y Ing. Jorge Humberto Paredes Ángeles, asesores de mi alma mater, por sus recomendaciones y dedicación a seguir educando a nuevas mentes para el conocimiento de nuestro país y el mundo.

En especial, a Ronald, Zenón, José, Ober, Max, Guzmán, Percy, Joel, Guillermo, Alejandro, Ricardo, Fernandote y muchos otros amigos de años y con alma joven, por ayudarme en la lucha constante de llegar a recolectar los datos necesarios para este trabajo.

A los miembros de las Comunidades Campesinas de Corire y Chucapaca por permitirme ingresar a su casa, como invitado especial y poder entender desde su pensamiento, como fue la evolución mística del complejo volcánico.

A Susy, Yvanna y Alex de Servimax, por su paciencia y sugerencias en ordenar, editar este trabajo.

## CONTENIDO

### RESUMEN

#### CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

	<u>Página</u>
1.1 Introducción.....	02
1.1.1 Propósito del estudio .....	02
1.1.2 Limitaciones del estudio.....	02
1.2 Ubicación y accesibilidad.....	03
1.3 Objetivos.....	04
1.4 Metodología del Trabajo.....	04
1.5 Propiedad Minera.....	05
1.6 Trabajos anteriores.....	06
1.7 Historia reciente del Proyecto.....	07

#### CAPITULO II: CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Introducción.....	15
2.2 Trabajo de campo.....	16
2.2.1 Objetivo.....	16
2.2.2 Procedimientos.....	16
2.3 Estratigrafía.....	18
2.3.1 Grupo Yura.....	18
2.3.2 Formación Murco.....	19
2.3.3 Grupo Puno.....	22
2.3.4 Grupo Tacaza.....	22
2.3.4.1 Formación Pichu.....	23
2.3.5 Formación Maure.....	23
2.3.6 Grupo Sillapaca.....	26
2.1.6.1 Fase Efusiva.....	27
2.1.6.2 Fase Volcanoclástica.....	28
2.1.6.3 Correlación y edad relativa del Complejo volcánico Chucapaca.....	31
2.3.7 Grupo Barroso.....	33
2.4 Actividad magmática.....	36
2.4.1 Vulcanismo Tacaza.....	36
2.4.2 Vulcanismo Maure e intra-Maure.....	37

**CONTENIDO (Continuación)****CAPITULO III: CONTEXTO ESTRUCTURAL**

3.1	Introducción.....	40
3.2	Trabajo de campo.....	40
	3.2.1 Objetivo.....	40
	3.2.2 Procedimientos.....	40
3.3	Fundamento Teórico y Método de estudio.....	42
	3.3.1 Interpretación de imagen-ortofoto.....	42
	3.3.2 Validación de lineamientos en campo.....	42
	3.3.3 Medición de datos cinemáticos.....	43
3.4	Análisis gráfico de Fallas.....	43
	3.4.1 Relación geométrica de fallas en el modelo de cizallamiento.....	43
	3.4.2 Plano nodales.....	44
3.5	Diagrama de rosas.....	45
3.6	Cronología absoluta y relativa.....	45
3.7	Análisis estructural de las fallas en el Complejo Volcánico Chucapaca-SW.....	46

**CAPITULO IV: ARQUITECTURA, GEOQUÍMICA Y EVOLUCIÓN DE LOS DOMOS**

4.1	Introducción.....	56
4.2	Trabajo de campo.....	57
	4.2.1 Objetivo.....	57
	4.2.2 Procedimientos.....	58
4.3	Reconocimiento de los centros dómicos.....	59
4.4	Componentes volcánicos.....	60
	4.4.1 Fase Efusiva (flujos de lava).....	60
	4.4.1.1 Facie coherente lava.....	61
	4.4.1.2 Facie autoclástica.....	61
	4.4.1.3 Facie volcanoclástica.....	62
4.5	Depósitos Superficiales.....	62
4.6	Características petrográficas.....	63
4.7	Composición de elementos mayores y afinidad geoquímica.....	63
	4.7.1 Diagrama TAS y series sub alcalinas.....	63
	4.7.2 Diagrama mol Al (Ca + Na + k) vs Al/(Na + k).....	64
	4.7.3 Diagrama FeO total y MgO vs SiO <sub>2</sub> .....	64

**CONTENIDO (Continuación)**

4.8 Tierras raras (REE) en el Complejo Volcánico Chucapaca.....	64
4.8.1 Aracnogramas.....	64
4.8.1.1 Anomalía de Nb, Ta, Eu y Zr.....	65
4.8.2 Diagrama Ce/Y vs Ce.....	65
4.8.3 Diagrama Sr/ Y vs Y.....	66
4.8.4 Diagrama Sr/ Y vs Eu/Eu*.....	66
4.9 Brechas.....	75
4.9.1 Introducción.....	75
4.9.2 Brechas freáticas.....	76
4.9.3 Brechas freatomagmáticas.....	77
4.9.4 Brechas de matriz intrusiva.....	78
4.10 Evolución magmática del complejo volcánico.....	87
4.11 Comparación del vulcanismo del Complejo Volcánico Chucapaca con el vulcanismo regional en el Sur del Perú.....	88

**CAPITULO V: ALTERACION HIDROTERMAL Y SUPÉRGENA**

5.1 Introducción.....	91
5.2 Trabajo de campo.....	91
5.2.1 Objetivo.....	91
5.2.2 Procedimientos.....	92
5.3 Principales alteraciones hidrotermales.....	92
5.3.1 Alteración Vuggy sílica (Sílice residual).....	92
5.3.2 Alteración Argílica avanzada.....	93
5.3.3 Alteración Argílica intermedia y argílica.....	94
5.4 Alteración supérgena.....	94
5.4.1 Oxidación zona norte.....	94
5.4.2 Oxidación zona oeste.....	95

**CAPITULO VI: EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA**

6.1 Introducción.....	107
6.2 Trabajo de campo.....	107
6.2.1 Objetivo.....	107
6.2.2 Procedimientos.....	107
6.3 Metodología.....	109
6.3.1 Tipos de muestreos.....	109
6.3.1.1 Muestreo en superficie.....	109
6.3.1.2 Muestreo de sondajes.....	110



**CONTENIDO (Continuación)**

A Sondajes diamantinos.....	110
B Sondajes Aire reverso.....	110
6.3.2 Control de muestreo geoquímico.....	110
6.2.2.1 Control de muestras de superficie.....	110
6.2.2.2 Control de muestras de sondajes.....	110
6.3.3 Análisis geoquímico.....	111
6.3.3.1 Muestras de superficie.....	111
A Asociación geoquímica Au-Se.....	112
B Asociación geoquímica Au-Se (Te).....	113
C Asociación geoquímica Ag-Pb-Zn.....	114
D Asociación geoquímica Zn (Pb).....	114
6.4 Interpretación y elementos guías.....	115
<b>CAPITULO VII: MINERALIZACIÓN</b>	
7.1 Introducción.....	119
7.2 Mineralización Aurífera.....	119
7.2.1 Cima del cerro Chucapaca.....	120
7.2.2 Cuello de Domo.....	121
7.3 Mineralización Polimetálica.....	125
CONCLUSIONES.....	128
RECOMENDACIONES.....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
APÉNDICES.....	136

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1.1	Plano de ubicación del Proyecto Chucapaca en el departamento de Moquegua, Sur del Perú.....	10
1.2	Plano del área de estudio en el complejo volcánico Chucapaca.....	11
1.3	Plano de ocurrencia mineral en contexto Regional .....	11
1.4	Plano de ocurrencia mineral en contexto Distrital .....	12
1.5	Plano del Complejo Volcánico Chucapaca-SW y trabajos anteriores.....	12
1.6	Plano de concesiones mineras (2001-2009).....	13
2.1	Plano geológico regional del área de estudio.....	34
2.2	Columna estratigráfica regional del área de estudio.....	35
3.1	Modelo de cizalla (Waldron, 2005).....	44
3.2	Proyección de planos nodales.....	44
3.3	Diagrama de rosas de fallas en el complejo volcánico Chucapaca.....	45
3.4	Afloramientos de centros volcánicos en el sistema de fallas Condoroma-Caylloma.....	47
3.5	Plano de diedro y nodal en el sistema sinestral-normal.....	48
3.6	Plano de afloramiento de fallas en el sistema sinestral-normal.....	49
3.7	Plano de diedro y nodal en el sistema dextral-normal.....	50
3.8	Plano de afloramiento de fallas en el sistema dextral-normal.....	50
3.9	Plano de diedro y nodal en el sistema dextral-inverso.....	51
3.10	Plano de afloramiento de fallas en el sistema dextral-inverso.....	52
3.11	Interpretación cinemática de la fallas en el área de estudio.....	54
4.1	Plano de ubicación de los centros dómicos en el complejo volcánico.....	68
4.2	Plano geológico (detalle) del área de estudio.....	69
4.3	Características petrográficas y geoquímica de elementos mayores.....	72
4.4	Geoquímica de elementos trazas – Diagrama spider.....	73
4.5	Geoquímica de elementos trazas (continuación).....	74
4.6	Plano de brechas singenéticas relacionadas al emplazamiento del domo y epigenéticas.....	79
4.7	Plano de brechas en la zona Katrina Este.....	81
4.8	Plano de brechas en la zona Katrina y Cuello de domo.....	83
4.9	Plano de brechas en la zona del Cerro Chucapaca.....	85
5.1	Plano de alteraciones hidrotermales y supérgena en el área de estudio.....	97
5.2	Plano de alteración vuggy silica y argílica avanzada.....	98
5.3	Plano de alteración supérgena.....	103
6.1	Plano de anomalías geoquímicas en el complejo volcánico Chucapaca-SW.....	117
7.1	Plano de contornos anómalos de Au y su relacionados a brechas.....	122
7.2	Plano de la zona del Cerro Chucapaca (mineralización).....	123
7.3	Plano de las zonas Katrina y Cuello de domo y Katrina (mineralización).....	124
7.4	Plano de la zona Katrina Este (mineralización).....	126

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

<u>Foto</u>		<u>Página</u>
2.1	Rocas del Grupo Yura.....	21
2.2	Rocas del Grupo Tacaza (Fm. Pichu) y Grupo Maure.....	25
2.3	Vulcanismo Sillapaca - Complejo Volcánico Chucapaca-SW.....	29
2.4	Panorámica de facie volcanoclástica (Bloques y cenizas) .....	30
2.5	Brecha-conglomerado pre-emplazamiento del complejo volcánico.....	33
2.6	Magmatismo en el área de estudio.....	38
3.1	Indicadores cinemáticos.....	43
4.1	Panorámica de los centros dómicos del Complejo Volcánico Chucapaca-SW.....	67
4.2	Componente volcánico – Facie efusiva.....	70
4.3	Componente volcánico – Facie efusiva (continuación) y volcanoclástica.....	71
4.4	Brechas freáticas singenéticas.....	80
4.5	Brechas freáticas epigenéticas.....	82
4.6	Brechas freatomagmáticas.....	84
4.7	Brechas de matriz intrusiva.....	86
5.1	Alteración vuggy silica.....	99
5.2	Alteración argílica avanzada.....	100
5.3	Estudio microscópico (KAT10-03) .....	101
5.4	Estudio microscópico (KAT10-09) .....	102
5.5	Alteración supérgena – Zona Katrina Este.....	104
5.6	Alteración supérgena – Zona Katrina.....	105

## LISTA DE APÉNDICES

<u>Apéndice</u>		<u>Página</u>
Apéndice I	Datos de edades radiométricas en la zona de estudio (INGEMMET).....	137
Apéndice II	Tabla de datos cinemáticos de fallas.....	138
Apéndice III	Tabla de datos, coordenadas e inclinación de dirección de flujo de los domos de Chucapaca.....	140
Apéndice IV	Análisis de Roca Total (Sillapaca y Tacaza) .....	141
	A.- Data de Laboratorio.....	141
	B.- Data procesada para elementos mayores y menores (Dra. Mamani M.) .....	143
Apéndice V	Estudio Petrográfico de las brechas (Dra. Blackwell J.) .....	145
Apéndice VI	Tabla de datos de minerales de alteración leídos por el equipo TERRASPEC.....	148
Apéndice VII	Tratamiento estadístico de los datos geoquímicos para cálculo del threshold.....	151
	A.- Threshold Au.....	151
	B.- Threshold Ag.....	152
	C.- Threshold Pb.....	153
	D.- Threshold Zn.....	154
	E.- Threshold Se.....	155
	F.- Threshold Te.....	156

## RELACIÓN DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

### SIGLAS

INGEMMET	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
CDH	Empresa Minera Canteras del Hallazgo S.A.C.
REE	Tierras Raras.
UTM	Sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator.
WGS84	Sistema geodésico mundial 1984.
TAS	Diagrama de Alcalis total vs Silica – Clasificación de rocas ígneas.
AFM	Diagrama de $Al(Na_2O+K_2O)+F(0.9xFe_2O_3+FeO)+M(MgO)$ – Clasificación de series.

### UNIDADES DE MEDIDA

Km	Kilometro
m	Metro
cm	Centímetro
ha	Hectárea(s)
ppm	Partes por millón
ppb	Partes por billón
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
Ma.	Millones de años
Monz.	Millones de onzas

### COMPUESTOS

FeO	Óxido ferroso
HCl	Cloruro de hidrógeno
HF	Fluoruro de hidrógeno
H <sub>2</sub> O	Agua
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SiO <sub>2</sub>	Óxido de sílice

### Otros

MgO	Óxidos de magnesio
oxFe	Óxidos de Hierro
oxMn	Óxidos de Manganeseo
pH	Potencial de hidrogeno
Nd-	Isotopo de neodimio
Pb-	Isotopo de plomo
Sr-	Isotopo de estroncio
goe	Goethita
hem	Hematita
jar	Jarosita

### GEOGRÁFICAS

N	Norte
S	Sur
E	Este
W	Norte

### ELEMENTOS QUÍMICOS

Ag	Plata	Zr	Circonio
Al	Aluminio		
As	Arsénico		
Au	Oro		
Ba	Bario		
Bi	Bismuto		
Ca	Calcio		
Ce	Cerio		
Cu	Cobre		
Eu	Europio		
Hg	Mercurio		
K	Potasio		
Mn	Manganeseo		
Na	Sodio		
Nb	Neodimio		
Pb	Plomo		
S	Azufre		
Sb	Antimonio		
Se	Selenio		
Sr	Estroncio		
Ta	Talio		
Te	Teluro		
Y	Itrio		
Zn	Zinc		

## RESUMEN

El presente estudio se enmarca dentro del Complejo Volcánico Chucapaca (Vulcanismo Sillapaca), ubicado al SE del depósito Canahuire (Au-Cu), norte del departamento de Moquegua, entre los 4500 a 5200 msnm. El emplazamiento del complejo de domos riolíticos intruye a secuencias clásticas y calcáreas del Grupo Yura de edad Jurasico medio-Cretáceo inferior, suprayacen secuencias de areniscas microconglomeráticas y lutitas de color verde, rojo violáceo de la Formación Murco, del Cretáceo inferior; Es seguida por el vulcanismo máfico del Grupo Tacaza, representada en la zona por la Formación Pichu, parte superior del Grupo Tacaza del Oligoceno-Mioceno inferior; Al final se deposita los volcanoclásticos lacustrinos del Grupo Maure del Mioceno medio. La intrusión del complejo dómico fue controlada por estructuras formadas anteriormente por la fase tectónica Peruana e Inca, de comportamiento comprensivo, produciendo pliegues y fallas andinas.

En la zona, antes del descubrimiento del depósito Canahuire, Au-Cu (se estima de 5.6Monz en Au *eq.*) no presentaba interés económico, solo trabajos artesanales como Chompicerca, laboreo artesanal por Cu, realizado en estructuras emplazadas en la Formación Pichu (Grupo Tacaza); y en Hentilhuaycco, en el borde norte del complejo volcánico, estructuras polimetálicas cortan las riolitas del complejo, siendo explotadas por Ag,Pb,Zn. A nivel distrital, en torno al poblado de Ichuña, sí ha existido minería más desarrollado, como en el cerro Sayhuani y Vila Vila, cateo de españoles por Ag,Pb,Zn. En el cerro Chucapaca, cerro principal del complejo volcánico, ha sido estudiado desde fines del siglo pasado, por tener condiciones de un ambiente epitermal de alta sulfuración e incipiente mineralización aurífera.

En la zona se presentan intrusiones dómicas controladas por fallas regionales andinas principalmente y con intercepciones por fallas tras-andinas, como segundo control, la cual pertenece el Complejo Volcánico Chucapaca. Las rocas del complejo no han sido datadas en los actuales trabajos. Sin embargo, se ha determinado su cronología relativa con datos de campo, determinando su posición estratigráfica dentro de la columna estratigráfica de la zona de estudio y recopilando data geocronológica de INGEMMET. De la recopilación, dos (2) muestras presentan cronología absoluta cerca al complejo volcánico, la primera ubicada en el techo del Grupo Tacaza superior de  $16.1 \pm 0.3$ Ma (Bellon & Lefevre, 1976) y la segunda, en la Formación Lllallahui de  $8.6 \pm 0.4$ Ma (Martínez & Cervantes, 2003). Estas muestras representan piso y techo, respectivamente del Grupo Maure y por su posición estratigráfica al Complejo Volcánico Chucapaca se le asigna una edad cronológica relativa de 14 a 12Ma, este intervalo conocido como intra-Maure y pertenece al vulcanismo Sillapaca.

La composición riolítica rica en SiO<sub>2</sub> del Complejo Volcánico Chucapaca, genera el interés de entender su evolución genética y relación magmática de su emplazamiento. El estudio de REE permite acercarnos a conocer las condiciones físico-químicas del magmatismo. Se observa anomalías negativas en Nb, Ta y Eu, relación típica con zonas de subducción. Es posible que el magmatismo del complejo volcánico (Sillapaca) es típico de un ambiente de subducción con probable fraccionación en zonas “*mushes*” (Bachmann & Bergantz, 2004), en ambientes cercanos a la superficie.

Los domos del complejo volcánico presenta como estructuras tipo, facies coherentes y autoclástica de las lavas riolíticas, y una facie volcanoclástica producto del ascenso y colapso de la parte externa de los domos, aflora al este como un depósito de bloques y ceniza. La actividad magmática interactúa con las condiciones superficiales (agua freática, agua connata) genera sistemas hidrotermales cerca a superficie, es decir un ambiente epitermal. Las alteraciones vuggy silica, argílica avanzada, argílica y oxidación son típicas de un ambiente de alta sulfuración (HS), presentando geoquímica asociada con las alteraciones hidrotermales y valores de Au-Cu en la zona central y Ag-Pb-Zn en un ambiente distal a los focos.

El emplazamiento de brechas hidrotermales relacionadas a syn-post emplazamiento del complejo volcánico representa el grado de energía y actividad magmático-hidrotermal en la evolución del sistema. Las anomalías geoquímicas en cuatro (4) zonas del sistema asociada a anomalías geofísicas de cargabilidad. Inyecciones tardías de tufisitas con valores auríferos, le dan a la zona un alto valor para las exploraciones.

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Introducción**

### **1.1.1 Propósito del estudio**

El presente estudio tiene como propósito conocer la secuencia de trabajos sistemáticos para estudiar el Complejo Volcánico Chucapaca-SW (complejo volcánico mayor de las rocas que representan al vulcanismo del Grupo Sillapaca). Con ello poder determinar y conocer su evolución genética, su comportamiento litogeoquímico, y reconocer brechas asociadas con la génesis del complejo y la relación de estas a un sistema hidrotermal.

Los estudios asociados a conocer la evolución genética del complejo volcánico, contrastado con los valores geoquímicos de las muestras tomadas ayudaran a conocer la geometría y eventos del Complejo Volcánico Chucapaca-SW; y su relación con un ambiente epitermal posiblemente potencial con mineralización aurífera.

### **1.1.2 Limitaciones del estudio**

En los trabajos de campo se ha reconocido las características geológicas de gran parte de los afloramientos en la zona. El porcentaje de rocas aflorantes es menor al 5% del área total del complejo volcánico.

Para poder ubicar las rocas del Complejo Volcánico Chucapaca en el tiempo geológico, se ha ubicado la unidad dentro de la estratigrafía de la zona, y con ayuda de edades geocronológicas recolectada de unidades litológicas cercanas se ha asignado una edad relativa del complejo.



En el Contexto Estructural, los datos recolectados han sido locales, debido al poco afloramiento de las rocas del complejo volcánico. Los datos cinemáticos tomados presentan mediana confiabilidad y solo representa el tectonismo posterior al emplazamiento.

Se ha realizado el estudio petrográfico de las brechas de la zona, solo con la descripción macroscópica, para determinar aspectos descriptivos, componentes, litofacies y geometría. Los estudios bajo el estudio microscópico no se han realizado.

## **1.2 Ubicación y accesibilidad**

El área de estudio es de 1610ha y presenta las siguientes coordenadas UTM que limitan el área: 332800E a 336300E; 8204300N a 8208900N. Está dentro de la hoja 33-u – Ichuña, de la Carta Geográfica Nacional. Políticamente se encuentra dentro de terrenos superficiales de las Comunidades de Corire y Chucapaca, pertenecientes al distrito de Ichuña, provincia de Sánchez Cerro y departamento de Moquegua; las cotas varían entre 4500 a 5200m.s.n.m.

Se accede vía aérea desde Lima a la ciudad de Juliaca (1h 20m) en el departamento de Puno. Luego en camioneta se toma la carretera asfaltada Puno-Moquegua, desde la ciudad de Juliaca al poblado de Titire, donde se toma la variante al Norte. El camino es una trocha y conduce al poblado de Ichuña. El tiempo desde la ciudad de Juliaca al campamento es de 4 horas aproximadamente. (Figura 1.1).

### **1.3 Objetivos**

- Determinar edades cronológicas relativas de diferentes facies de las rocas volcánicas y sedimentarias de la zona de estudio, para configurar la columna estratigráfica.
- Determinar la arquitectura y estratigrafía del Complejo Volcánico Chucapaca-SW.
- Determinar el posible complejo de domos en el ambiente volcánico y tipificar si son domos de lava, domos exógenos o endógenos, con posible coalescencia.
- Determinar la petrografía y eventos de alteración del magmatismo del Complejo Volcánico Chucapaca-SW, mediante estudios macroscópicos y espectrómetro.
- Determinar si las brechas freatomagmáticas circundante tienen asociación con la génesis de los domos Chucapaca.
- Determinar el Potencial Económico de los Domos del Complejo Volcánico Chucapaca-SW.
- Finalizado el trabajo de investigación obtener el Título en Ingeniería Geológica.

### **1.4 Metodología del trabajo**

Los trabajos de cartografiado geológico se realizaron desde el año 2002 por la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. y en el 2004 por Minera Gold Field S.A. Se uniformizó con el cartografiado a escala 1/1000 que realicé en

el año 2009 con la empresa Canteras del Hallazgo S.A.C. (empresa formada por el *Joint Venture* entre Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. y Minera Gold Field S.A. ese mismo año).

Se ha realizado campañas geofísicas (Polarización inducida y Magnetometría) desde el año 2008 con Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. y se retomaron con otros métodos geofísicos (Gravimetría y Electromagnético) en el año 2009 con Canteras del Hallazgo S.A.C. En el mismo caso, realicé campañas geoquímicas de rocas y suelos en el área de estudio Chucapaca.

La campaña del cartografiado a detalle 1:/1,000, solo lo realicé al SW del Complejo Volcánico Chucapaca. A este *complejo volcánico mayor* se le ha asignado el nombre de Complejo Volcánico Chucapaca-SW donde se recolectaron muestras en afloramientos de interés y especialmente de brechas. (Figura 1.2).

Toda la información generada desde el 2002 se ha utilizado para el desarrollo del presente estudio.

### **1.5 Propiedad Minera**

El área de estudio se encuentra dentro de la concesión minera de la empresa Canteras del Hallazgo S.A.C., formada por el *Joint Venture* de la empresas Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. y Minera Gold Field Perú S.A. en el año 2009.

Canteras del Hallazgo tiene concesionado un total 12700ha, de las cuales 1610ha abarca el área de estudio, dentro de las concesiones Yaretapampa, Chucapaca Norte y parcialmente en Chucapaca Norte 1, Orcori, Orcori 3, Chucapaca 1B y Yaretapampa Sur.

### **1.6 Trabajos anteriores**

En el Contexto Regional, en el siglo XVII se descubre en Puno, la mina San Antonio de Esquilache, con mineralización principalmente en Ag. La minería en Esquilache se formaliza en el siglo XX (1953) con la Compañía de Minas del Perú, subsidiaria de Hochschild, explotando Ag-Zn-Pb. Las últimas campañas de exploración muestra ocurrencias de oro, y en estos días otros prospectos de alta sulfuración está en su fase inicial de exploración e incluye Lloque, Pichacani y Tassa. (Figura 1.3).

En la zona de Santa Lucia (Puno) se conoce desde el siglo XVIII actividad de explotación minera en el depósito Berenguela de Ag-Cu-Mn.

Finalmente ya en el siglo XX se descubre los depósitos de alta sulfuración, con mineralización en Au-Ag, de Santa Rosa y Tucari, ubicadas en el distrito de Aruntani.

En el Contexto Distrital, se han encontrado trabajos mineros a escala pequeña, cerca a la zona de estudio, al sur del poblado Ichuña. Se ha encontrado en Sayhuani actividad en minería aurífera desarrollada en la Época Colonial, al igual que en Mauri y Vila Vila (al Este del poblado de

Ichuña) y a 5km al sureste del Cerro Chucapaca, existe la mina Chompicerca, cateo realizado el siglo pasado. (Figura 1.4).

*En el Contexto Local*, en el borde Norte del Complejo Volcánico Chucapaca-SW, en el Cerro Carhuayuni, se emplazan estructuras polimetálicas ricas en plata y plomo cortando al domo, explotada, en la época Colonial. Al pie de este cerro, en Hentil Huaicco, se ha encontrado restos de posibles copelas, platillos de puruña probablemente utilizados en la etapa de fundición. Al Oeste del Cerro Chucapaca, se encuentra el Cerro Mesaorcco, donde aflora una estructura de baritina explotada en media barreta por los españoles. (Figura 1.5). Inmediatamente al oeste del complejo se encuentra el depósito Canahuire, descubierto por Compañía de Minas Buenaventura S.A.A en el año 2008. El depósito ocurre en el margen de una diatrema, en contacto con las rocas del Grupo Yura. El primer boletín de recursos, publicado en el año 2010, estimó un recurso de 5.6 millones de onzas de Au equivalente. La exploración del depósito continúa y es el primer objetivo de concretar un Proyecto Minero de la empresa minera Canteras del Hallazgo S.A.C. (CDH).

### **1.7 Historia reciente del Proyecto**

*En el Siglo XXI, 2001*, el *Joint Venture* conformado por la empresas Milpo-Simsa y San Ignacio de Morococha, tenía posesión de los denuncios mineros de Clemesi 10 y Clemesi 11 (Total 1600ha). Dichas concesiones cubrían gran parte de la zona de estudio, el consorcio no realizó trabajo

relativamente de interés, las concesiones pierden los derechos mineros en el 2003. En el 2002, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. toma las concesiones mineras de Condorasi 1-3, que bordea a las concesiones Clemesi 10-11, donde realiza cartografiado geológico a escala 1:10,000 y recolección de 161 muestras para análisis geoquímico, también revisa las concesiones Clemesi 10-11 y concluye que las concesiones mineras Condorasi 1-3 presentan la fase distal propilítica de un sistema hidrotermal con sílice masiva y vuggy silica ubicadas en el Cerro Chucapaca, concesiones Clemesi 10-11.

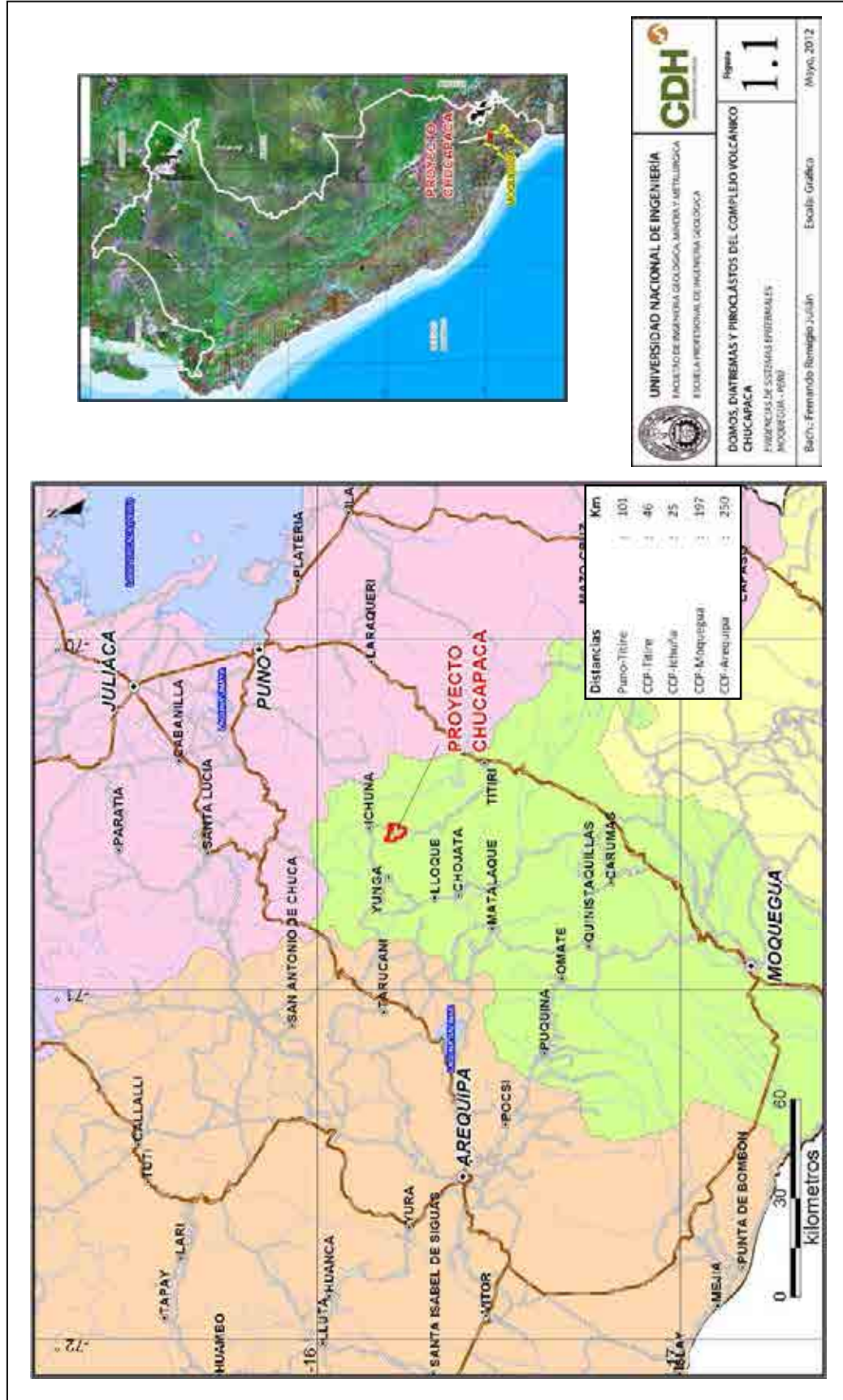
A inicios del 2003, al caducar la toma de la concesión por el *Joint Venture* entre Milpo-Simsa y San Ignacio de Morococha, Minera Gold Fields Perú S.A. solicita los petitorios mineros Yaretapampa y Orcori, enfocado principalmente en la alteración en el Complejo Volcánico Chucapaca-SW. Se realizó el cartografiado geológico a escala 1:10,000 y recolección de 212 muestras en afloramientos con alteración con cuarzo calcedonia (baja temperatura)+alunita+limonitas (pirita), azufre (nativo, cinabrio) asociada con sistemas de vapor (steam heated) todo este sistema fue interpretada de naturaleza de alta sulfuración. (Figura 1.6). Se obtuvo 50 muestras con anomalía en  $Au > 178 \text{ppb}$ , las muestras presentaban también anomalías en Hg, Ba, As, Bi, Sb y S. (Ver Apéndice VII, Threshold Au).

De los trabajos de cartografiado de Minera Gold Fields Perú S.A. se determina realizar un programa de perforación de 10 sondajes de aire reverso (RC), en el Cerro Chucapaca, sumando un total de 2500m perforados, la campaña interceptó zonas sub-económicas en sulfuros, con

rellenos de sílice calcedonia (textura masiva/vuggy)+alunita+arcillas+sulfuros+baritina+cinabrio, en rocas piroclásticas riolíticas. Por estudio al microscopio de minerales opacos. Cristales de enargita, en forma diseminada 5%, se encuentran en la matriz de las microbrechas y la asociación covelita/calcosina rellena venas/fracturas o reemplazamiento secundario. Las mejores intersecciones de esta campaña de perforación son: [242m@0.14g/tAu,1.4g/tAg y 0.04%Cu](#) (CPRC002) y [206m@0.22g/tAu](#) (CPRC003).

Los resultados geoquímicos en la etapa de perforación presentan valores de mineralización sub-económica en oro (<250ppb), Minera Gold Fields Perú S.A. decide ampliar sus concesiones, gestionando un *Joint Venture* con Compañía de Minas Buenaventura S.A.A., para prospectar, ahora, por un posible potencial en mineralización en Ag-Pb-Zn.

En el año 2008 Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. inicia los trabajos de exploración en la zona Katrina y Canahuire con el objetivo de sondear estructuras oxidadas en el área de estudio. En Setiembre del mismo año, se descubre la diatrema Canahuire y mineralización asociado al contacto con el Grupo Yura. A la fecha viene finalizando la etapa de pre-factibilidad del Proyecto Canahuire.




  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**
  
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERIA Y METALURGICA
   
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

---

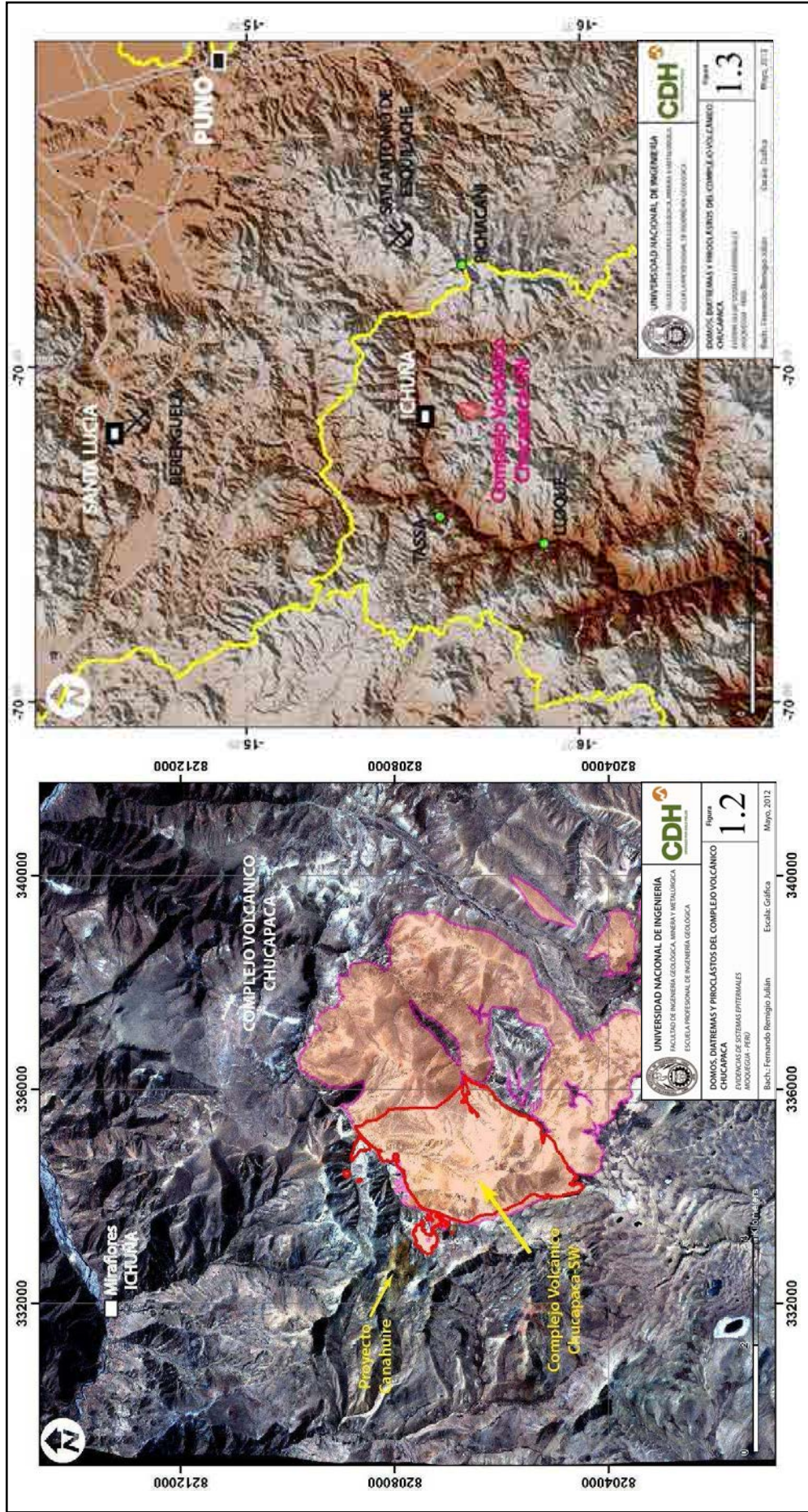
**DOMOS, DINTREMAS Y PIROCLASTOS DEL COMPLEJO VOLCANICO CHUCAPACA**
  
 FUNDAMENTOS DE SISTEMAS ESPERIMENTALES
   
 MOQUEGUA - PERU

---

Bach.: Fernando Remigio Julian
   
 Escala: Grafico
   
 Mayo, 2012

**Figura 1.1-** Plano de Ubicación. El área de estudio pertenece al Proyecto Chucapaca de la empresa minera Canteras del Hallazgo S.A.C. (CDH) y se encuentra al Norte del departamento de Moquegua, provincia Sánchez Cerro, distrito de Ichuña.





**Figura 1.2.-** Plano del área de estudio en el Complejo Volcánico Chucapaca. El estudio del presente trabajo se enfoca en lado SW del complejo volcánico. Este lado ha sido nombrado como *Complejo Volcánico Chucapaca-SW*

**Figura 1.3.-** Plano de ocurrencia mineral en contexto Regional. Las minas polimetálicas en San Antonio de Esquilache y Berenguela en la Época Colonial y los depósitos de Tucari, Santa Rosa y Tassa últimos descubrimientos dan a la zona el interés geológico.

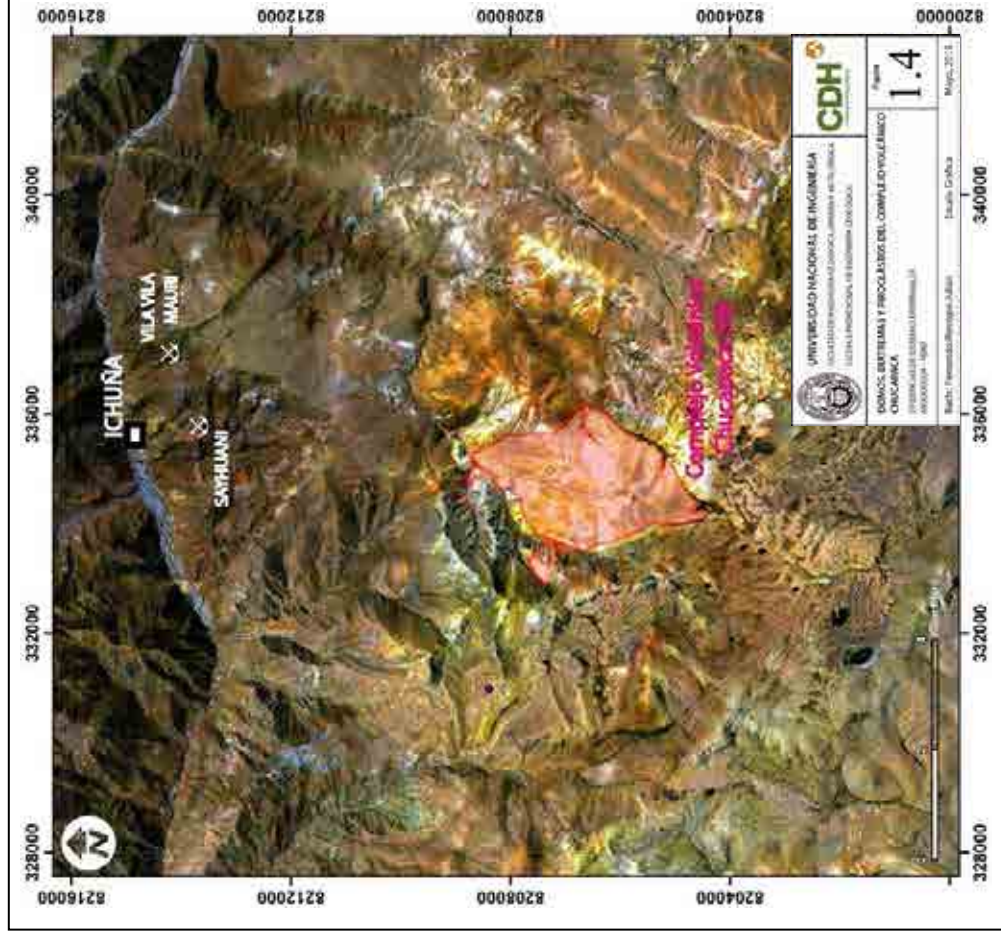


Figura 1.4.- Plano de ocurrencia mineral en contexto Distrital. La zona de Ichuña (Au,Ag) al Norte de Chucapaca han sido cateos de media barreta aún observados en la zona.

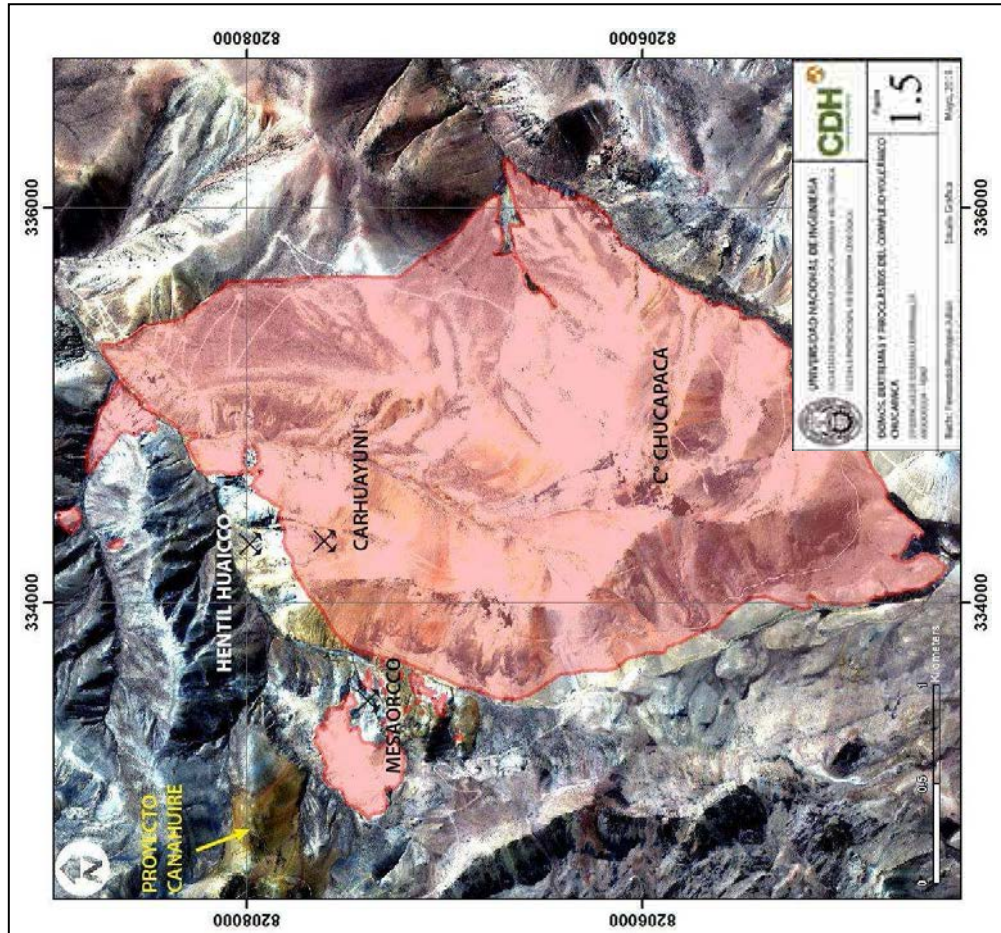


Figura 1.5.- Plano del Complejo Volcánico Chucapaca-SW y trabajos artesanales mineros en las zonas de Carhuayani, Hentil Huayco y Mesaorcco, extrayendo Ag, Pb y Zn a inicios del siglo pasado.

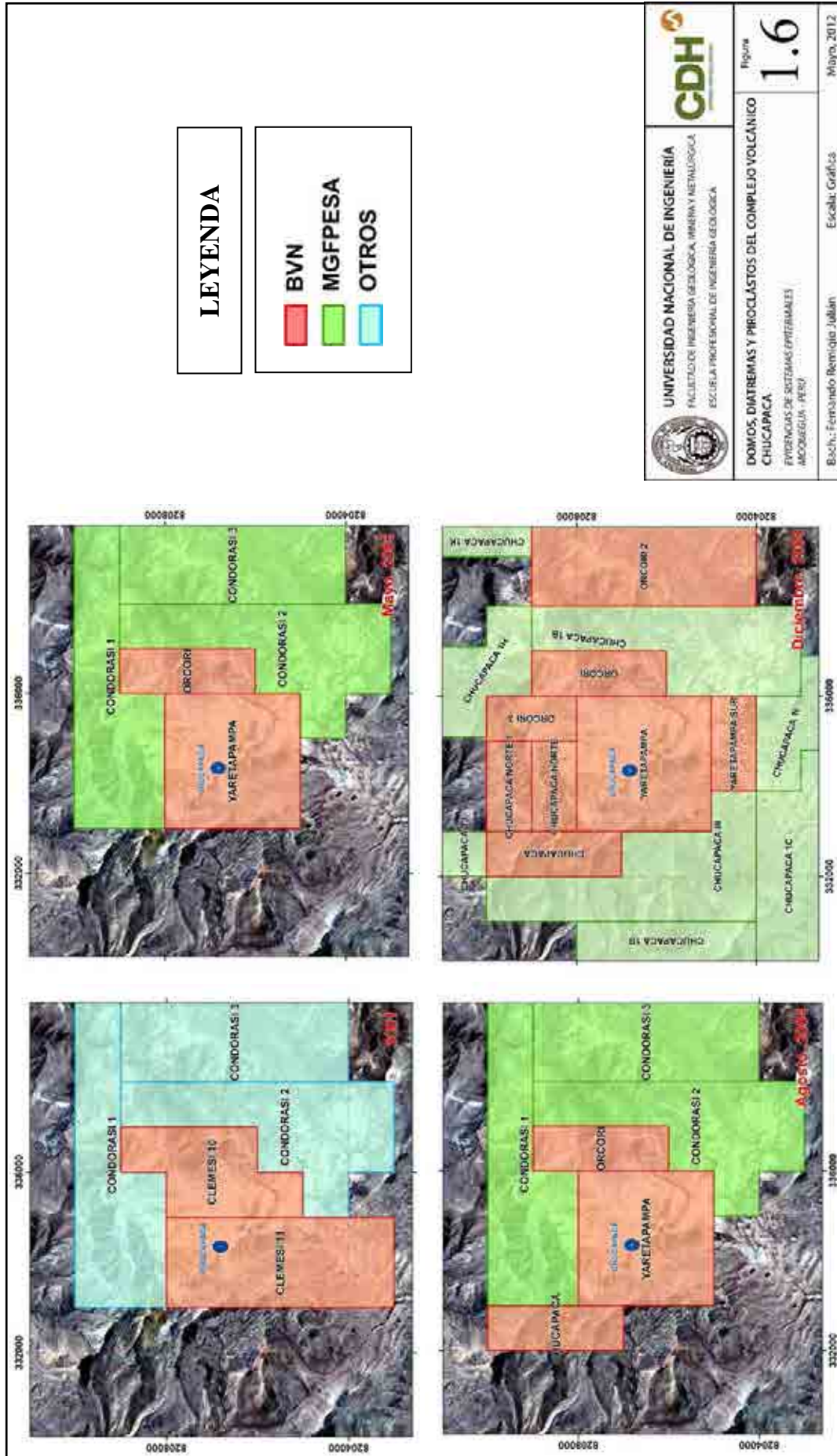


Figura 1.6.- Plano de las concesiones mineras desde el año 2001 a la fecha, el área de estudio se encuentra dentro de la concesión Yaretapama, de Minera Canteras del Hallazgo S.A.C. (CDH), Joint Venture entre Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. y Minera Gold Fields Perú S.A., 2010.

**CAPITULO II**  
**CONTEXTO GEOLÓGICO**

## 2.1 Introducción

El Proyecto Chucapaca se encuentra en el Dominio del Arco principal del Sur del Perú. Este dominio subyace a las discontinuidades de la Cordillera de la Costa y es enteramente la Cordillera Occidental y parte del Altiplano. El Área de Estudio se encuentra en la parte central del Proyecto Chucapaca Regional. En la zona aflora, en forma conspicua, rocas volcánicas del Complejo Volcánico Chucapaca que han sido correlacionadas con el vulcanismo del Grupo Sillapaca, de edad Mioceno medio y están intruyendo a rocas sedimentarias del Grupo Yura, de edad Jurasico medio - Cretáceo inferior.

El Contexto Geológico Regional descrito líneas abajo, se ha tomado en referencia de los siguientes trabajos realizados: *“Geología del Cuadrángulo de Ichuña”* (Marocco et al., 1966) realizado por INGEMMET; *“Estudio de la Evolución Metalogénica de los Andes en el Sur del Perú”* realizado por el departamento de Ciencias Naturales y de Investigaciones ingenieriles del Consulado de Canadá (Clark A., et al., 1990); *“Estudio sobre la Tectónica polifásica en escamas de la zona Mañazo – Lagunillas (Puno, Sur del Perú)”*, con el apoyo del Instituto Francés de Estudios Andinos (Jaillard y Santander, 1992); *“Estudio del Relleno Oligoceno-Mioceno entre las cuencas Tincopalca y Huacochullo, borde oriental de la cordillera occidental entre los departamentos de Puno y Arequipa”*, realizado por INGEMMET (Rodríguez et al., 2002); *“Cartografiado Regional realizado por Minera Gold Field Perú S.A.”* (Morche y Santos, 2009); y *Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean orocline (13°S to 18°S): Tracing crustal thickening and*

*magma generation through time and space*" (Mamani et al., 2009) y complementado con mis datos de cartografiado entre los años 2008 al 2011. (Figura 2.1).

## **2.2 Trabajo de campo**

### **2.2.1 Objetivo**

Identificar el tipo de roca, alteración y posible mineralización en la zona. Reconocer estructuras como fallas, pliegues y fracturas. La información tomada en campo determinará zonas de interés donde se realizarán estudios a detalle y sistemáticos como campañas geoquímicas y perforación (diamantina o aire reverso).

### **2.2.2 Procedimiento**

- Recopilación de información: Se tomó datos de la geología regional de los boletines N°14 y N°42 del Instituto Nacional Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Trabajos particulares de exploración regional en la zona de las siguientes empresas mineras, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A., Minera Gold Fields Perú S.A. y Compañía Minera Aruntani S.A., presentados en congresos y simposios geológicos. El trabajo realizado por Morche W. & Santos A., para la compañía minera Gold Fields Perú S.A. y mis datos de cartografiado entre el 2008 al 2010 han servido para desarrollar este capítulo.

- Mapa Base: La información de campo se plasma en la imagen Ortofoto y plano de curvas de nivel cada 2m, adquirida en agosto del 2009 a la empresa Horizons Geosoft.

- Datos de cartografiado: Se debe registrar los siguientes datos en caso de;

*Litología*: Tipo de roca, textura, granulometría, composición de minerales, unidad litológica y unidad estratigráfica. En el caso de rocas volcánicas se debe determinar el tipo de facie (efusiva, explosiva).

*Brecha*: Fábrica, ratio clasto/matriz, composición clasto/matriz, tamaño clasto/matriz, cemento.

*Alteración*: Origen de la alteración (hidrotermal o supérgena), minerales de alteración, textura, modo de presentarse, intensidad y asociación mineral de alteración.

Para mejorar la presentación de los datos de rocas, es necesario sistematizar y codificar las formaciones y grupos litológicos, nos ayudará a una mejor interpretación.

- Base de datos: Los datos como códigos litológicos, azimuth/buzamiento de estratos, estructuras; tipo de alteración, tipo de mineralización, intensidad de alteración/mineralización, abundancia de minerales son almacenados en base de datos, en este caso se utilizó Microsoft Excel. Los afloramientos son digitalizados para configurar un plano geológico digital, los polígonos y líneas del cartografiado han sido capturados en el software ARGis y estos polígonos (o caracteres digitalizados) se le ha asignado su base de datos correspondiente.

## 2.3 Estratigrafía

### 2.3.1 Grupo Yura

La rocas del Grupo Yura son las más antiguas y actúa como basamento en la zona. Producto de los movimientos del sistema de Fallas Regionales Condoroma-Cailloma-Mollebamba, la cuenca del Grupo Yura presenta un levantamiento y son expuestas en superficie como se observan en la actualidad.

La mejor expresión litológica se encuentra en los alrededores del valle de Yura (cerca a la ciudad de Arequipa). En la sección típica presenta cinco (5) formaciones litoestratigráficas (Benavides et al., 1962). Solo cuatro (4) de estas formaciones afloran en el Proyecto: Formación Cachios, Labra, Gramadal y Hualhuani, representan el 35% del afloramiento en el área de estudio. (Foto 2.1).

La Formación Cachios consiste de lutitas carbonáceas piritosas con intercalaciones menores de areniscas grises. No se observa en la zona la base y su espesor estimado es de 450m. La formación fue depositada en un ambiente de sedimentación prodéltico. Su contacto superior es gradacional con las rocas de la Formación Labra, la cual consiste de areniscas grises intercalada con lutitas carbonáceas y al tope predominan limolitas. Su espesor estimado es 450m y su ambiente de formación es de sedimentos de plataforma de poca profundidad y evoluciona a facies típicamente de litoral. La Formación Gramada! suprayace a la secuencia anterior y es predominante compuesta de calizas con registro de fósiles de bivalvos e



intercalaciones delgadas de areniscas calcáreas y lutitas. Se estima un espesor de 280m. El levantamiento de la cuenca permite la depositación de esta facie. El tope de esta formación es concordante con la Formación Hualhuani, conformada por niveles delgados de espesores de 0.1-0.5m de lutitas carbonáceas con areniscas y cuarzo-areniscas (Folk et al., 1970), estas últimas presentan tonalidad blanco-crema y son las rocas predominante, óxidos de fierro (jarosita) rellenan fracturas, presenta estratificación sesgada. El piso de la formación presenta niveles de lutitas gris oscuras asociada a lentes de carbón de pobre calidad, representando así un ambiente de inundación somera. Su espesor estimado es aproximadamente 1000m.

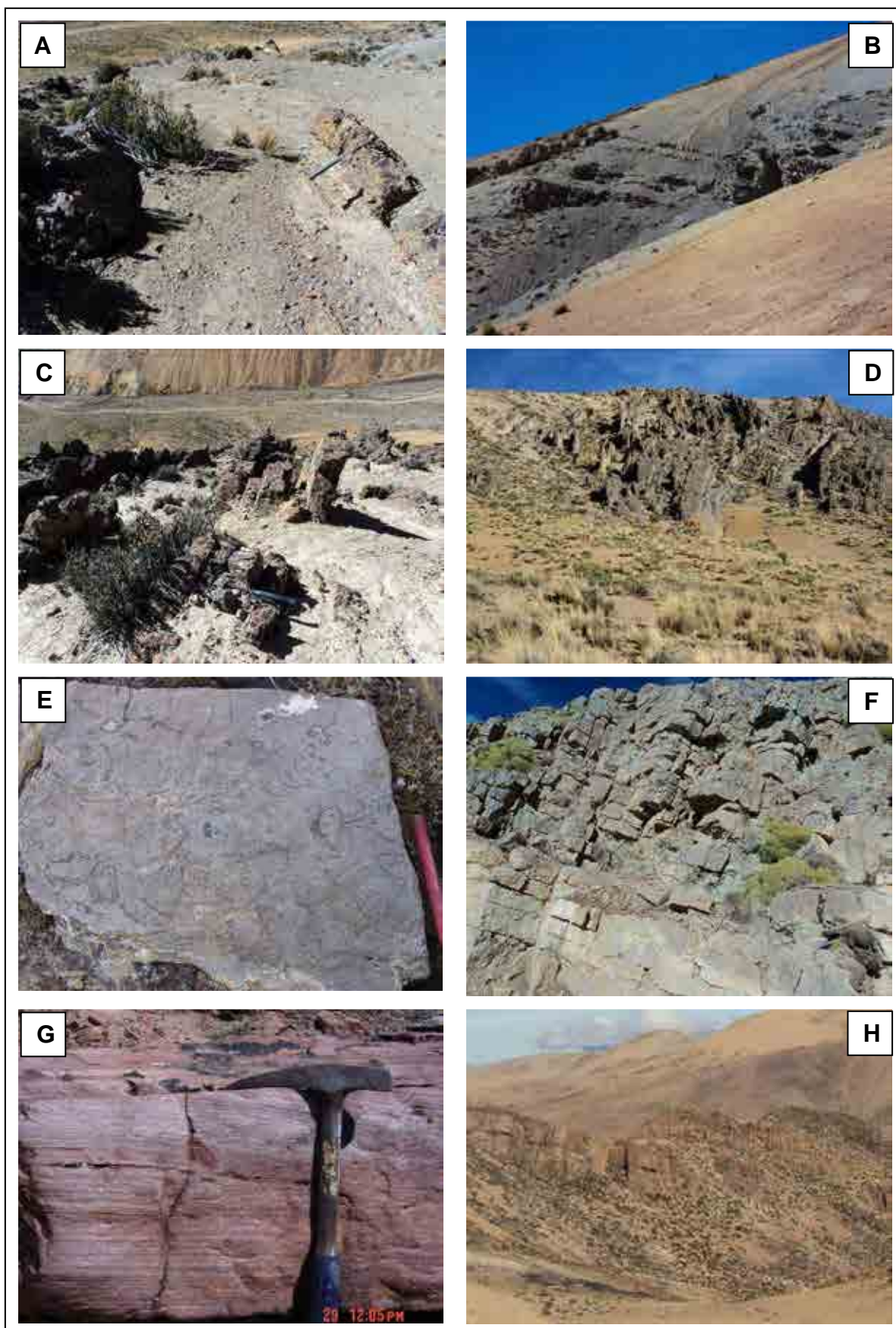
### **2.3.2 Formación Murco**

Aflora al Oeste de la zona de estudio, suprayace en discordancia erosional a las secuencias clásticas de la Formación Hualhuani. Está compuesta predominantemente de areniscas violáceas (estratificada finamente a masiva con estratificación sesgada) y conglomerados arenosos (Folk et al., 1970) (la matriz presenta alto contenido de óxidos de fierro), intercaladas con lutitas de tonalidad verde, rojo purpura, presentando niveles estratigráficos delgados a masivos y ambos sesgados. Su espesor aproximado en el área de estudio es 900m.

La Formación Murco es interpretado como una secuencia de capas rojas y representa una continuación de las condiciones deposicional superficial de la formación superior silico-clástica del Grupo Yura.

### **2.3.3 Grupo Puno**

Aflora en las inmediaciones del Valle del río Ichuña, donde comprende 200m de conglomerados gruesos de color rojizos y brechas conglomeráticas intercalada con niveles de areniscas gruesas, los clastos se encuentran en una distribución caótica y sin arreglo interno. La secuencia aflora en discordancia angular sobre las capas clásticas oxidadas de la Formación Murco y Grupo Yura.



**Fotos 2.1.-** Rocas del Grupo Yura. **A,B:** Afloramiento de intercalación de lutitas carbonáceas y areniscas de la Fm. Cachios. **C,D:** Secuencias de areniscas y lutitas fuertemente plegadas de la Fm. Labra. **E,F:** Muestra de caliza bioclástica de la Fm. Gramadal, el ambiente de formación esta intercalado con secuencias silicoclásticas y ambiente de materia orgánica. **G,H:** Estratificación sesgada de cuarzo-areniscas en la Fm. Hualhuani (interpretado como dunas hidráulicas).

### 2.3.4 Grupo Tacaza

Aflora en gran parte en la zona y descansa en discordancia angular con conglomerados del Grupo Puno y rocas del basamento Mesozoico. Se compone de una secuencia basal de brechas sobrepuestas por lavas de composición basáltica a basaltos andesíticos. El grupo Tacaza está datado radiométricamente de 30 a 22Ma (Oligoceno) por Klinck et al. (1986), en el reconocimiento geológico del Grupo Tacaza en la zona de Santa Bárbara. Se concluye que el Grupo Tacaza presenta un dominio volcánico máfico del Oligoceno y un dominio volcánico félsico del Mioceno temprano, lo que representa a un Tacaza inferior (30-22Ma) y un Tacaza superior (22-17Ma)<sup>1</sup>. Clark et al. (1990), en sus estudios en la zona de Santa Lucía, menciona intrusivos datados de 32 a 24Ma, lo cual consideran como singenéticos al Grupo Tacaza. Jaillard et al. (1992) y Klinck et al. (1986) reconocen intrusivos dacíticos de 16Ma y diques félsicos de 19Ma, en la zona de Mañazo y están asociados a la mineralización en la zona. Por esta razón el Grupo Tacaza es considerado una principal provincia de plutonismo del Sur del Perú.

Morche & Santos (2009), reconocen en la zona centros volcánicos félsicos asociados a eventos dómicos y con relación a flujos piroclásticos, controlados por estructuras de la zona, probablemente del Tacaza superior. Estudios de roca total por Ellison et al. (1990) y Morche & Santos (2009), indican que las lavas del Grupo Tacaza son de composición basaltos

---

<sup>1</sup> Interpretación de los trabajos realizados en la zona por Morche & Santos (2009).

alcalinos y traquibasálticos-andesíticos con afinidad calcoalcalina (alto en K) a shoshonita. (Foto 2.2).

#### **2.3.4.1 Formación Pichu (Tacaza superior)**

Los afloramientos son extensivos en la región Ichuña y afloran en el extremo NE del área de estudio, descansa en discordancia angular sobre los sedimentos pelíticos de la Formación Hualhuani del Grupo Yura principalmente entre otras formaciones. Está compuesta por secuencias basales de brechas cubiertas por lavas de composición basáltica a andesíticas basálticas.

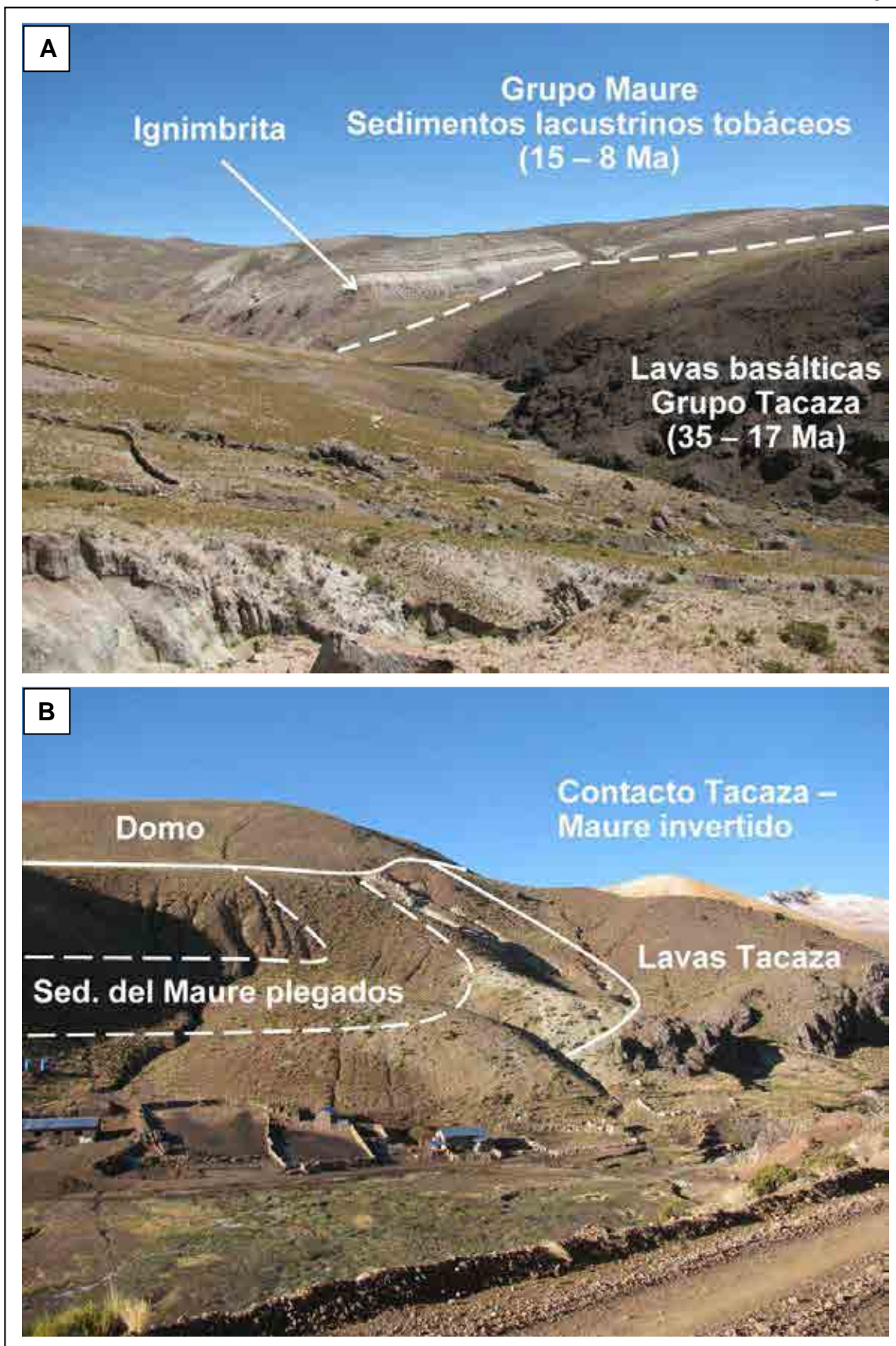
Específicamente en la zona de estudio, la Formación Pichu consiste de lavas andesíticas-basálticas de tonalidad violácea a gris verdoso oscuro, representando el tope del Grupo Tacaza (brechas polimícticas, afloran como base del Grupo Tacaza en la zona). Presenta un espesor aproximado de 500m. En el reconocimiento geológico de la zona, la litología representa flujos de lavas con facies masivas y autobrechas, intercalada con niveles delgados y aislados de areniscas volcanoclásticas de coloración marrón rojizas de composición andesíticos-basálticos. Las facies volcánicas coherentes se presentan amigdaloides y vesiculares. Las amígdalas se encuentran rellenas con prehnita, calcita, zeolitas y sílice calcedonia.

#### **2.3.5 Grupo Maure**

La mejor expresión del Grupo Maure se puede observar en el río Mauri, Bolivia. Afloran al NE del área de estudio; suprayace, débilmente

discordante, a las lavas del Grupo Tacaza. Consiste de una secuencia de sedimentos lacustres bien estratificadas de tobas depositadas en agua, incluyendo una ignimbrita cerca de la base con zonas bien soldadas, intercaladas con arenisca tobáceas y limolitas tobáceas. También presentan capas de caliza de aguas dulces relacionada con cherts. Por lo común muchas de las tobas son de color verde por presentar esmectita, reconocida por espectros infrarrojos analizados por Terraspec.

Cerca al campamento aflora el Grupo Maure concordante con las lavas del Grupo Tacaza, se encuentra un pliegue y está cortado por un domo riolítico del Complejo Volcánico Chucapaca. Este significa que antes del emplazamiento del complejo hubo una fuerte deformación por tectonismo y etapa de erosión en rocas del Grupo Maure. (Foto 2.2).



**Fotos 2.2.-** Rocas del Grupo Taca (Fm. Pichu) y Grupo Maure. **A:** Cerca al campamento afloran rocas de composición basálticas-traqui-andesíticas del Grupo Tacaza (Fm. Pichu), descansa sobre estas rocas, sedimentos lacustrinos del Grupo Maure, la tonalidad verde clara es debido al contenido de esmectita. **B:** La Fm. Pichu y El Grupo Maure se encuentran plegados antes del emplazamiento del Complejo Volcánico Chucapaca (Vulcanismo Sillapaca).

### 2.3.6 Grupo Sillapaca

El Grupo Sillapaca las represento como un número de formaciones volcánicas y complejos, los cuales son parcialmente contemporáneos con los sedimentos lacustrinos del Grupo Maure. La sección tipo está ubicada en el Cerro Sillapaca Chico, aproximadamente 65Km al NW del Proyecto Chucapaca y comprende un domo dacítico asociado con flujos de dacita compuesta de biotita/anfibolita y traqui-andesitas (Klinck et al., 1986). En otros lugares de la región, los depósitos de bloques/cenizas y lavas dacíticas compuestas de biotita y lavas andesíticas son asignadas al Grupo Sillapaca. Klinck et al. (1986) presenta edades desde  $14.0 \pm 0.6$  a  $12.8 \pm 0.4$ Ma para este vulcanismo. En el área de estudio está representada por las rocas que componen al Complejo Volcánico Chucapaca.

Palacios et al., (2001) en el desarrollo del Mapa Metalogenético de la Región Fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú ( $14^{\circ}$ S y  $28^{\circ}$ S), describe una unidad geológica marcada de afloramientos de domos y pórfidos subvolcánicos, de edad entre los 15 a 10.5Ma (Mioceno medio), que afloran en núcleos de centros volcánicos de composición calcoalcalina en subvolcánicos y extrusión dómica menor.

Klinck & Palacios et al., (1993); en el Boletín del Cuadrángulo de la Cordillera Occidental y Altiplano, describe la secuencias del Grupo Sillapaca, como una serie volcánica efusiva de composición dacítica a traquiandesítica, de domos ácidos asociados a poco evento explosivo, depósitos de tobas reducidos. Están también asociadas, a la resurgencia del vulcanismo probablemente proveniente del Grupo Palca.



Dentro de la región Ichuña algunos centros volcánicos se encuentran dentro del mismo rango de edades del Grupo Sillapaca, el cual incluye al Complejo Volcánico Chucapaca. Lavas y tobas de la Formación Llallahui son también ampliamente contemporáneos y ocurren cerca al tope del Grupo Maure.

Asigné a estas rocas al vulcanismo Sillapaca, por su correlación estratigráfica observada en campo, dentro del periodo de deposición de los sedimentos lacustrinos del Grupo Maure. Se presenta un evento efusivo ácido a nivel regional, referido en el estudio y elaboración del Mapa Metalogénico de la Región Fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú (14°S y 28°S) por INGEMMET, como un evento del Mioceno-medio de domos y pórfidos subvolcánicos, de edad entre los 15 a 10Ma., coetáneo al vulcanismo explosivo del Maure y relacionado a un evento tectónico de compresión.

El presente trabajo está dirigido al estudio de las rocas del Complejo Volcánico Chucapaca-SW, por presentar evidencias hidrotermales en alteración y mineralización.

#### **2.3.6.1 Fase Efusiva (*Domo lava y lavas*)**

Representadas en la zona por la fase coherente del Complejo Volcánico Chucapaca-SW, que cubren más del 60% del área de estudio. El Complejo Volcánico Chucapaca-SW intruye rocas del Grupo Yura, Tacaza y Maure, y suprayace a una secuencia de brechas-conglomerados de clastos de 0.1 – 1.0m de areniscas, lutitas, areniscas cuarzosas, lavas andesíticas, correspondiente a rocas del Grupo Yura, Formación Pichu y Maure. Estas

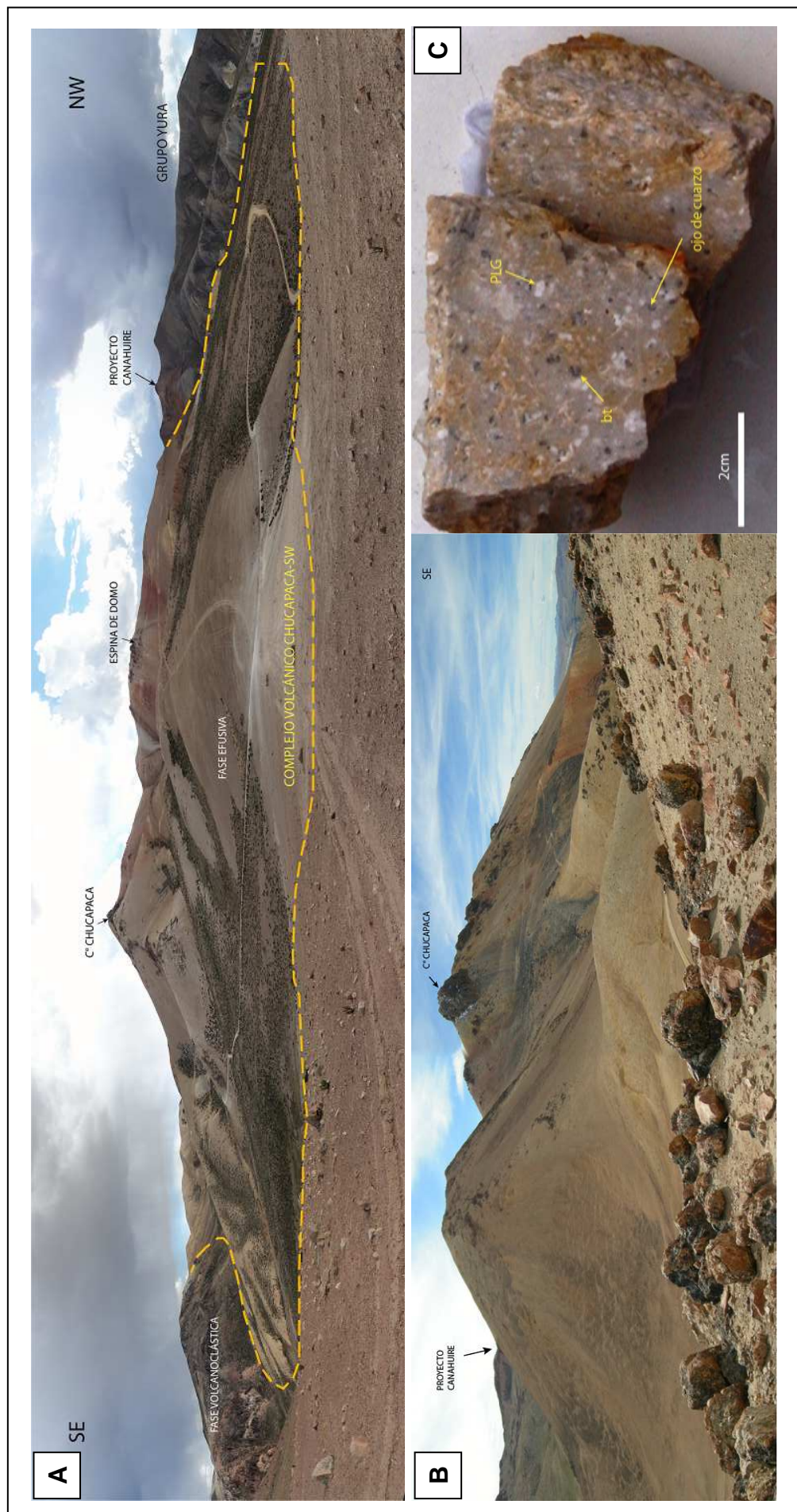
brechas-conglomerados fueron formadas en la etapa de deformación, levantamiento y erosión de la cuenca en la región Ichuña, inmediatamente antes del emplazamiento del complejo volcánico.

El Complejo Volcánico Chucapaca-SW es un complejo de domos de lavas de composición riolítica y de reducidos afloramientos de depósitos de flujos de bloques y cenizas.

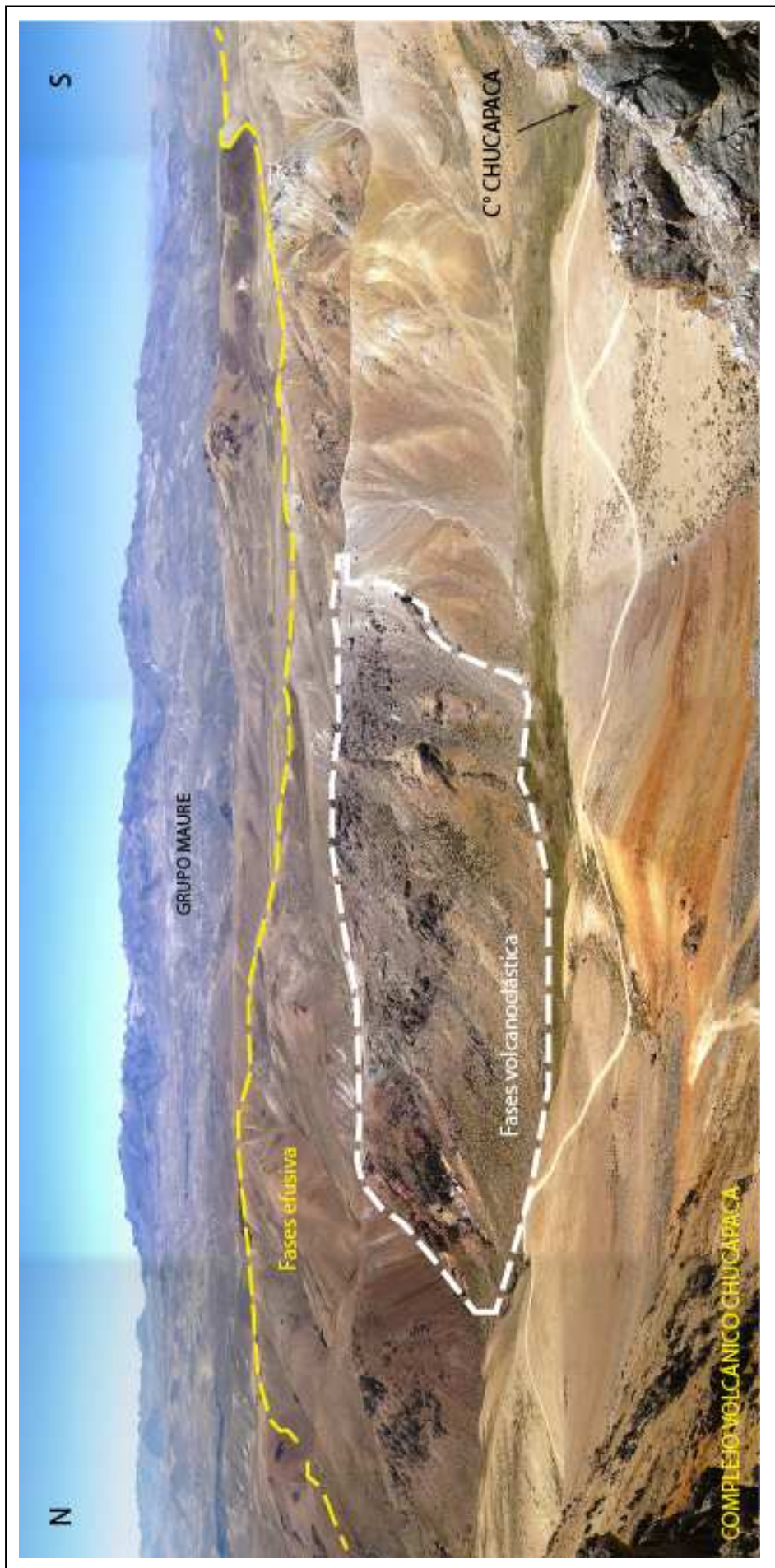
Las lavas del complejo consisten de riolita microfírica con fenocristales de cuarzo, plagioclasas y biotita variable, reconocimiento local de sanidina. Los fenocristales de cuarzo típicamente muestran fuertes márgenes confinados indicativo de reabsorción. La textura masiva varía desde criptocristalina de grano fino a vidrio. En algunas muestras bandeamientos de flujos es reconocida en sección delgada con textura esferulita desvitrificada. Los fenocristales de plagioclasas están fracturadas (posiblemente rotas durante el flujo de la parte masiva muy viscosa). (Foto 2.3).

#### **2.3.6.2 Fase Volcanoclástica** (*Depósito de bloques y cenizas*)

Afloran al Este del Cerro Chucapaca (cerro principal del Complejo Volcánico Chucapaca-SW) e infrayace discordante a las rocas del complejo. Consiste de un depósito de flujo piroclástico de bloques y cenizas de composición de bloques de riolitas en una matriz correspondiente, cortado por venillas de hematita, en una estructura E-W de 1m de ancho, con rellenos de sílice opalina. (Foto 2.4).



**Foto 2.3.-** Vulcanismo Sillapaca- Complejo Volcánico Chucapaca-SW. **A:** Vista Panorámica, mirando al SW, del Complejo Volcánico Chucapaca-SW, se puede observar solo el 5% del área son afloramientos in situ. Al NW del Cerro Chucapaca aflora las secuencias de rocas pelíticas del Grupo Yura (Fm. Cachios, Fm. Labra, Fm. Gramadal y Hulahuani); y al SE, aflora depósitos de bloques y cenizas de la fase explosiva del complejo volcánico. **B:** Vista Panorámica, mirando hacia el NE, de la fase efusiva del complejo, compuesta de domos y/o domos lavas. En algunos casos, la geoforma de los cerros puede ayudar a configurar los posibles domos. **C:** Muestras de mano de riolita con alteración argílica intermedia.



**Foto 2.4.-** Vista Panorámica mirando hacia el E (desde el Cerro Chucapaca) de la facie volcanoclástica, a los afloramientos de los depósitos de bloques y cenizas, fase efusiva del complejo volcánico. Los depósitos se encuentran cortados por diques félsicos asociados a un evento efusivo posterior.

### **2.3.6.3 Correlación y Edad relativa del Complejo Volcánico Chucapaca**

El complejo descansa discordantemente en las lavas del Grupo Tacaza, sedimentos deformados del Grupo Maure y Yura. El contacto de estas unidades está expuesto en algunas localidades dentro del estudio regional. Al SE del campamento Corire, ambos, el Grupo Maure y Tacaza están involucrados en un tren plegado sinclinal de gran escala SE-NW. El límite SW de este plegamiento es vertical a ligeramente sobre-escurrimiento, con lavas del Tacaza invertidas sobre los sedimentos del Maure. El pliegue estructural es cortado por un domo riolítico del Complejo Volcánico Chucapaca.

Conglomerados, brechas y areniscas están preservadas en la superficie disconforme debajo del Complejo Volcánico Chucapaca. Los sedimentos clásticos presentan clastos de rocas del Grupo Yura, Tacaza y Maure. La mejor expresión de estas secuencias clásticas se encuentra en el valle de Itapallane. Ahí, una secuencia estratificada de areniscas oscuras y con areniscas de guijarros descansan sobre el Grupo Tacaza, en ambos lados del valle. La secuencia se encuentra discordante infrayaciendo a los domos riolíticos. Localmente las brechas también presentan clastos de riolita, lo que indica que las lavas fueron también erosionadas antes del emplazamiento de los domos. (Foto 2.5).

De mis observaciones de campo, el área de estudio experimenta una deformación durante el tiempo del Grupo Maure temprano, inmediatamente antes de la erupción del Complejo Volcánico Chucapaca. La ocurrencia de

rocas clásticas de guijarros en la base del complejo volcánico provee más evidencias para un periodo de levantamiento y erosión inmediatamente antes a (y durante) la historia temprana del complejo.

La evolución del Complejo Volcánico Chucapaca se inicia con un evento efusivo, lava riolítica/dacítica es la primera evidencia del vulcanismo, posterior, ocurre el levantamiento y erosión de la cuenca el cual produce depósitos conglomeráticos, donde se presenta variedad litológica en los clastos desde el Grupo Yura al Maure, incluso, clastos de lava riolítica/dacítica. Domos-lava son emplazados y cubren parte de los conglomerados y las rocas del basamento.

El Complejo Volcánico Chucapaca (Vulcanismo Sillapaca) se emplaza dentro del vulcanismo regional del Grupo Maure.

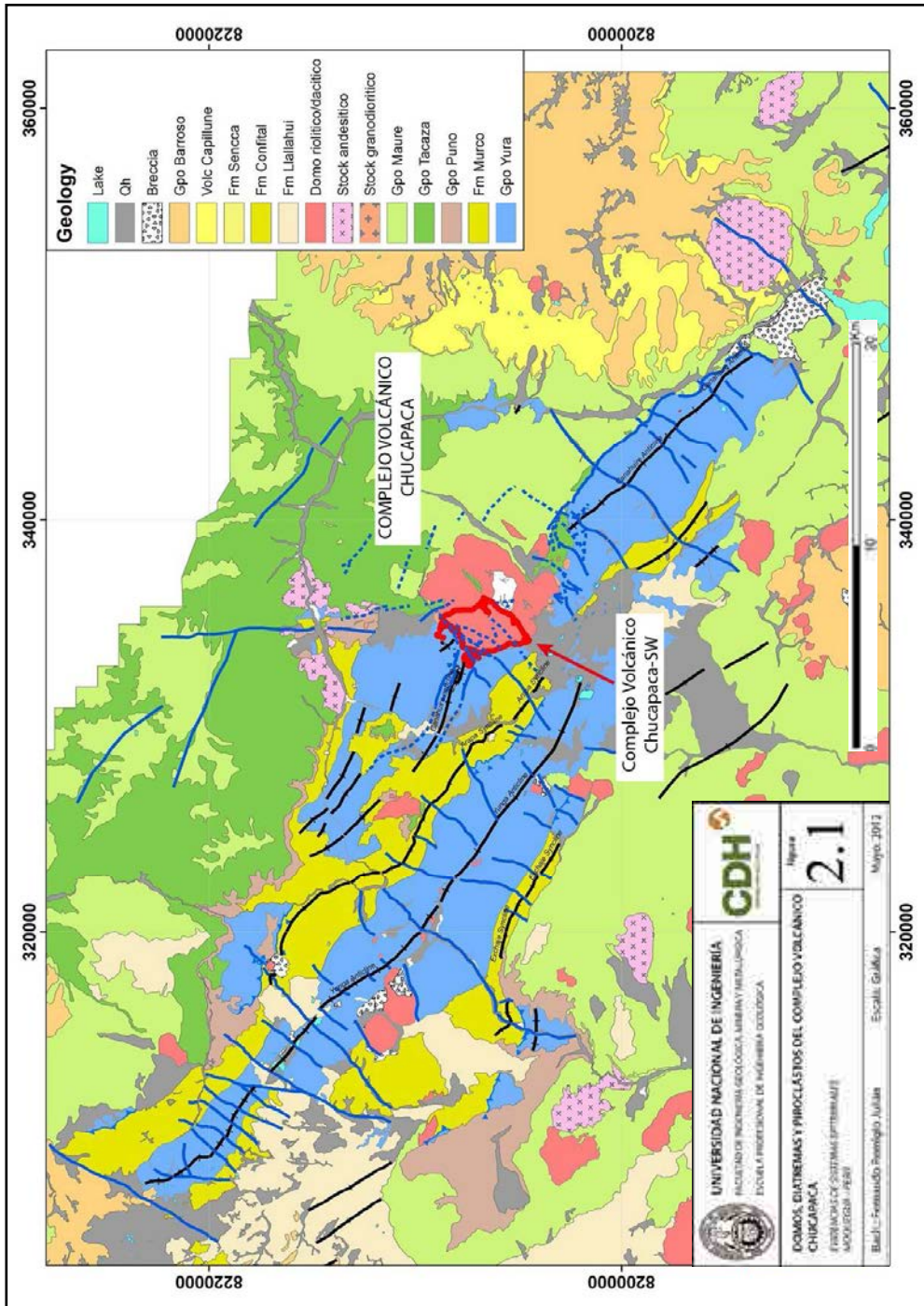
Recopilé datos de estudios radiométricos y encontré 2 dataciones cercanos al área de estudio; La primera muestra (N° de muestra 116) tomada a 4Km al Este del Pueblo de Fausa (cerca al poblado de Lloque) en rocas del Grupo Tacaza por Bellon & Lefevre, (1976) (306355,8209687-WGS84) con edad de  $16.1 \pm 0.3$ Ma; la segunda muestra (N° de muestra ICHU16) tomada en la quebrada Pataqueña, en una secuencias andesíticas, perteneciente a un reducido afloramiento de las rocas de la Formación Llallahui, por Martines & Cervantes, (2003) (338946,8193801-WGS84) con edad de  $8.6 \pm 0.4$ Ma. Estas dos muestras recopiladas comprueban la edad señalada por Klinck et al. (1986) ( $14.0 \pm 0.6$  a  $12.8 \pm 0.4$ Ma.) al vulcanismo Sillapaca, para el Complejo Volcánico Chucapaca se le ha asignado una edad relativa de 14-12Ma. (Figura 2.2). (Apéndice III, Datos de edades radiométricas en la zona de estudio)



**Foto 2.5.-** Brecha-conglomerado de clastos polimícticos de rocas del, Grupo Yura, Tacaza y Maure. Se encuentran depositados antes del emplazamiento del complejo volcánico, evidencia un levantamiento y erosión de la Cuenca Maure.

### 2.3.7 Grupo Barroso

Considerado como el vulcanismo posterior al evento Sillapaca y Maure. En la región de Ichuña las rocas más antiguas del Grupo Barroso son tobas masivas de flujo de composición ácidas (ignimbritas). Sobreyacen con disconformidad a los sedimentos lacustres del Maure. Anteriormente estas tobas fueron clasificadas como las formaciones Capillune y Sencca, pero representan la primera fase de vulcanismo del Grupo Barroso. Localmente se encuentran domos riolíticos en la parte inferior. Lavas andesíticas y dacíticas sobreyacen a las ignimbritas y las riolitas.



**Figura 2.1.-** Plano Geológico Regional del área de estudio, afloran rocas desde el Mesozoico - Jurásico (Grupo Yura) a eventos volcánicos del Cenozoico - Mioceno (Grupo Barroso). Las estructuras regionales y fallas asociadas con dirección andina y son el principal control para el emplazamiento de los complejos volcánicos en la zona pertenecientes al Grupo Sillapaca, un segundo control son las estructuras de dirección NE. (Morche & Santos, 2009).



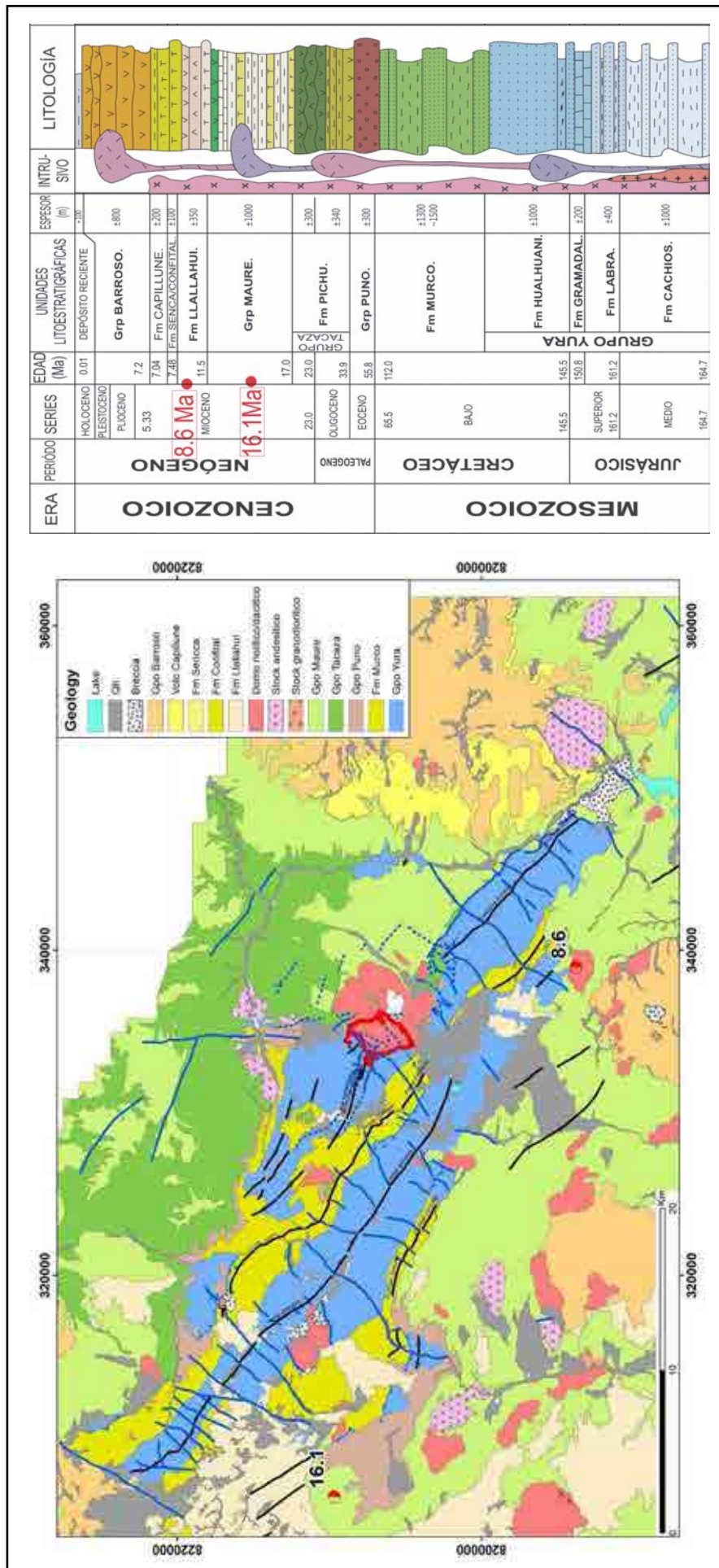


Figura 2.2.- Columna Estratigráfica Regional con la ubicación de dos (2) dataciones radiométricas en la zona de estudios, El complejo volcánico se emplaza durante la depositación de los sedimentos lacustrinos del Grupo Maure, y con ayuda de las dataciones realizadas por Klinck (1986) en domos de similar características al Complejo Volcánico Chucapaca y de las dataciones recopiladas, se le ha asigno al complejo volcánico una edad relativa de 14 a 12Ma.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, AMBIENTE Y METALURGIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	CDH Centro de Datos Históricos
	DOMOS, DIATREMAS Y PIROCLASTOS DEL COMPLEJO VOLCANICO CHICAPACA PROYECTO DE SISTEMAS GEOMATIKA MOSES GALIJA	Hoja <b>2.2</b>
Basilio Fernández Fernández, Julián Escobar Gallica	Escala: Gallica	

## **2.4 ACTIVIDAD MAGMÁTICA**

La actividad magmática la representa, principalmente, el vulcanismo del Grupo Tacaza y vulcanismo de edad intra-Maure que la correlaciono con el Grupo Sillapaca. (Foto 2.6).

### **2.4.1 Vulcanismo Tacaza**

El vulcanismo correspondiente al Oligoceno superior – Mioceno inferior, es la fase volcánica más antigua conocida del Cenozoico. Presenta una gran extensión. En el área de estudio aflora la Formación Pichu, correspondiente a las rocas de la parte superior del Grupo Tacaza.

En los diagramas TAS y AFM de la muestras para “Análisis de roca total”, las lavas son basaltos, traquibasaltos y traquiandesítico. La secuencias básicas de la Formación Pichu, presenta facies explosivas y efusivas, de composición basaltos alcalinos y andesíticas traquibasálticas con afinidad calcoalcalina alto en K a shoshonítica. Las lavas son vesiculares y con amigdaloides rellenas con sílice calcedonia, prehnita, calcita por el bajo grado de metamorfismo en la zona o la temperatura de formación ha sido probablemente 200°C.

El Grupo Tacaza en la Región es intruida por domos de composición ácida (riodacita, riolita) y se encuentran descansando en secuencias del Grupo Puno, a este evento se le asigna como parte del Grupo Tacaza superior, quedando debajo de este evento el vulcanismo máfico y correspondería al Tacaza inferior.

### **2.4.2 Vulcanismo Maure e intra-Maure**

El vulcanismo Maure está asociado a eventos explosivos depositando tobas en un ambiente lacustrino y a la erupción del complejo de domos subaéreo de Chucapaca en un alto estructural de la región. Este último vulcanismo es ácido (rico en  $\text{SiO}_2$ ) y de facies efusivas principalmente.

Una serie de complejos volcánicos fueron emplazados en este tiempo. Este vulcanismo es conocido en la región como el vulcanismo Sillapaca, estudiado y datado por Klinck et al (1986). En la zona está representado por el Complejo Volcánico Chucapaca y es de composición riolítica, rico en  $\text{SiO}_2$ .



**Foto 2.6.-** Vista Panorámica, mirando al NE del Magmatismo en el área de estudio. El magmatismo en la zona está representado por el conjunto de rocas del Grupo Tacaza, Maure y el vulcanismo desarrollado dentro del periodo de deposición de las secuencias lacustrinas del Grupo Maure, conocido como vulcanismo Sillapaca y está representado en la zona por el Complejo Volcánico Chucapaca.

**CAPITULO III**

**CONTEXTO ESTRUCTURAL**

### **3.1 Introducción**

El comportamiento estructural en la zona está marcado principalmente por las fallas regionales del sistema Condoroma-Caylloma (Carlotto et al, 2009). Los episodios tectónicos desde el plegamiento de las rocas Mesozoicas hasta los diferentes episodios tectónicos-magmáticos del Cenozoico, generan en la zona de estudio, un complejo sistema de fallas y pliegues.

El análisis estructural lo realicé en las fallas posteriores al emplazamiento del complejo volcánico, analizando su geometría y cinemática. El procedimiento es sencillo y con el objetivo de conocer los movimientos de las fallas regionales andinas, relacionadas al sistema de fallas Condoroma-Caylloma.

### **3.2 Trabajo de campo**

#### **3.2.1 Objetivo**

Reconocimiento de fallas y toma de datos cinemáticos. Por el reducido afloramiento en la zona de estudio se han tomado datos en el Cerro Chucapaca, Cuello de domo y Katrina Este. El estudio nos permitirá conocer los movimientos de las fallas regionales que han controlado el emplazamiento del hidrotermalismo posterior al complejo volcánico.

#### **3.2.2 Procedimiento**

- Recopilación de información: El artículo "Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú" de la Sociedad Geológica del Perú y los estudios estructurales del depósito Canahuire (Moquegua) y la mina Caylloma

(Arequipa) han sido tomado como referencia regional y distrital para el estudio.

- Datos de cartografiado: Se debe tener en cuenta:

Pliegues: Dirección/buzamiento de la charnela de anticlinales, sinclinales, monoclinales si se encuentran tumbados. Tomar el azimut/inclinación del plunge y orientación de las capas en los flancos.

Fallas: Azimut y buzamiento de la superficie de falla, apertura, relleno.

Es muy importante tomar los datos cinemáticos de movimiento, pitch de las estrías de fallas, dirección del lineamiento de la estría, el sentido del movimiento y calidad del dato (pobre, regular, bueno).

Fracturas: Azimut, buzamiento, espaciamiento y relleno.

- Cinemática de fallas: Al registrar los datos cinemáticos de las fallas se debe tener en cuenta si el dato es tomado en la misma pared o en el relleno. El relleno puede presentar estrías generadas por la percolación del agua. Así también, en el caso del análisis del movimiento con el escalón de falla, es necesario se ubiquen en un mismo plano, probables microfracturas pueden ocasionar la confusión con los escalones de falla.

- Base de datos.- Los datos de coordenadas de la falla, el azimut, inclinación, cara de la falla (pared, relleno), pitch, azimut de pitch, movimiento de falla y certeza del dato son almacenados en bases de datos del software Microsoft Excel.

Las fallas son digitalizadas y de acuerdo a su movimiento horizontal y vertical (diferenciado por colores y trama), son analizados y agrupados para determinar el análisis de las fallas regionales.

### **3.3 Fundamento Teórico y Método del estudio**

El sistema de trabajo para la interpretación estructural en la zona ha sido la siguiente:

#### **3.3.1 Interpretación de Imagen-Ortofoto**

Se utilizó una imagen Ortofoto para el trazo de lineamientos, fue adquirida en Febrero del 2009 por la empresa Minera Canteras del Hallazgo S.A.C. Se trazó los lineamientos y se presentan cuatro tendencias principales: AND (Andino), TAN (Trasandina), NS (Norte\_Sur) y EO (Este\_Oeste). La tendencia AND es la principal en la zona y la TAN es el siguiente control estructural en la zona en orden de prioridad.

#### **3.3.2 Validación de lineamientos en campo**

En el cartografiado se revisó los lineamientos trazados para determinar si son fallas o geofomas.

El principal sistema de fallas es de tendencia NW-Andino, asociada al eje axial del anticlinal Canahuire. El segundo sistema es de tendencia NE-Trasandino, intercepta al sistema andino y presenta una variante, al Norte del complejo volcánico, con dirección NNE, probable tensional del sistema principal.

Fallas menores de orientaciones NS, WNW-ESE, NNW, están asociadas a ambos sistema de fallas. Su estudio cinemático en la zona, nos permitirá conocer la dirección de los esfuerzos y sus relación con el ambiente epitermal.



### 3.3.3 Medición de datos cinemáticos

Los datos cinemáticos (Foto 3.1), que tomé en las fallas menores son: azimut, buzamiento de los planos de fallas, el ángulo pitch y el sentido de desplazamiento de las fallas. Los datos los comparo y analizo con el Modelo de Cizalla (Harding, 1974 y Waldron, 2005) y también, con planos nodales en la red estereográfica equiareal de Schmit en el software Tecnoni $FP$  1.7.5 (software demostrativo de [www.tectonicsfp.com](http://www.tectonicsfp.com)).



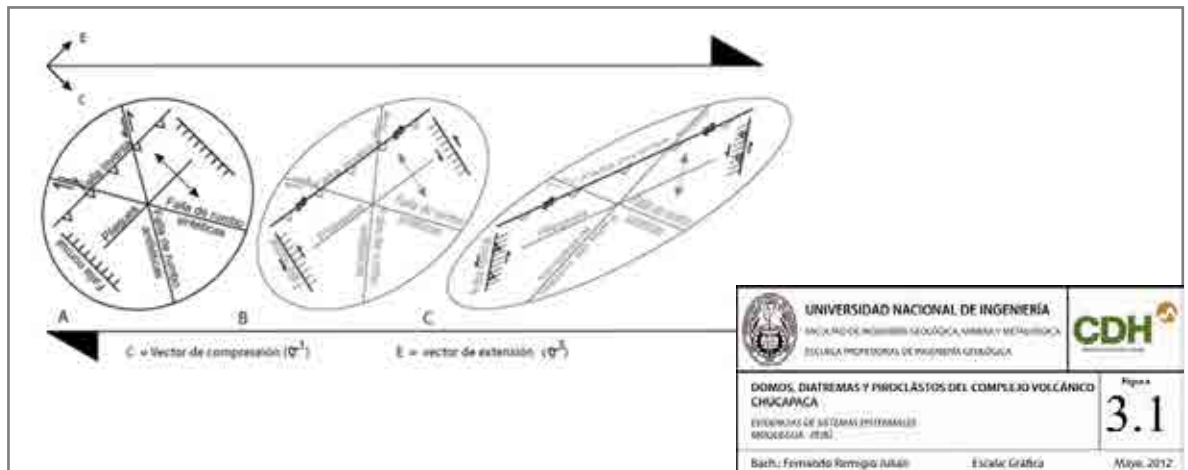
**Foto 3.1:** Principales indicadores cinemáticos utilizados para determinar el sentido de movimiento de fallas A) Lineamiento (estría) del movimiento y B) Escalón de falla (Steps).

## 3.4 Análisis gráfico de Fallas

### 3.4.1 Relación geométrica de fallas en el modelo de cizallamiento

En los modelos de cizalla por fallas transcurrente se originan las siguientes estructuras. (Figura 3.1): fallas sintéticas, fallas antitéticas, fallas normales, fallas inversas y pliegues. Este modelo lo aplico para analizar el movimiento

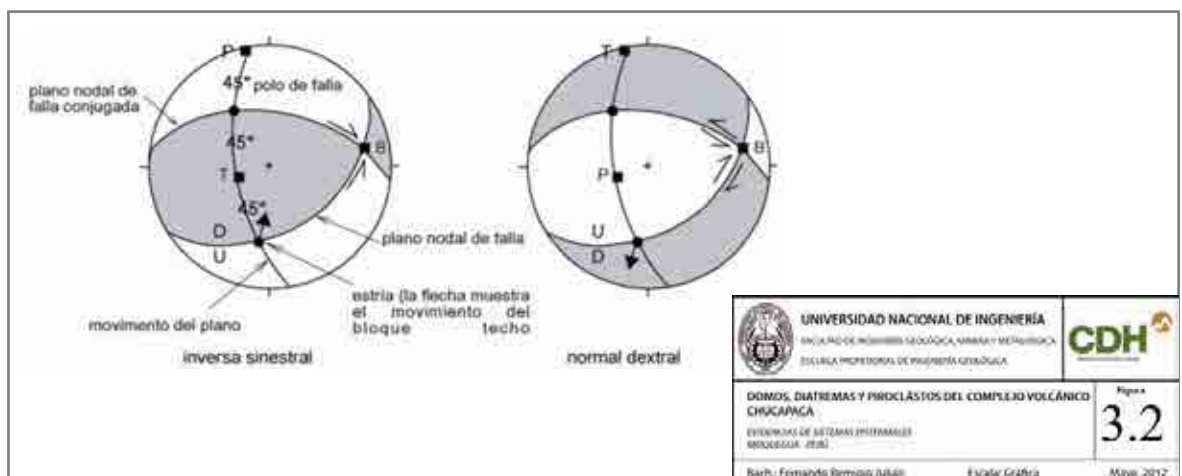
tanto en lo horizontal (sinestral, dextral) y también para analizar el movimiento de la componente vertical (inverso, normal).



**Figura 3.1:** Esquema de movimientos en una zona transcurrente (Waldron, 2005). (A) Deformación asociada con el cizallamiento simple en una zona transcurrente (Harding, 1974). (B) Modificación del (A) por la continuación de cizalla simple, las fallas de (A) en color gris, adquieren movimientos transcurrentes (negro).

### 3.4.2 Planos nodales

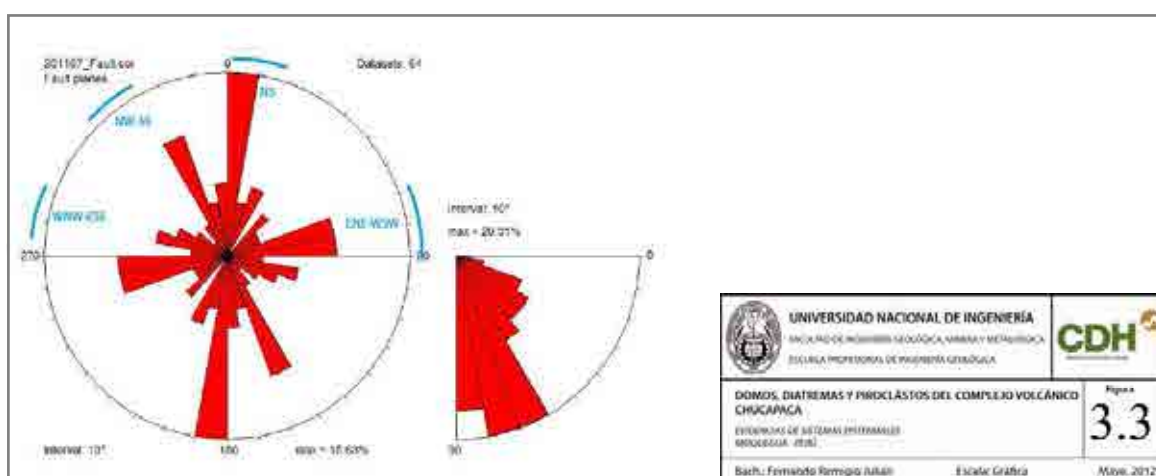
El método de planos nodales, lo utilizo para confirmar el movimiento del sistema de fallas en el Complejo Volcánico Chucapaca, determinado preliminarmente a partir del análisis geométrico. Los planos nodales son conocidos como ejes P (acortamiento) y T (extensión). (Figura 3.2).



**Figura 3.2:** Proyección de planos nodales en el hemisferio inferior de la red de estereografía de Schmit (Tomado de Allmendinger, 1989).

### 3.5 Diagrama de rosas

En los sectores del Cerro Chucapaca, Cuello de domo y Katrina Este, tome 64 datos cinemáticos de las fallas, de lo cual se obtuvo cuatro tendencias principales, N-S, ENE-WSW, NW-SE y WNW-ESE; Así también, como fallas menores en direcciones variables. (Figura 3.3). (Apéndice II, Tabla de datos cinemáticos de fallas).



**Figura 3.3:** Diagrama de rosas de 64 datos cinemáticos tomados en diferentes fallas del Complejo Volcánico Chucapaca.

### 3.6 Cronología absoluta y relativa

La *cronología absoluta* de las fallas estudiadas ha determinado por su ubicación espacial en el complejo que las estructuras se generan después de los 12Ma (edad relativa del complejo volcánico). Las fallas deben pertenecer a la fase tectónica Quechua II ó Quechua III. En la zona de estudio las fallas han sido generadas por tres movimientos de las fallas andinas: Sinestral-normal, Dextral-normal y Dextral-inversa.

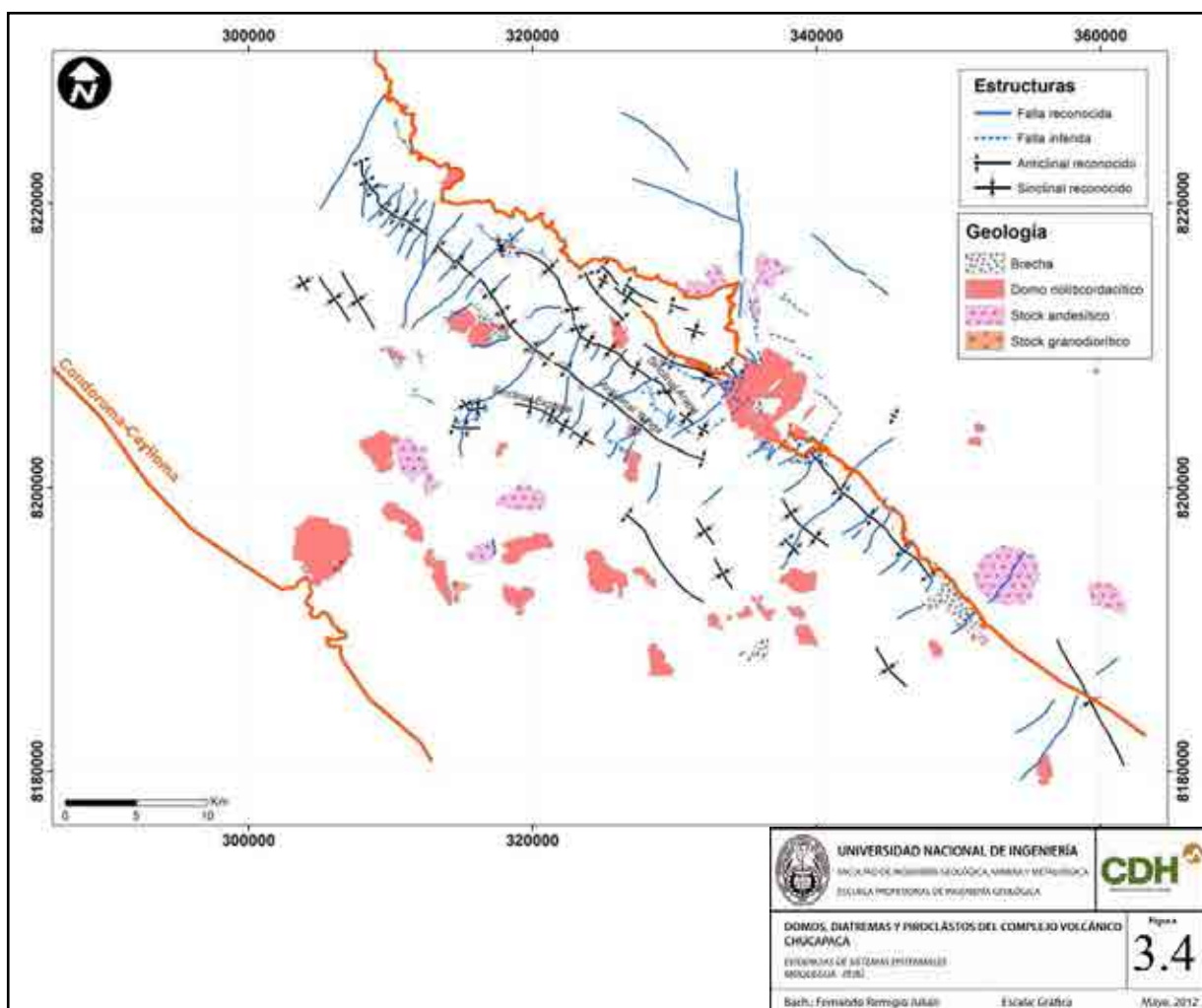
Para el análisis de la cronología relativa de las fallas he tenido en cuenta la ubicación espacial de las fallas de cada sistema. El movimiento posterior al emplazamiento del complejo volcánico ha sido el sistema sinestral-normal

seguido del sistema dextral-normal (Siddorn J. & Gradim R., 2010). En el área de estudio he registrado un tercer movimiento, el sistema dextral-inversa, posterior a los otros sistemas anteriores.

### **3.7 Análisis Estructural de las fallas en el Complejo Volcánico Chucapaca-SW**

El análisis estructural de las fallas posteriores al emplazamiento del Complejo Volcánico Chucapaca, se enmarca dentro del sistema de fallas andinas que controlan el emplazamiento de los domos, pliegues y probable mineralización en la zona. Este sistema corresponde al sistema de fallas Condoroma-Caylloma, dominio estructural que controla un corredor metalogénico. (Figura 3.4).

De los datos cinemáticos recolectados, he definido cada falla de acuerdo a su movimiento transcurrente, normal o inverso. Cada falla tiene un color correspondiente de acuerdo a su movimiento y se ha priorizado el sentido iniciando con el movimiento principal en la falla. Por ejemplo, si la falla presenta un vector horizontal más importante que un vector vertical, sería el caso de una falla normal-sinestral o normal-dextral y sus variantes.



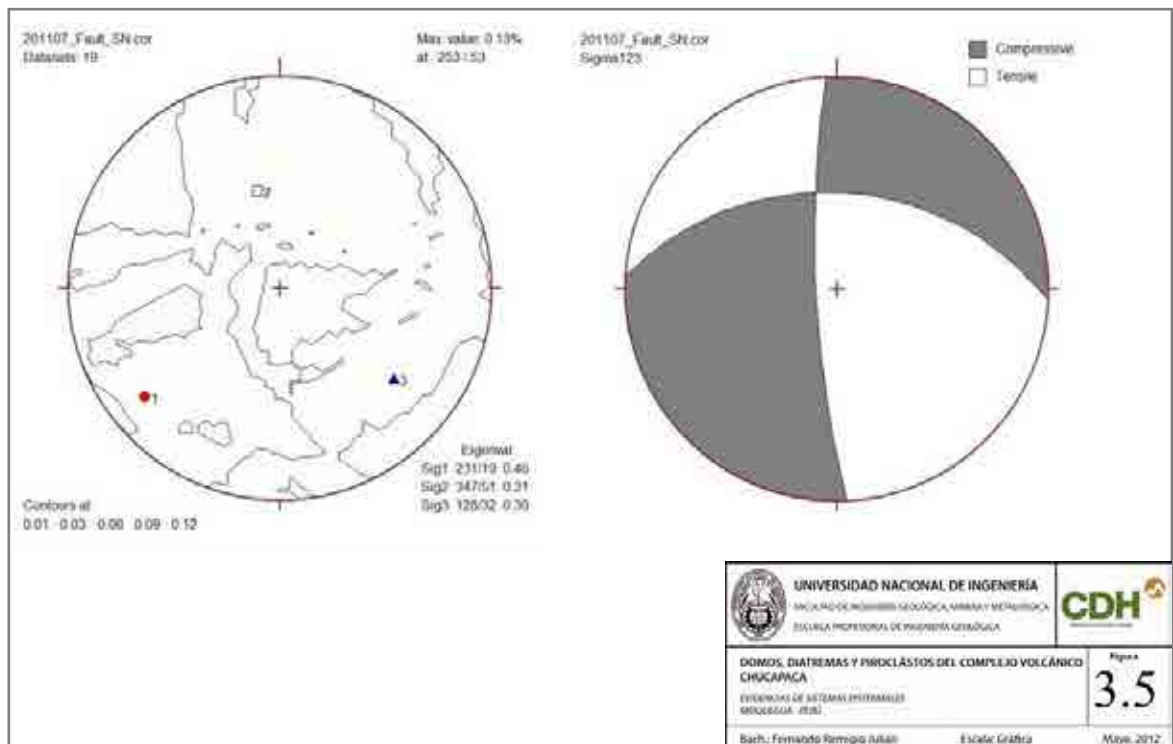
**Figura 3.4:** Plano de afloramientos de centros volcánicos emplazados en las fallas principales de orientación NW-SE, como control de primer orden; también, el emplazamiento está asociado con lineamientos (fallas) de orientación NE-SW como un control de segundo orden. Se encuentra limitada por el sistema de fallas Condoroma-Caylloma, dominio estructural en la zona (Morche & Santos, 2009).

En la Figura 3.5 y 3.6 el modelo de cizalla (Harding, 1974 y Waldron, 2005) lo roté en dirección a las fallas andinas, y he analizado las fallas tomadas en campo con las fallas generadas por el modelo de cizalla. Iniciamos el análisis con un movimiento sinistral-normal de las fallas andinas, por ser este movimiento el reconocido en campo, aproximadamente de azimut:120° e inclinación:80°SW: En la zona del C° Chucapaca, las fallas de movimiento sinistral-inverso (280°-290°;70°-80°NE) son correlacionadas con las fallas sintéticas del modelo. Las fallas de movimiento dextral-normal (060°-

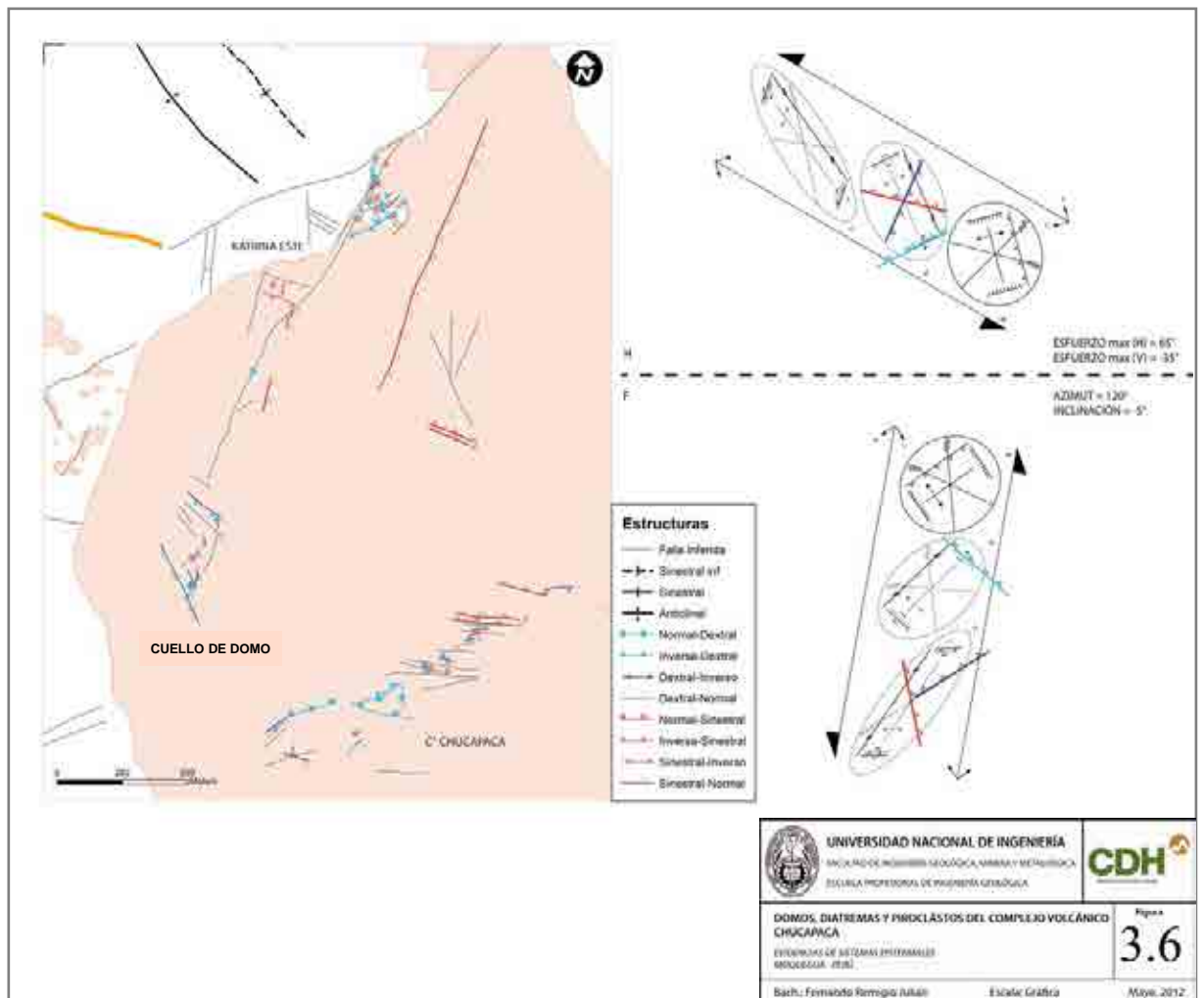
070°;70°-80°NW) son correlacionadas con las fallas normales del modelo. En la zona del Cuello de domo, las fallas de movimiento dextral-normal (270°-285°;70°-88°NW) son correlacionadas con las fallas antitéticas del modelo.

El análisis cinemático de los esfuerzos en el software, determina un esfuerzo de compresión de 231°/019° y un esfuerzo de tensión de 128°/32°. Este último esfuerzo genera que las fallas NE-SW presenten un vector de extensión.

En el C° Chucapaca aflora una brecha de dirección 030°;65°SE presenta valores anómalos auríferos. Al norte del complejo volcánico las fallas registradas en campo no se correlacionan con las fallas del modelo, lo que implica que las fallas andinas han tenido otro movimiento.

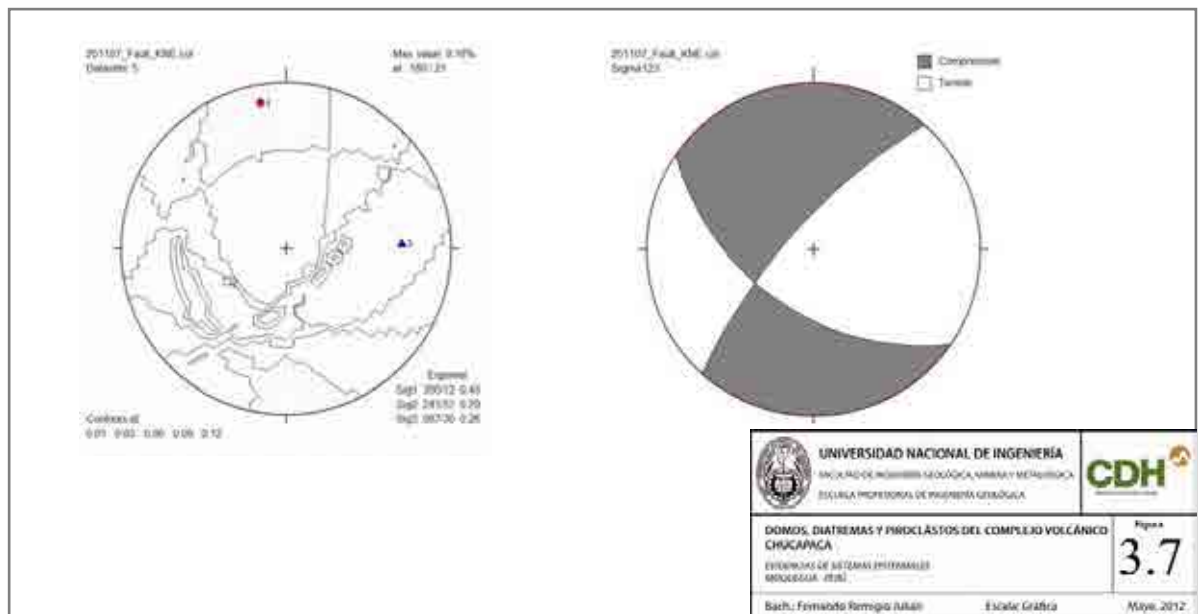


**Figura 3.5:** Plano de diedros y nodal para la ubicación de los esfuerzos de compresión y tensión en un movimiento sinistral-normal de las fallas regionales andinas, obtenido mediante el software TectonicsFP.

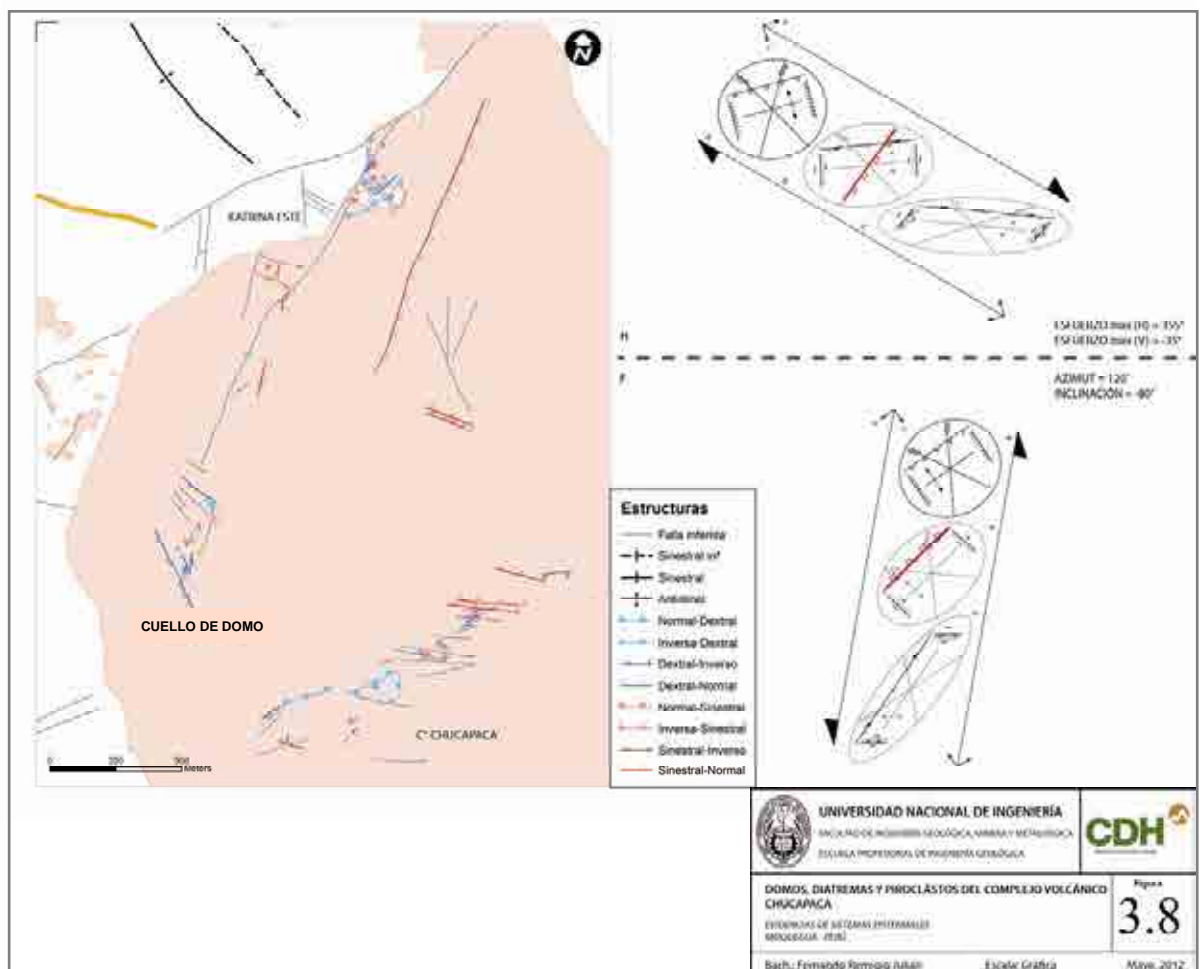


**Figura 3.6:** Plano de afloramientos de fallas generadas por un movimiento sinistral-normal de las fallas regionales andinas. Las fallas en la zonas de C° Chucapaca, fallas de movimiento sinistral-inverso (rojo-triángulos vacíos), fallas de movimiento normal-dextral (celeste-cuadrados llenos) y Cuello de domo, fallas de movimiento dextral-inverso (azul-triángulos vacíos) pertenecen a este sistema.

En la Figura 3.7 y 3.8, el modelo presenta fallas andinas con un movimiento dextral-normal: En la zona Katrina Este, las fallas sinestrales-normal ( $005^{\circ}-020^{\circ}; 65^{\circ}-75^{\circ}\text{SE}$ ) las correlaciono con las fallas antitéticas del modelo. El análisis cinemático indica que el esfuerzo de compresión es  $350^{\circ}/12^{\circ}$  y el esfuerzo de tensión es  $087^{\circ}/30^{\circ}$ , este último esfuerzo genera que las fallas N-S tengan un componente de extensión.



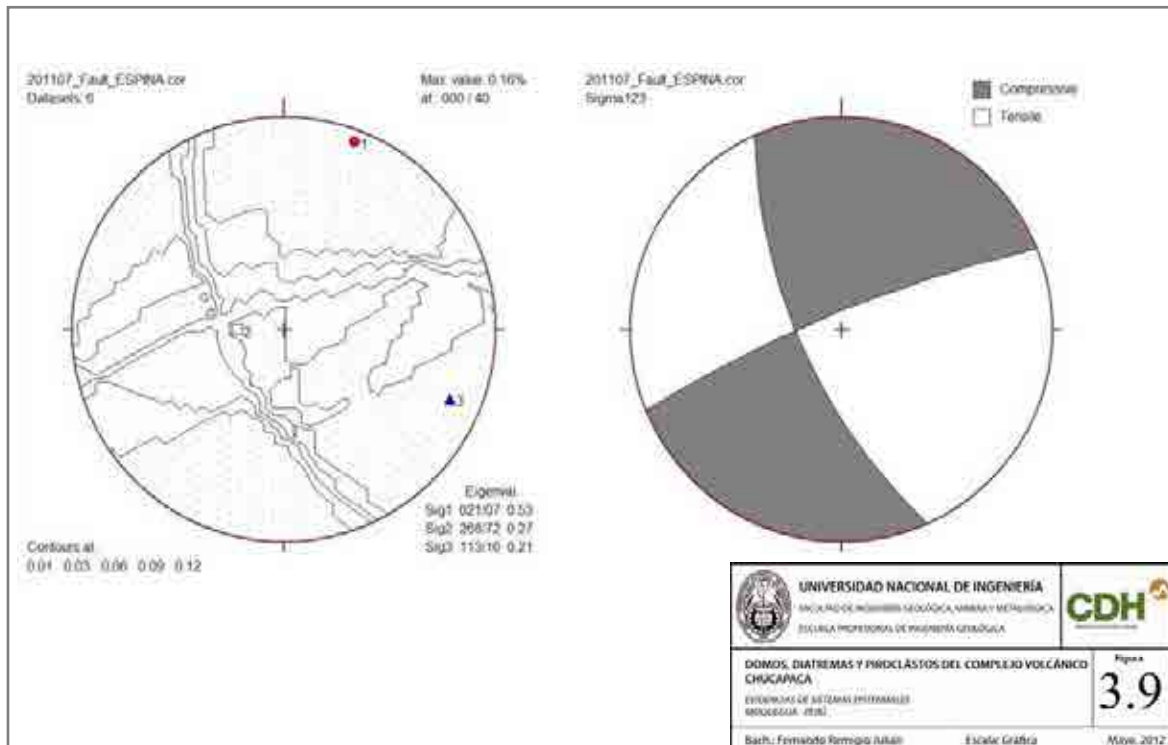
**Figura 3.7:** Plano de diedro y nodal para la ubicación de los esfuerzos compresivo y tensión en un movimiento dextral-normal de las fallas regionales.



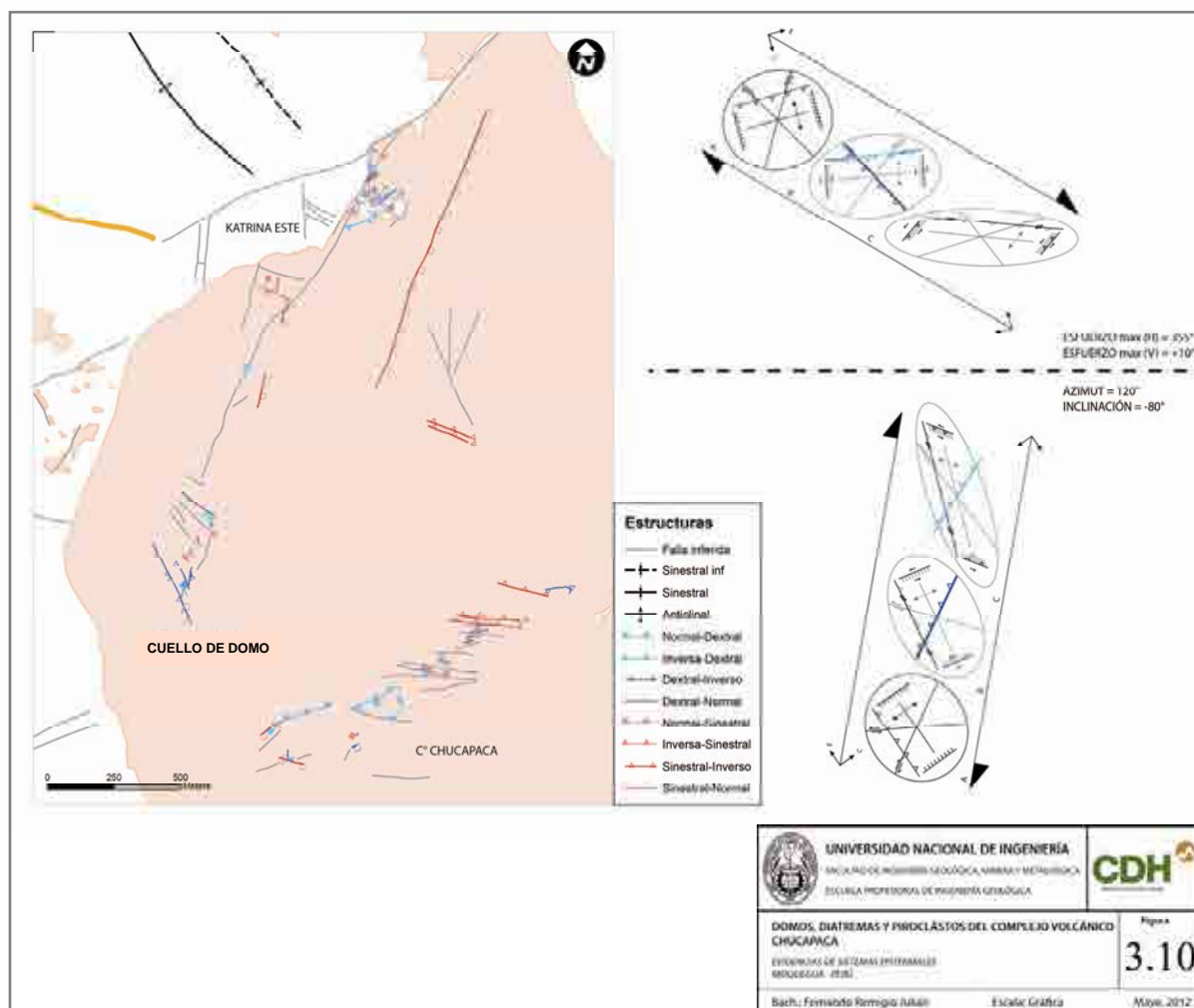
**Figura 3.8:** Plano de afloramientos de fallas generadas por un movimiento dextral-normal de las fallas andinas. En la zona de Katrina Este, la falla de movimiento Sinistral-normal (rojo-cuadrados vacios) pertenece al este del sistema.



En la Figura 3.9 y 3.10 el modelo ha mantenido su sentido dextral pero ahora ha cambiado el sentido en la vertical, con el objetivo de hacer coincidir las fallas generadas por el modelo con las fallas que se encuentran en la zona del Cuello de domo, ahora las fallas andinas deben tener un sentido de movimiento dextral-inverso. Las fallas de movimiento dextral-inverso ( $120^{\circ}$ - $150^{\circ}$ ;  $65^{\circ}$ - $75^{\circ}$ SW) se correlacionan con las fallas sin téticas del modelo. Este sentido no ha sido registrado en los trabajos anteriores de Siddorn J & Gradim R., para el depósito Canahuire, probablemente el evento sea posterior a los otros dos anteriores y sea el movimiento que levante al dominio estructural del sistema de fallas Condoroma-Caylloma y ubique nuevamente a las rocas del Mesozoico a nivel de las rocas del Cenozoico.



**Figura 3.9:** Plano de diedro y nodal para ubicar los esfuerzos de compresión y tensión en un movimiento dextral-inverso de las fallas andinas.

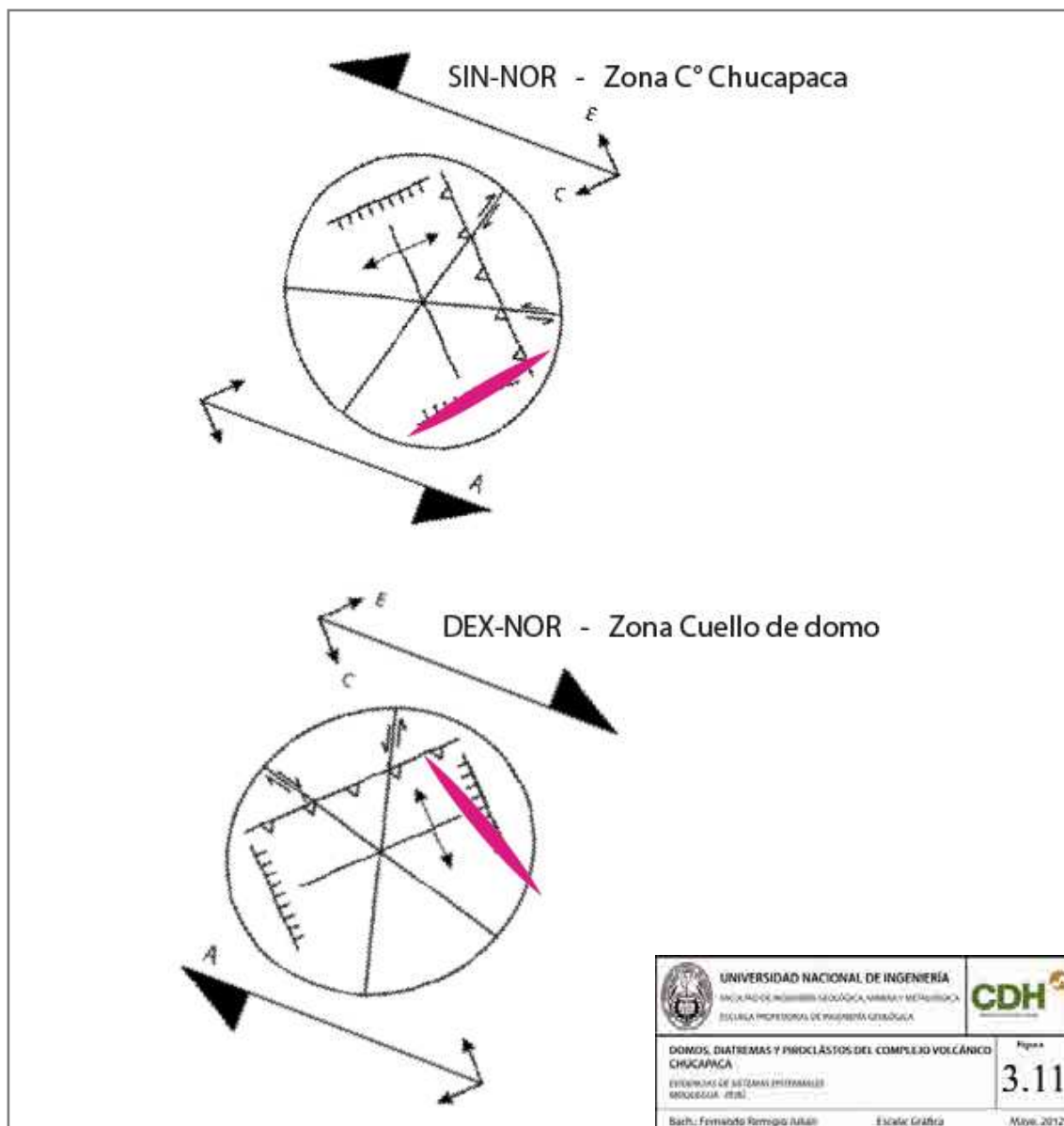


**Figura 3.10:** Plano de afloramientos de fallas generadas por un movimiento dextral-inverso de las fallas andinas. Las fallas de movimiento dextral-inverso (azul-triángulos vacíos) en la zona de Cuello de domo pertenecen a este sistema.

Los movimientos de las fallas andinas, tanto el sinistral-normal, dextral-normal y posiblemente el último movimiento dextral-inverso han generado zonas de extensión. En la zona de estudio he reconocido dos estructuras de interés económico. La primera de dirección  $035^{\circ}, 65^{\circ}$  SE y la segunda de dirección  $150^{\circ}, 80^{\circ}$  SW. Como se muestra en la Figura 3.11 (líneas en color magenta), contienen valores altos en  $A_u$ , y se han generado en ambos movimientos (sinistral y dextral) de las fallas andinas y que luego han sido

rellenadas. Ambas estructuras presentan un vector de extensión. Es evidente que el movimiento sinistral-normal de las fallas andinas, las estructuras mineralizadas (NE-SW) son perpendiculares al vector de compresión y han rellenado fallas tensionales. Igualmente, en el movimiento dextral-inverso, las estructuras mineralizadas (NW-SE) son casi perpendiculares al vector de compresión y podría corresponder al relleno de fallas de tensión.

En conclusión, las estructuras mineralizadas se han depositado en diferentes tiempo, ambas con contenido de oro, pero quizás con diferente firma geoquímica. Se interpreta que primero se emplazaron las estructuras mineralizadas NE-SW, rellenando zonas tensionales de un movimiento sinistral de las fallas regionales andina. Luego, se depositaron las estructuras mineralizadas NW-SE, rellenando zonas tensionales de un movimiento dextral de las fallas regionales de dirección andina.



**Figura 3.11:** Interpretación cinemática de las fallas en el área de estudio. Ubicación de las estructuras con valores  $> 1g/tAu$  reconocidas en campo y correlacionadas con las fallas generadas en el modelo de cizalla.

**CAPITULO IV**

**ARQUITECTURA Y EVOLUCIÓN DE LOS DOMOS**

#### 4.1 Introducción

El Complejo Volcánico Chucapaca-SW se compone de un gran conjunto de domos y reducidamente depósitos piroclásticos. Los afloramientos en el área de estudio son reducidos y suman solo el 5% del área total.

En el **Contexto Estructural**, el Complejo Volcánico Chucapaca se encuentra dentro del Dominio Geológico-Geotectónico Alto Condoroma-Caylloma (*Carlotto et al.,2009*), en el cual se encuentra el corredor estructural Mazo Cruz – Chucapaca, genera plegamientos regional y fallas asociadas de dirección andina (Fase tectónica Peruana e Inca). Las estructuras andinas son interceptadas por fallas transandinas, de segunda prioridad.

No he realizado estudios de **Dataciones Radiométricas** en el área de estudio, pero he podido correlacionar, su posición estratigráfica y su ambiente muy similar a otros domos ya datados en estudios anteriores. En campo, las secuencias de un depósito conglomerático debajo de los domos riolíticos del complejo volcánico, marcan un tiempo de levantamiento y erosión en la cuenca. Esta secuencia se encuentra descansando sobre las rocas del Grupo Maure y ayuda para determinar una cronología relativa del vulcanismo.

En el Contexto **Metalogenético**, el complejo se encuentra en la Franja Metalogenética XXII: *Franja de depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno* (*Carlotto et al.,2009*). En la elaboración del Mapa Metalogenético de la región fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú (14°S y 28°S) por INGEMMET

(Palacios et al.,2001) determina un emplazamiento de domos y pórfidos subvolcánicos, de edad Mioceno medio (15 a 10.5Ma), compuesta por domos lavas andesíticas, riolíticas y monzoníticas, asociada con facies extrusivas dómicas (domos lava) asociado a magmatismo de arco calcoalcalino rico en potasio; con posible mineralización epitermal y de transición Pb-Zn-Ag-Au y Au-Ag.

La **Litogeoquímica** la desarrollo con los resultados de 14 muestras de roca del Complejo Volcánico Chucapaca analizada por elementos mayores y traza. Los domos son riolíticos y con afinidad en la serie calcoalcalina-Alta K y shoshonítica.

El emplazamiento del Complejo Volcánico Chucapaca está asociado con la generación de **brechas** freatomagmáticas, freáticas y brechas con matriz ígnea, que generan un gran interés en el estudio del ambiente de formación y de una actividad hidrotermal con posible mineralización.

## 4.2 Trabajo de campo

### 4.2.1 Objetivo

Reconocimiento del tipo de roca y facies volcánicas para configurar la arquitectura del complejo volcánico. Análisis de las diferentes facies volcánicas para determinar el origen epigenético o singenético. Estudio de los elementos químicos de tierras raras (REE) para conocer la condiciones de presión, agua y calor del magmatismo en el emplazamiento del complejo volcánico.

#### 4.2.2 Procedimiento

- Análisis del modelo teórico de los domos.- En nuestro caso, los domos riolíticos presentan la forma de hongo, el cuello o conducto, por donde sale la lava, puede tener anchos de 20 a 100m y la lava extrusiva puede recorrer kilómetros (Dunkley P., 2009). Los cristales y direcciones de flujo forman, al interior del domo, zonas concéntricas (parecido a las hojas de una cebolla). Por lo general, la reología de la riolita no permite tener un modelo perfecto del domo.

- Datos del Cartografiado.- Se debe tener en cuenta lo siguiente:

*Para el estudio de la arquitectura del domo:*

La riolita en la zona de estudio presenta un 95% de cristales criptodómicos (se observan como una masa uniforme) y 5% de cristales >1mm. Se debe realizar tres cortes en la roca y marcar la dirección de los cristales. Con ayuda de las tres direcciones conseguir el plano de fluidización de la riolita.

*Para la determinación de facies volcánicas:*

Iniciar el análisis con la determinación si la roca está compuesta de cristales y/o cristales y fragmentos de roca. En el caso de estar formadas por cristales/fragmentos de roca, se debe determinar la génesis y tipo de agente que traslado el material. Los agentes pueden ser geodinámicos y/o magmáticos-hidrotermales.



*Para la determinación de valores Litogeoquímicos:*

Se analizan los elementos trazas (tierras raras REE y elementos con similar radio iónico). Es necesario tomar muestras de la roca fresca, las muestras alteradas generan un error en la interpretación. La muestra de esquirlas de roca debe pesar 3Kg aproximado.

*Para la toma de muestras de brechas:*

Se debe describir: Fabrica, tamaño y forma del clasto, composición de clasto y matriz, cemento y distribución espacial.

El complejo volcánico presenta variedad de brechas que deben ser clasificadas por su génesis, se debe determinar si su proceso de formación es singenético o epigenético.

- Datos del Cartografiado.- Los datos obtenidos en campo en el caso de la arquitectura del domo y brechas son almacenadas en base de datos para ser utilizadas en el programa GIS. En el caso de los datos geoquímicos del estudio de Roca Total se han trabajado en el Microsoft Excel y en el software ioGas (ver apéndice).

### **4.3 Reconocimiento de los centros dómicos**

El Vulcanismo del Complejo Volcánico Chucapaca ha tenido como facie principal el emplazamiento de domos y domo-lavas. La erosión solo permite ver el 5% del afloramiento total y el comportamiento reológico de la riolita

dificulta la configuración de los centros dómicos por su alta viscosidad. (Foto 4.1).

En el complejo volcánico se tomaron 160 datos de dirección de flujo en campo. No fue favorable realizar el análisis de las direcciones de flujo con respecto a su azimut, por razones ya explicadas líneas arriba. Sin embargo, la inclinación ha sido un dato valioso para determinar la ubicación con respecto a los centros dómicos. Entonces, se utilizó 5 rangos para los valores de inclinación de la dirección de flujo: [0-14], [15-24], [24-45], [45-78] y [78-89]; Con los valores mayores a 78° he reconocido en la zona, cuatro centros de domos. Los probables centros dómicos que tiene el Complejo Volcánico Chucapaca-SW, solo un centro dómico se ha probado, por la abundancia de datos en esta zona, y los otros tres centros dómicos restantes presentan poca cantidad de datos pero también, se presenta la geoforma. También, reconocí en la zona un cuello de domo. Aflora al Sur del centro dómico probado, como un afloramiento columnar. (Figura 4.1). (Apéndice III, Tabla de datos de coordenadas y Dip de dirección de flujo de los domos Chucapaca).

#### **4.4 Componentes volcánicos**

##### **4.4.1 Facie efusiva (Flujos de lava)**

El Complejo Volcánico Chucapaca-SW presenta en sus afloramientos tres (3) facies características de un ambiente de formación sub-aéreo: facie coherente, facie autoclástica y facie volcanoclásticas (bloques y cenizas). No

aflora en la zona, facies de talud, hialoclastitas y peperitas debido al alto grado de erosión en las rocas. (Figura 4.2).

#### **4.4.1.1 Facie Coherente**

Esta facie es el enfriamiento y solidificación del magma y la conforma el domo lava propiamente del complejo volcánico, son de composición riolítica (70% de  $\text{SiO}_2$ ), presenta textura porfirítica y bandeamiento de flujo. En el cartografiado a detalle de los domos reconocidos no muestran diferencia resaltante en su textura, geoquímica y porcentaje de cristales en el caso de feldespatos (ortosa, plagioclasa) y biotita (<5%), al parecer los domos son coalescentes.

En el borde del domo, la riolita con facie coherente presenta inclusiones milimétricas de cuarzo-areniscas (<2%), atípico en una riolita, que por su grado de viscosidad suele empujar a cualquier cuerpo extraño, sin embargo, es posible se haya formado en un ambiente de brecha freática. (Foto 4.2).

#### **4.4.1.2 Facie Autoclástica**

La fragmentación no explosiva del flujo lava, puede originarse por condiciones físicas de presión o esfuerzo puntual en una zona. Ocurre principalmente en la base, techo o lado de la lava.

Las autobrechas reconocidas en el complejo volcánico presentan clastos de riolita en una matriz correspondiente. Los clastos se presentan en forma de diedros (típico de autobrechas de composición acida), así también, se diferencia de un depósito re-sedimentado por la similitud en la alteración en

cada clasto. El complejo presenta un alto grado de erosión debido al reducido afloramiento de las autobrechas en el complejo volcánico. (Fotos 4.2 y 4.3).

#### **4.4.1.3 Facie volcanoclástica**

Aflora un depósito de piroclastos al Este del Cerro Chucapaca, su extensión es de 1x1.5 Km. El depósito está compuesto de bloques y cenizas y, está constituido de clastos en su totalidad de los domos riolíticos. La facie representa un depósito formado por el colapso de los flancos y cumbres de domos en la etapa inicial de la formación del complejo volcánico. Es cortado por diques riolíticos a riodacíticos. (Foto 4.3)

#### **4.5 Depósitos Superficiales (Solifluxión)**

En la zona se observa la actividad geodinámica de las glaciaciones, estos periodos gélidos, permite la solifluxión de los suelos por el congelamiento y dan origen a estos depósitos. Los clastos están compuestos, en su mayoría, de riolitas con alteración argílica, riolitas con alteración "vuggy silica", estas últimas perteneciente de la cima del Cerro Chucapaca. Su grado de redondez es alto, lo que evidencia una alta energía en su formación. Afloran al lado NE y NW del C° Chucapaca principalmente, pero en general los afloramientos son reducidos, y tienen una extensión no mayor a 100m x 100m.

## **4.6 Características Petrográficas**

En el estudio de secciones delgadas de las rocas del Complejo Volcánico Chucapaca se ha observado una roca riolítica microfírica, con fenocristales de cuarzo principalmente, feldespatos (sanidina), plagioclasas y biotita variable, y como minerales accesorios rutilo, apatito y esfena. Los fenocristales de cuarzo típicamente muestran una fuerte corrosión indicando una reabsorción en el ambiente de formación. La plagioclasa se encuentra fracturada (posiblemente rota durante el flujo de masas muy viscosas). La textura de la matriz varía de criptocristalina de grano fino a vidrio. En algunas muestras, el bandeamiento de flujo está reconocido en sección delgada con textura esferulita desvitrificada.

## **4.7 Composición de elementos mayores y afinidad geoquímica**

### **4.7.1 Diagrama TAS y Series Sub-Alcalinas**

De los datos de las muestras para el estudio Litogeoquímico he utilizado el diagrama TAS para conocer la composición de las muestras y el diagrama de series sub-alcalinas el cual nos permite conocer la actividad del álcalis *K* en la formación de la rocas.

Las muestras (14) tomadas en el complejo volcánico se ubican en la composición riolítica, con afinidad calco-alcalina rica en *K*, de un modo difuso por el alto porcentaje de  $\text{SiO}_2$  en las muestras. (Figura 4.3). (Apéndice IV, Análisis de Roca Total (Sillapaca y Tacaza): A y B).

#### 4.7.2 Diagrama mol Al/(Ca+Na+K) vs Al/(Na+K)

Las rocas del complejo volcánico se encuentran dentro del campo peraluminico, es decir las riolitas son débilmente sobresaturadas en alúmina, por la presencia de ortosa, plagioclasa y biotita en la roca.

#### 4.7.3 Diagrama FeO<sub>total</sub> y MgO vs SiO<sub>2</sub>

El diagrama muestra que las rocas del complejo volcánico presentan bajo contenido de oxFe y oxMn, es decir poca presencia de minerales de *Calcio-Fierro-Magnesio*, en cambio, resalta el alto contenido de SiO<sub>2</sub>.

### 4.8 Tierras raras (REE) en el Complejo Volcánico Chucapaca

Las tierras raras esta compuesta por elementos de menor abundancia en las rocas, concentraciones (ppm o sub-ppm). Las REE normalmente se encuentran incluidas dentro de los cristales formadores de roca y son afines a ciertos minerales. El estudio de las REE en las rocas del complejo nos permitirá conocer las condiciones del magmatismo al iniciar el emplazamiento. (Figura 4.4).

#### 4.8.1 Aracnogramas

Los diagramas permiten conocer el grado de diferenciación de las REE (sean livianos o pesados) y elementos afines con lo cual podemos saber si el magmatismo ha sido evolucionado en ambiente cercanos a la corteza o en el manto.

#### **4.8.1.1 Anomalía de Nb, Ta, Eu y Zr**

La anomalía negativa en Nb y Ta, corresponden a un magmatismo de subducción, debido que ambos elementos son muy compatibles en presencia de clinopiroxenos ricos en Al, y serían fuertemente particionados en estos cristales en la parte superior de una zona de subducción. (Baier et al, 2008)

La débil anomalía negativa de Eu en la riolitas puede indicar que la cristalización de la plagioclasa en la fuente estuvo suprimida debido a alta presión parcial de agua. Este puede significar que el magma fue "húmedo" y típico de un arco en una zona de subducción.

Normalmente, también se presenta una anomalía negativa en Zr en este tipo de magmatismo, pero no se ve en nuestras muestras. La falta de la anomalía negativa de Zr puede ser relacionada con la composición de poca alcalinidad presente (En magmas alcalinos el Zr es muy soluble y permanece en el magma).

#### **4.8.2 Diagrama Ce/Y vs Ce**

El ratio Ce/Y con respecto a su variación con el Ce, permite ser influenciada por la profundidad relativa de formación y/o emplazamiento del magma. El Ce aumenta sistemáticamente con la profundidad y el ratio que expresa mejor el incremento de la profundidad es el Ce/Y (Mantle et al., 2009).

El Diagrama muestra que el complejo volcánico se presenta formado entre las facies eclogitas-anfibolita (corteza transicional). Implicaría la formación en condiciones de alta presión y temperatura (Figura 4.5.A).

### 4.8.3 Diagrama Sr/Y vs Y

Un alto valor en el ratio Sr/Y puede implicar un rol del granate en corteza espesa, lo contrario, sería una asimilación del magma en la corteza superior y probablemente en un centro rico en SiO<sub>2</sub>. El magmatismo del complejo volcánico, representa un magma calcoalcalino, de un arco típico. Así mismo, tres (3) muestras de las lavas del Tacaza se presentan en el campo de Adakitas. Aunque el ambiente del Tacaza es más un ambiente extensional y quizás no relacionado directamente con subducción (slab melting) pero si a la formación de magmas primitivos por fusión del manto. Ver figura 4.5.B.

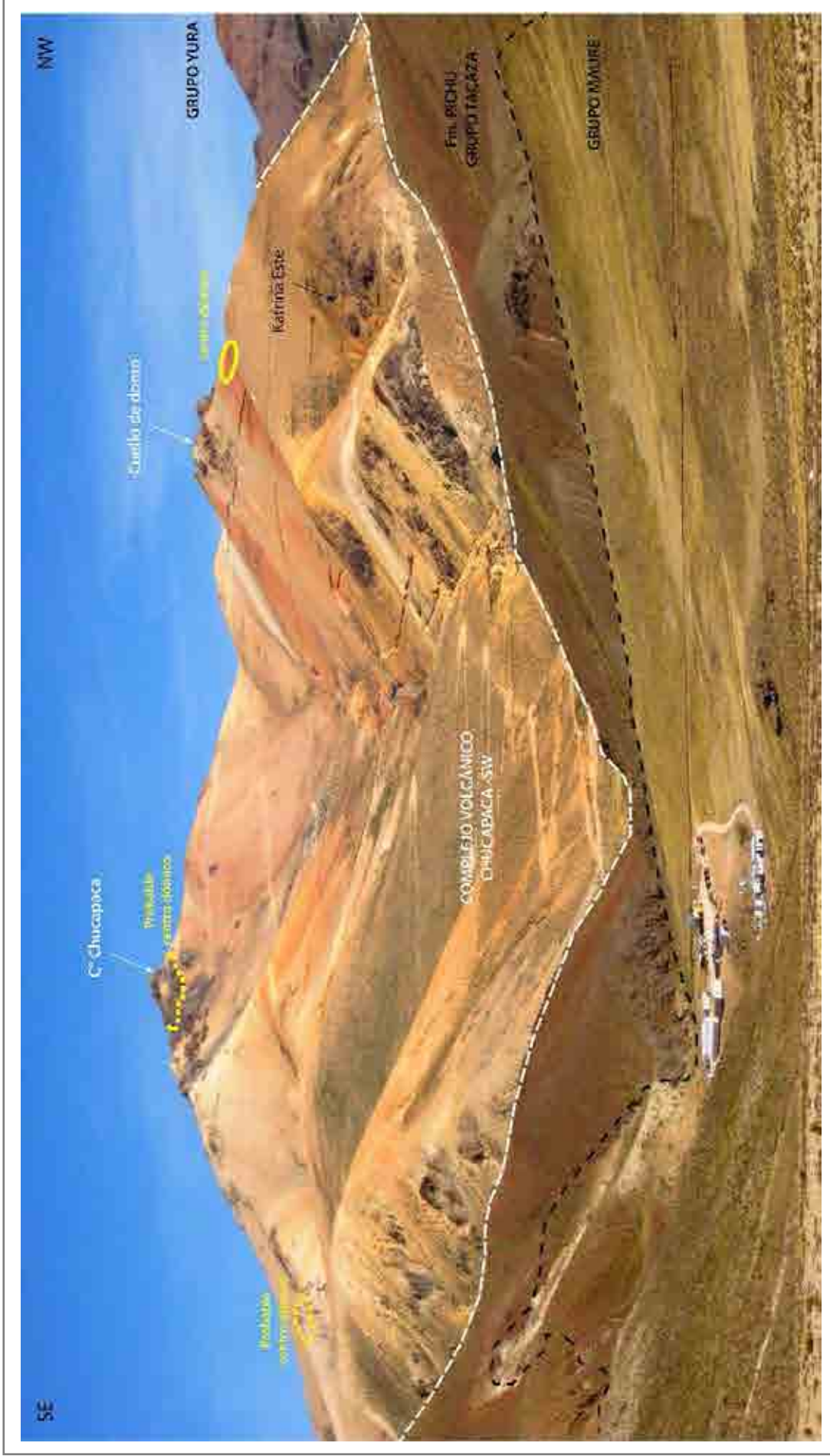
### 4.8.4 Diagrama Sr/Y vs Eu/Eu\*

El ratio Eu/Eu\* es correlacionado con la fugacidad del Oxígeno (fO<sub>2</sub>) que puede ser relacionada con la presión parcial del H<sub>2</sub>O en el magma que afecta la cristalización de la plagioclasa. Es decir, a mayor ratio del Eu/Eu\*<sup>2</sup> es menor la presencia de agua en el magma. En el caso del complejo volcánico el magma ha sido húmedo y presenta un fraccionamiento de cristales de plagioclasa, en un posible ambiente somero. Para el fraccionamiento de la plagioclasa es necesaria la presencia de agua sino no ocurriría. Ver figura 4.5.C.

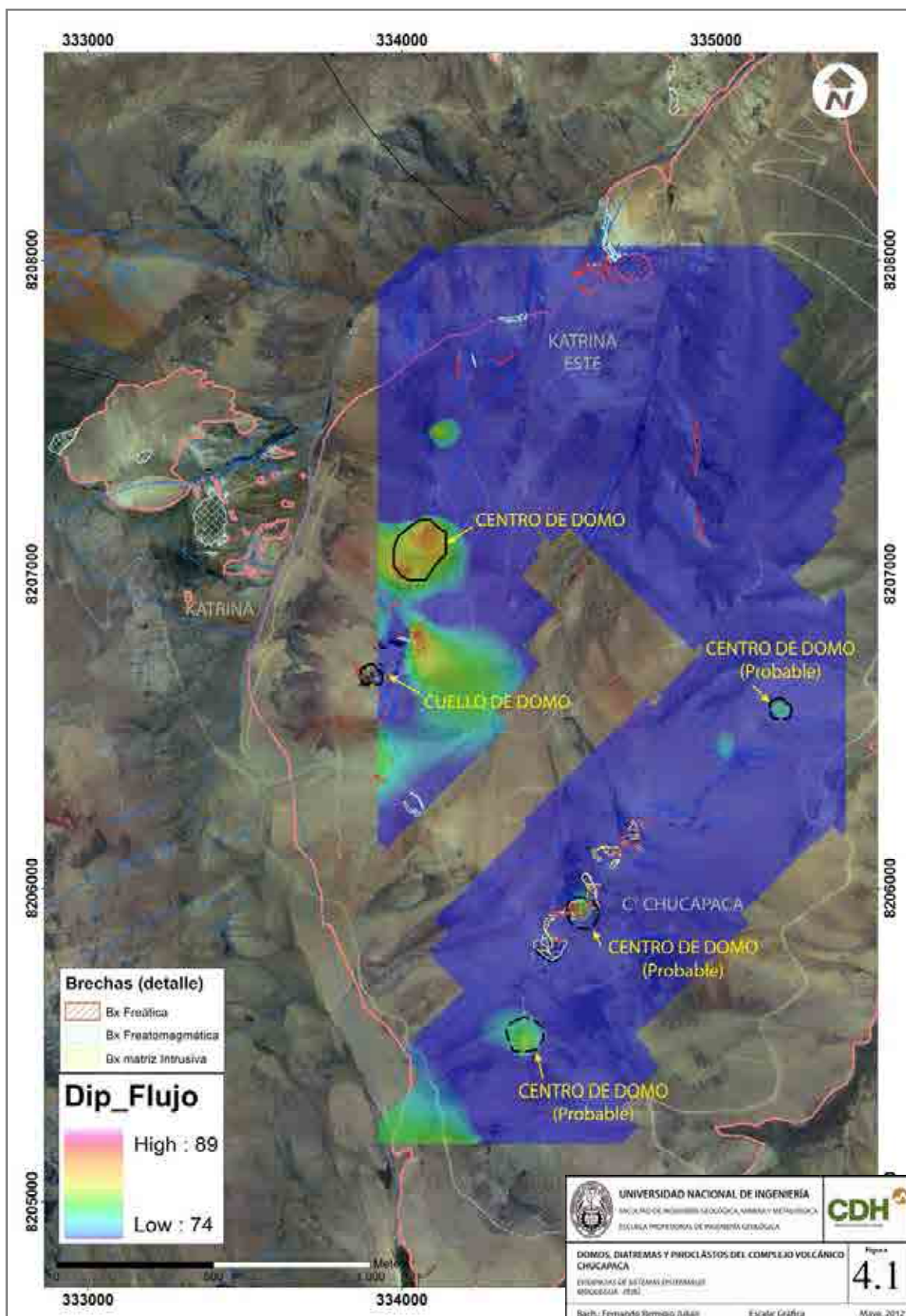
---

<sup>2</sup> Ratio de Taylor & McLennan (1985) para la medida de la anomalía del Euopio.  $Eu/Eu^* = Eu / \sqrt{Sm \cdot Gd}$  (Sm=Samario, Gd=Gadolinio). Si el ratio Eu/Eu\* es <1 la anomalía es negativa, y si es >1 la anomalía es positiva.

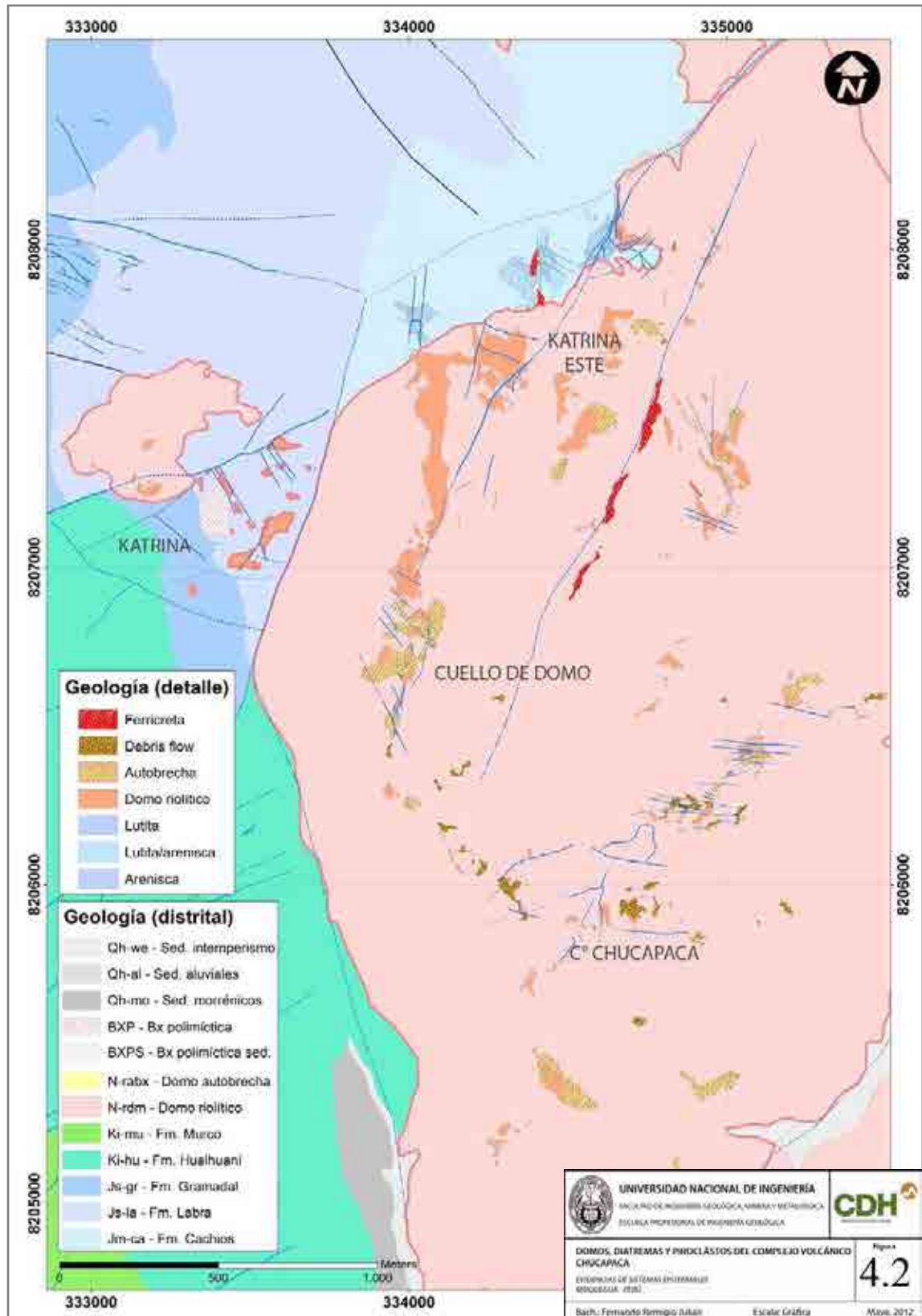




**Foto 4.1.-** Vista panorámica mirando al SW de los centros dómicos en el Complejo Volcánico Chucapaca-SW. Nótese el reducido afloramiento en las rocas del complejo volcánico, solo el 5% aflora. Se reconocieron 4 centros dómicos, solo por la cantidad de datos un solo centro ha sido determinado como centro dómico reconocido, los tres restantes han sido fundamentados con las inclinaciones de la dirección de flujo y con la geoforma.



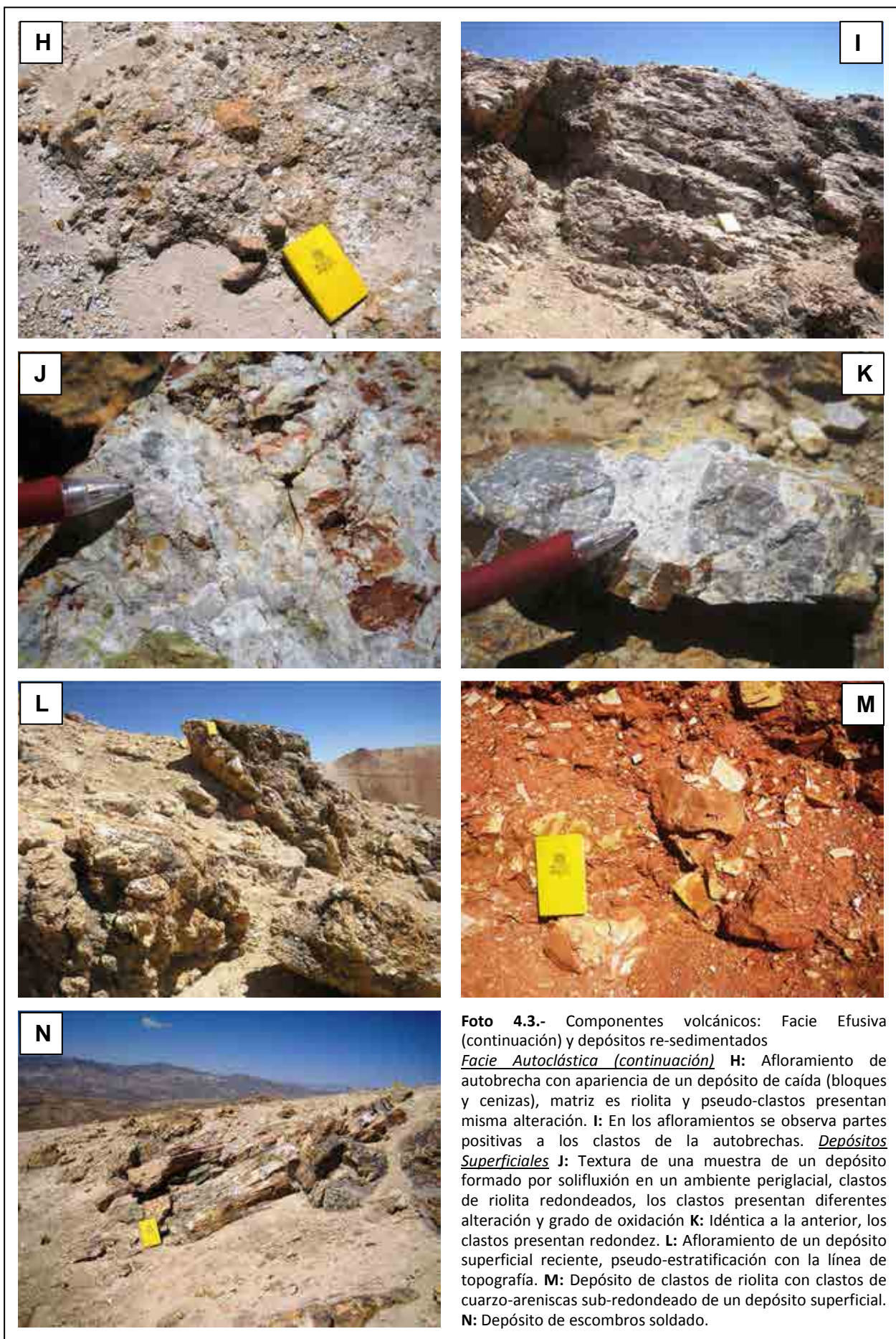
**Figura 4.1.-** Plano de los centros dómicos. Contornos isovalórico de las inclinaciones de las direcciones de flujo. Valores  $>78^\circ$  nos configuran los centros dómico. Solo un centro dómico es definido por la cantidad de datos y se encuentra al N de la espina de domo, los otros tres restantes han sido configurados con valores y geoforma en la zona.



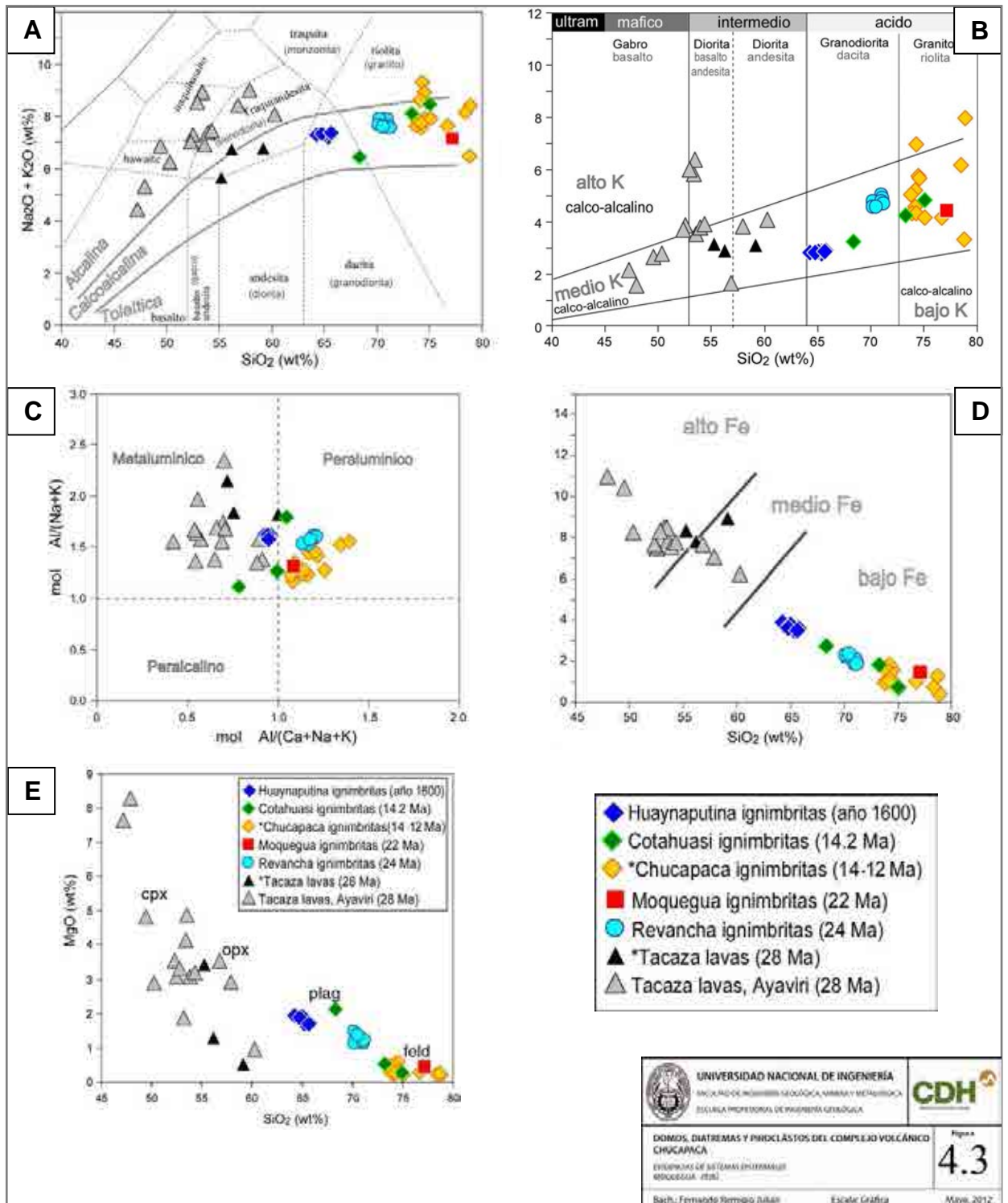
**Figura 4.2.-** Plano geológico a detalle del área de estudio. Los afloramientos son reducidos y se encuentran en cuatro (4) zonas: C° Chucapaca, Espina de domo, Katrina Este y Katrina. Las facies coherentes se presenta en las lavas y domos-lava en todo el complejo volcánico; las facies autoclástica ó autobrechas son registro del techo del flujo de lava, en este caso, son reducidos e indican el alto grado de erosión del complejo volcánico.



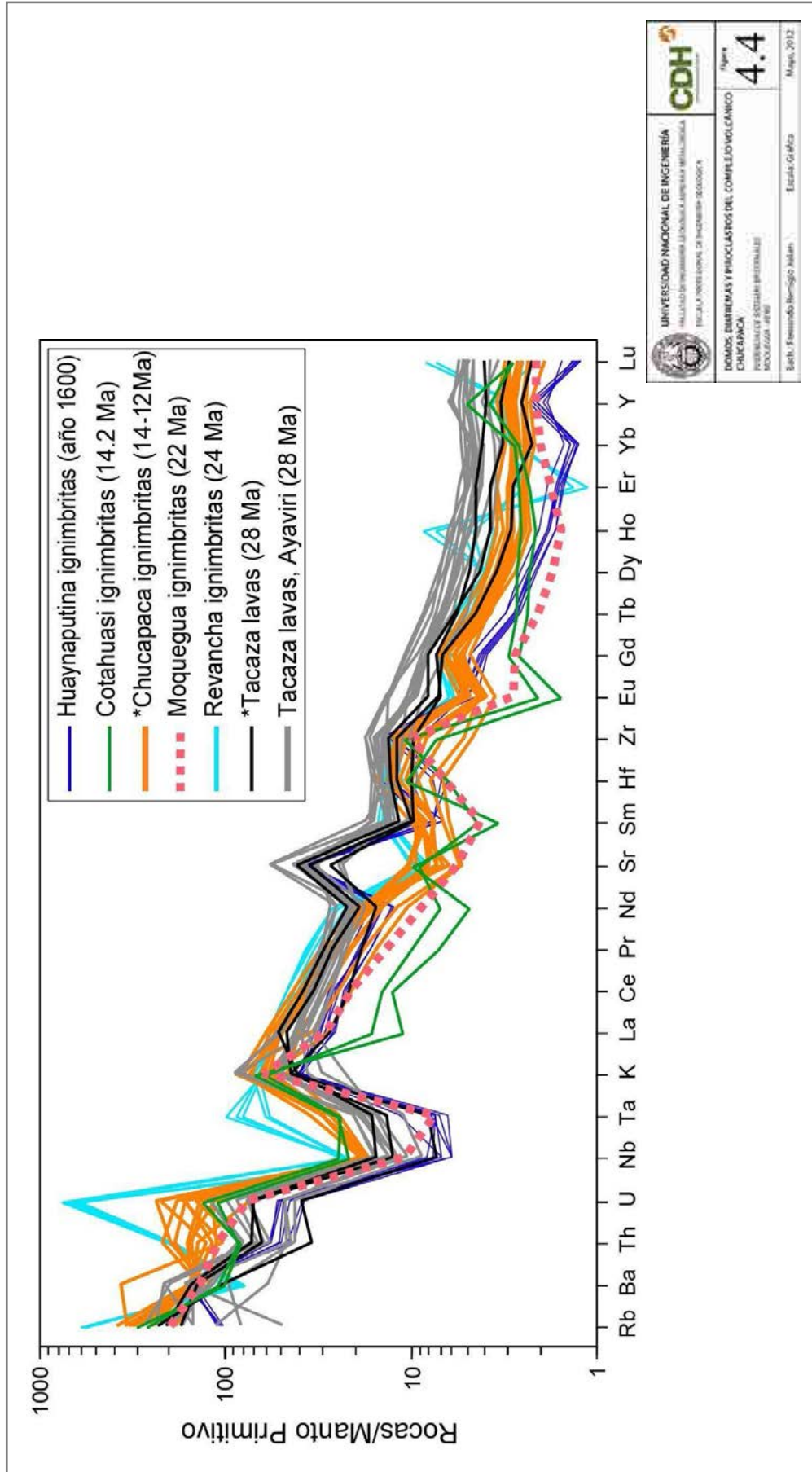
**Foto 4.2.-** Componentes volcánicos: Facie Efusiva Facie Coherente **A**; riolita con 5% de cristales de feldespatos, 3% ojos de cuarzo y trazas de biotita. Lápiz ubicado en dirección de flujo. **B**: Afloramiento de domo riolítico en acceso, fuertemente fracturado, con rellenos de oxFe (goe, hem), cerca al contacto con rocas de la Fm. Cachios. **C**: Domo riolítico cerca al emplazamiento de la Espina de domo y fallas posteriores de dirección NW-SE. **D**: Toma de dirección de flujo, se realizó tres cortes en la roca y marcó la dirección de los cristales, especialmente los feldespatos. Se colocó un plano y mide el azimut e inclinación. Facie Autoclástica **E**: Afloramiento de autobrechas, pseudo-clastos de forma de diedros típico de un magma ácido. **F**: La geoforma de las autobrechas coincide con la topografía, poca erosión. **G**: Textura de una autobrecha.



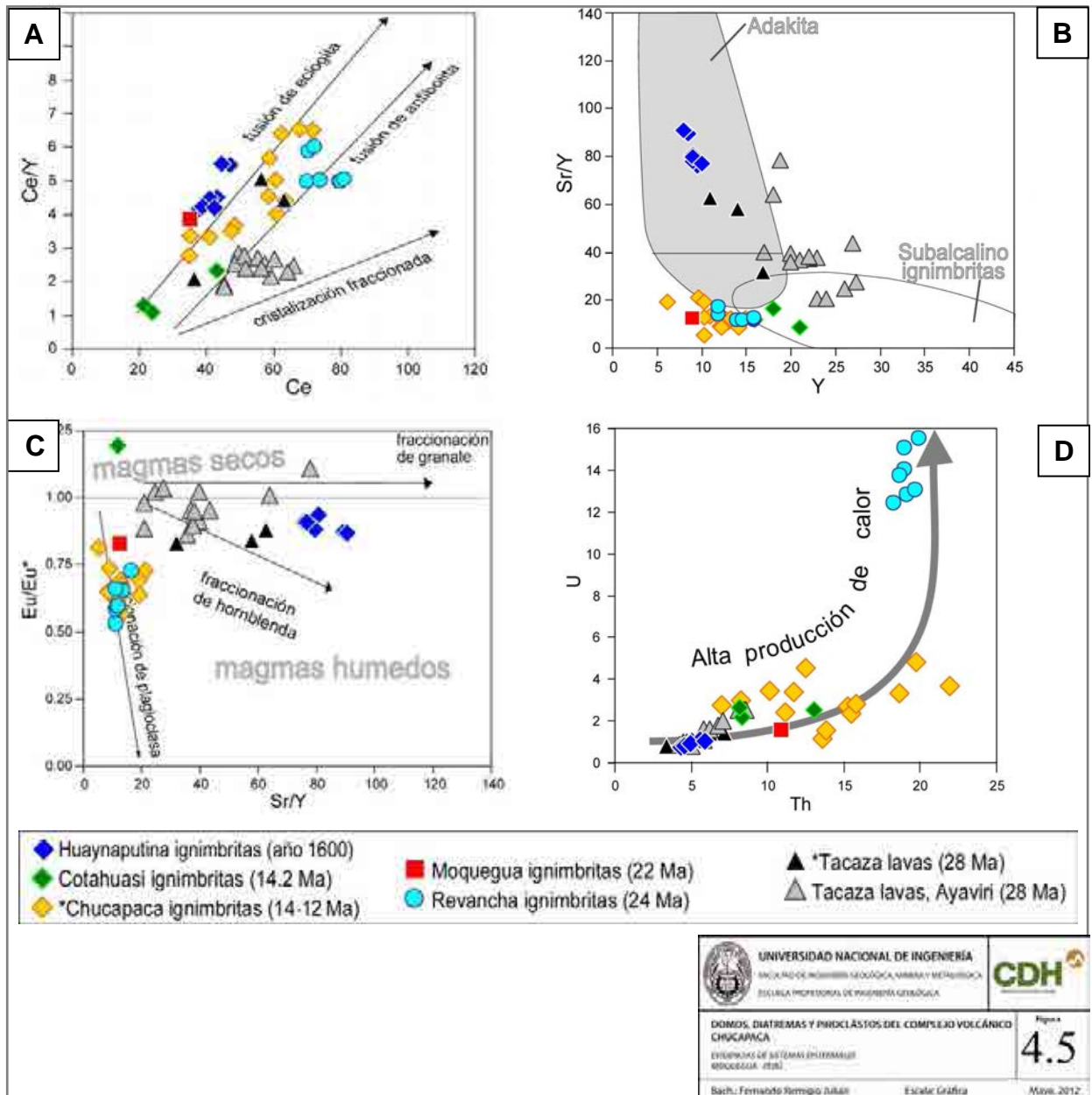
**Foto 4.3.-** Componentes volcánicos: Facie Efusiva (continuación) y depósitos re-sedimentados *Facie Autoclástica (continuación)* **H:** Afloramiento de autobrecha con apariencia de un depósito de caída (bloques y cenizas), matriz es riolita y pseudo-clastos presentan misma alteración. **I:** En los afloramientos se observa partes positivas a los clastos de la autobrechas. *Depósitos Superficiales* **J:** Textura de una muestra de un depósito formado por soliflucción en un ambiente periglacial, clastos de riolita redondeados, los clastos presentan diferentes alteración y grado de oxidación **K:** Idéntica a la anterior, los clastos presentan redondez. **L:** Afloramiento de un depósito superficial reciente, pseudo-estratificación con la línea de topografía. **M:** Depósito de clastos de riolita con clastos de cuarzo-areniscas sub-redondeado de un depósito superficial. **N:** Depósito de escombros soldado.



**Figura 4.3.-** Características petrográficas y geoquímicas de elementos mayores de las riolitas del Complejo Volcánico Chucapaca. **A:** Diagrama TAS, el complejo presenta riolitas ricas en  $\text{SiO}_2$ , asociada con los últimos eventos volcánicos. **B:** Diagrama de series alcalinas, las riolitas Chucapaca presentan una serie de afinidad calco-alcalina con medio a alto K. **C:** Diagrama mol Ca/Na/K con respecto a la variación del Al, las riolitas Chucapaca presentan débilmente enriquecimiento de Al, con feldespatos y biotitas. **D/E:** Diagrama Fetotal / MgO vs  $\text{SiO}_2$ , las riolitas presentan enriquecimiento en  $\text{SiO}_2$  y ausencia de minerales de calcio-ferro-magnesio.



**Figura 4.4.-** Geoquímica de elementos trazas. Aracnograma del vulcanismo del Sur del Perú relacionado con las riolitas del Complejo Volcánico Chucapaca, las riolitas Chucapaca presentan anomalías negativas en Nb y Ta, propio de un ambiente de subducción, y anomalías positivas en Th, U y K, probablemente similar a la formación de las riolitas Macusanitas de Revancha (depósitos de Uranio) conocido por riolitas de alta temperatura asociada con elementos radiogénicos.



**Figura 4.5.-** Geoquímica de elementos trazas (continuación). **A:** Diagrama  $Eu/Eu^*$  vs  $Sr/Y$ , el magmatismo en la zona ha sido húmedo, presencia de agua para el fraccionamiento de la plagioclasa y presenta asimilación somera, cercana a la superficie. **B:** Diagrama  $Ce$ , relacionada con la profundidad (Mantle et al., 2009), el complejo volcánico se emplaza en un ambiente de fusión eclogita. **C:** Diagrama  $Sr/Y$  vs  $Y$  (ambiente adakíticos), las riolitas Chucapaca se encuentran en un magmatismo calcoalcalino. **D:** Diagrama  $U$  vs  $Th$ , ambos elementos se presentan anómalos positivos y presentan valores cercanos a los registrados por Sandeman (1995) en las riolitas de Revancha, posiblemente la energía generada por el complejo volcánico tenga una intervención de la energía generada por elementos radiogénicos.



## 4.9 Brechas

### 4.9.1 Introducción

En la zona de estudio se presenta por la evolución del complejo dómico, brechas singenéticas y también se encuentra brechas post-evento. Para su clasificación se ha tomado el trabajo de Sillitoe R. (1985), el cual clasifica a las brechas de acuerdo a su mineralización. Son 5 tipos principales de brechas, con algunos subtipos. (Figura 4.6). El estudio realizado por la Dra. Jacqueline Blackwell para las brechas de Canahuire ha sido el soporte para la toma de datos de campo en el área de estudio. La estructura orgánica del trabajo se puede ver en el Apéndice V, Estudio Petrográfico de las brechas.

<p><b>BRECHAS MAGMÁTICO – HIDROTERRMALES</b></p> <p><b>Chimeneas de brechas</b></p> <p>Tipo pórfido (cuerpos de brecha asociados a sistemas porfíricos)</p> <p><b>BRECHAS HIDROMAGMÁTICAS</b></p> <p><b>Freáticas</b></p> <p>Depósitos epitermales</p> <p>Depósitos tipo pórfido</p> <p>Kuroko (sulfuros masivos)</p> <p><b>Freatomagmáticas</b></p> <p>Sistemas maar - diatrema</p> <p>Depósitos tipo pórfido y epitermales</p> <p><b>BRECHAS MAGMÁTICAS</b></p> <p>(Volcánicas)</p> <p><b>Diatremas volcánicas</b></p> <p>Tipo pórfido y otros depósitos.</p> <p><b>BRECHAS INTRUSIVAS</b></p> <p>Con matriz intrusiva</p> <p><b>BRECHAS TECTÓNICAS</b></p> <p>Fracturamiento frágil en fallas</p>
--

*Sillitoe, 1985*

#### 4.9.2 Brechas freáticas

Este tipo de Brechas se forman en niveles cercanos a la superficie (<1km) y están asociadas a estructuras volcánicas (domos, diatremas, calderas). La génesis de las brechas se debe al aumento de la presión hidrostática en sistemas hidrotermales debajo del nivel freático (sellamiento por depositación de sílice hidrotermal a niveles someros). El brechamiento se puede activar por intrusión, fallamiento o deslizamientos, lo que induce el fracturamiento hidráulico, la repentina descompresión del sistema presenta transformación violenta del agua sobrecalentada a vapor, lo que conduce a una explosión hidrotermal. (Brechas relacionadas a la mineralización, Universidad de Chile).

Las brechas freáticas se presentan en dos (2) eventos de formación:

Singenéticas relacionado al emplazamiento del complejo volcánico y se exponen en el borde de los domos riolíticos. Los clastos están compuestos de lutitas, areniscas, limolitas e incluso clastos milimétricos de riolita; la matriz es la riolita del complejo dómico mayormente o también se presenta una matriz correspondiente, cuando estamos en el ambiente de las rocas sedimentarias del Grupo Yura. Es atípico ver clastos en una riolita, solo es posible si el ambiente es netamente freático; las brechas con características típicas de freáticas se encuentran cortando las secuencias sedimentarias y la matriz, en estos casos es polvo de roca. (Foto 4.4).

Epigenéticas, son brechas con clastos del domo (alterado con vuggy silica) principalmente y corta al complejo volcánico en los centro dómicos reconocidos, e incluso a los últimos eventos de brechas en la zona. En

muestra de mano la brecha contiene >30% de espacio vacío y rellenos de oxFe (goe, hem). (Foto 4.5). A diferencia de las brechas generadas en el primer evento, estas últimas presenta una fuerte relación con la incipiente mineralización en el área de estudio. (Figura 4.7)

### **4.9.3 Brechas freatomagmáticas**

Las brechas freatomagmáticas se forman por un origen freático con un componente magmático: es decir, de la interacción tipo combustible-refrigerante entre el magma y una fuente externa de agua. El refrigerante puede ser un acuífero confinado o la presencia de una falla por donde percole el agua subterránea. Es característico tener múltiples explosiones y la presencia de material juvenil, referido a componentes magmáticos formados durante el proceso de la explosión. (Foto 4.6).

Las brechas afloran en el borde de los domos, en contacto con las rocas sedimentarias del Grupo Yura. Los clastos están compuestos de areniscas, lutitas y riolitas, estas últimas como fragmento y material juvenil. En el caso de fragmentos de riolitas son angulosos, en cambio, el material juvenil presenta formas amorfas debido a su estado plástico durante su formación.

En la zona Katrina, se ha emplazada una brecha freatomagmática de 190m x 80m de dirección N-S, polimíctica de clastos de riolita, lutitas, areniscas y caliza oxidada. Su emplazamiento está asociado a los múltiples ascensos de domos satélites en el borde Oeste del complejo volcánico. En el área de estudio también se presenta un afloramiento conspicuo en la zona de Katrina Este, Norte del complejo volcánico, su extensión es de 150m de

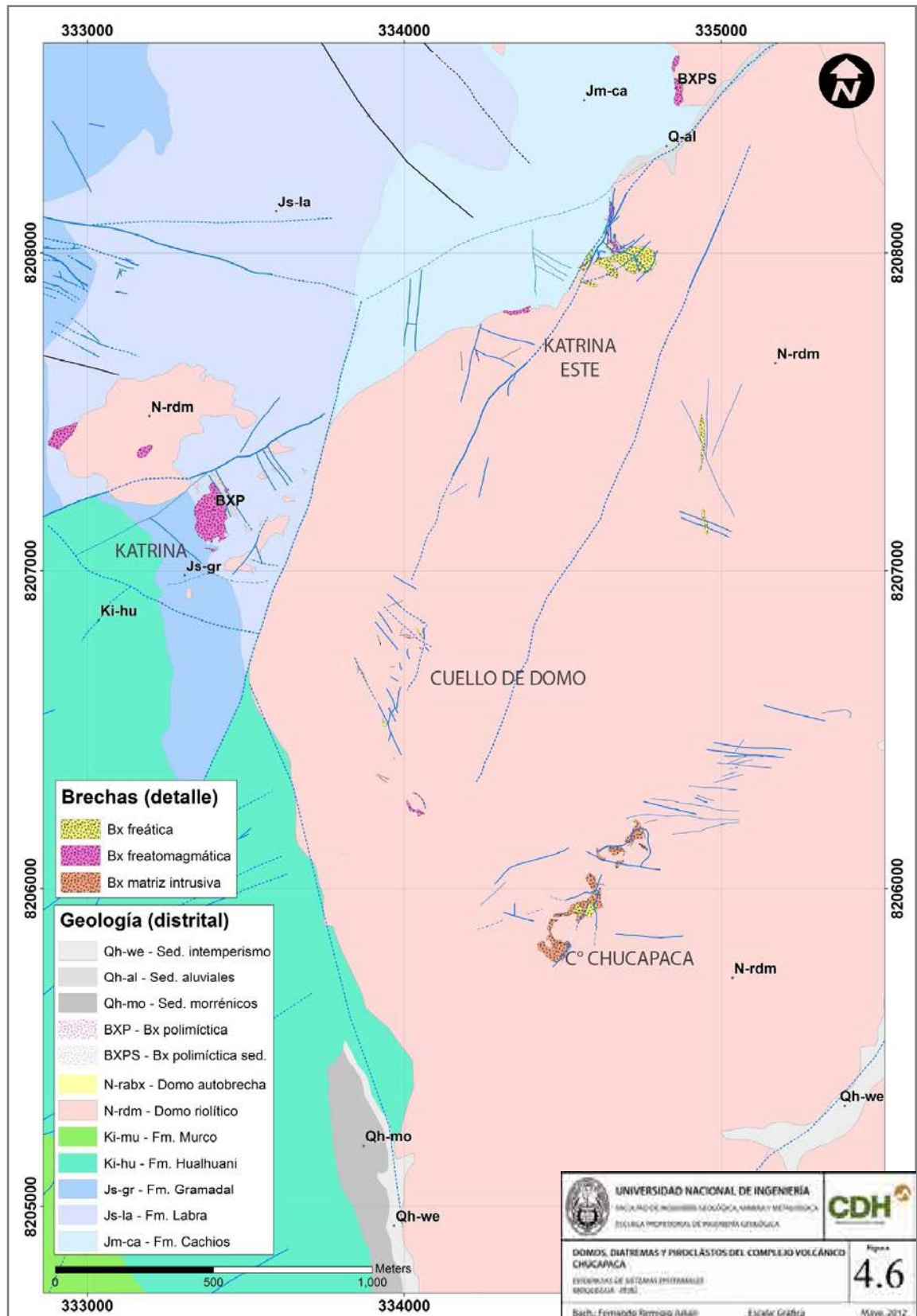
largo en una dirección N-S, con un ancho promedio de 15m., y está en el contacto del domo con la secuencias de lutitas y areniscas de la Formación Cachios. (Figura 4.8).

#### **4.9.4 Brecha de matriz intrusiva**

Es la inyección de magma a rocas pre-existentes, generando un fracturamiento e incorporación de los fragmentos al fluido. (Foto 4.7).

Aflora en dos zonas del complejo volcánico. El afloramiento más reducido se encuentra en el cuello de domo, con 10m de longitud, con un ancho promedio de 0.3m. En cambio, en el Cerro Chucapaca, se presenta la mayor expresión con una longitud de 500 x 50m.

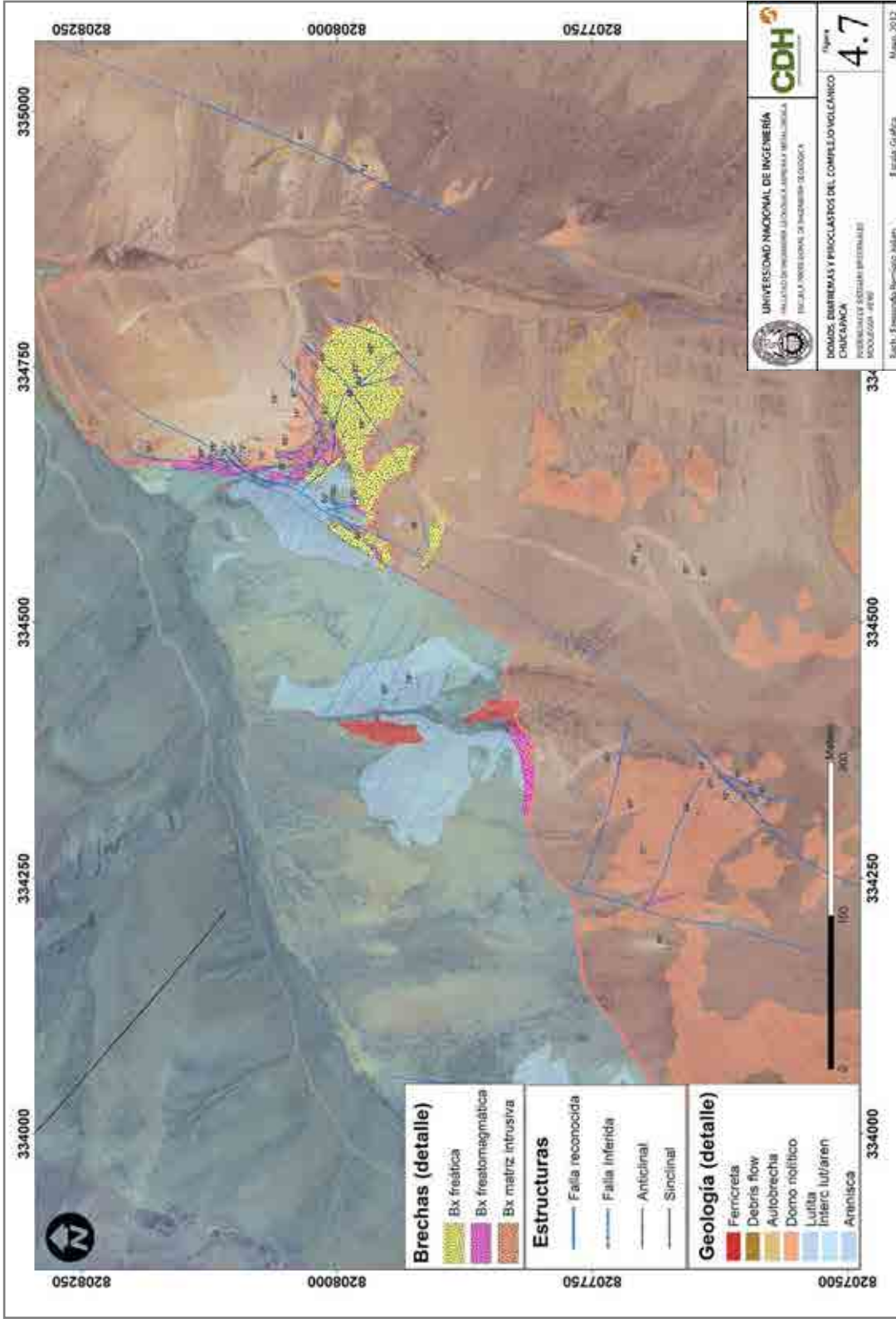
La brecha principal presenta como matriz una riolita rica en  $\text{SiO}_2 > 72\%$ , con clastos de lutitas, areniscas cuarzosas y riolita con un alto grado de “vuggy silica”, es cortada por venillas de sílice calcedonia y opalina (sílice de baja temperatura). (Figura 4.9).



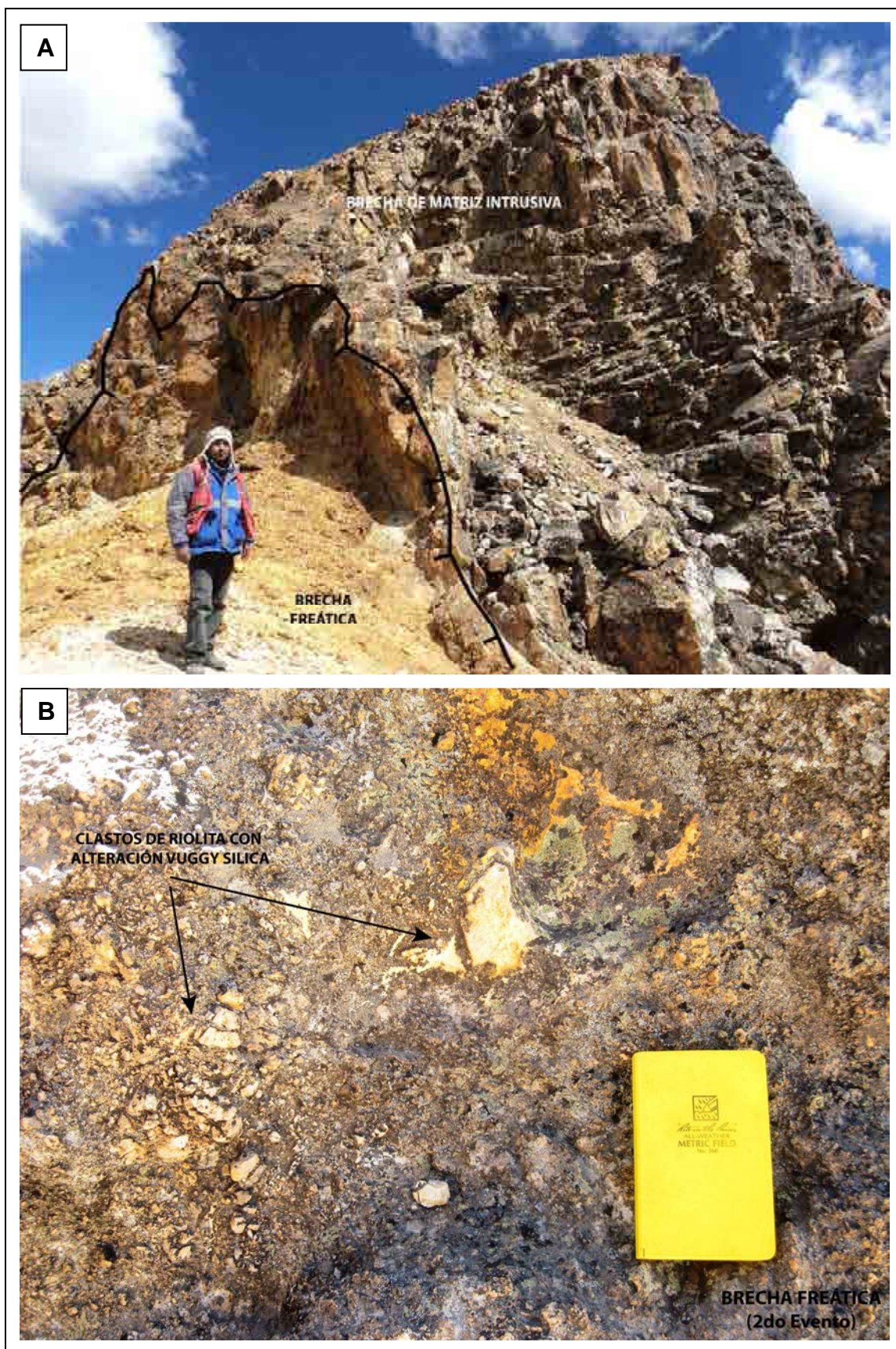
**Figura 4.6.-** Plano de ubicación de brechas singenéticas y epigenéticas en el área de estudio. Las brechas freáticas relacionada a dos (2) eventos, syn-emplazamiento y posterior a toda actividad magmático-hidrotermal. Las brechas freatomagmáticas asociada al borde del complejo volcánico y la brecha de matriz intrusiva aflora en los centro dómicos como el Cerro Chucapaca y la Espina de domo.



**Foto 4.4.-** Brechas freáticas singenéticas. **A:** Afloramiento de brechas freática de clastos subredondeados de cuarzo-areniscas en el contacto entre el domo y la Fm. Cachios. **B:** La brecha contiene clastos métricos sub-redondeados de cuarzo-areniscas, la distribución es caótica y no presenta arreglo interno. **C:** Clastos de cuarzo-areniscas angulosos y subredondeados predominan en esta brecha.

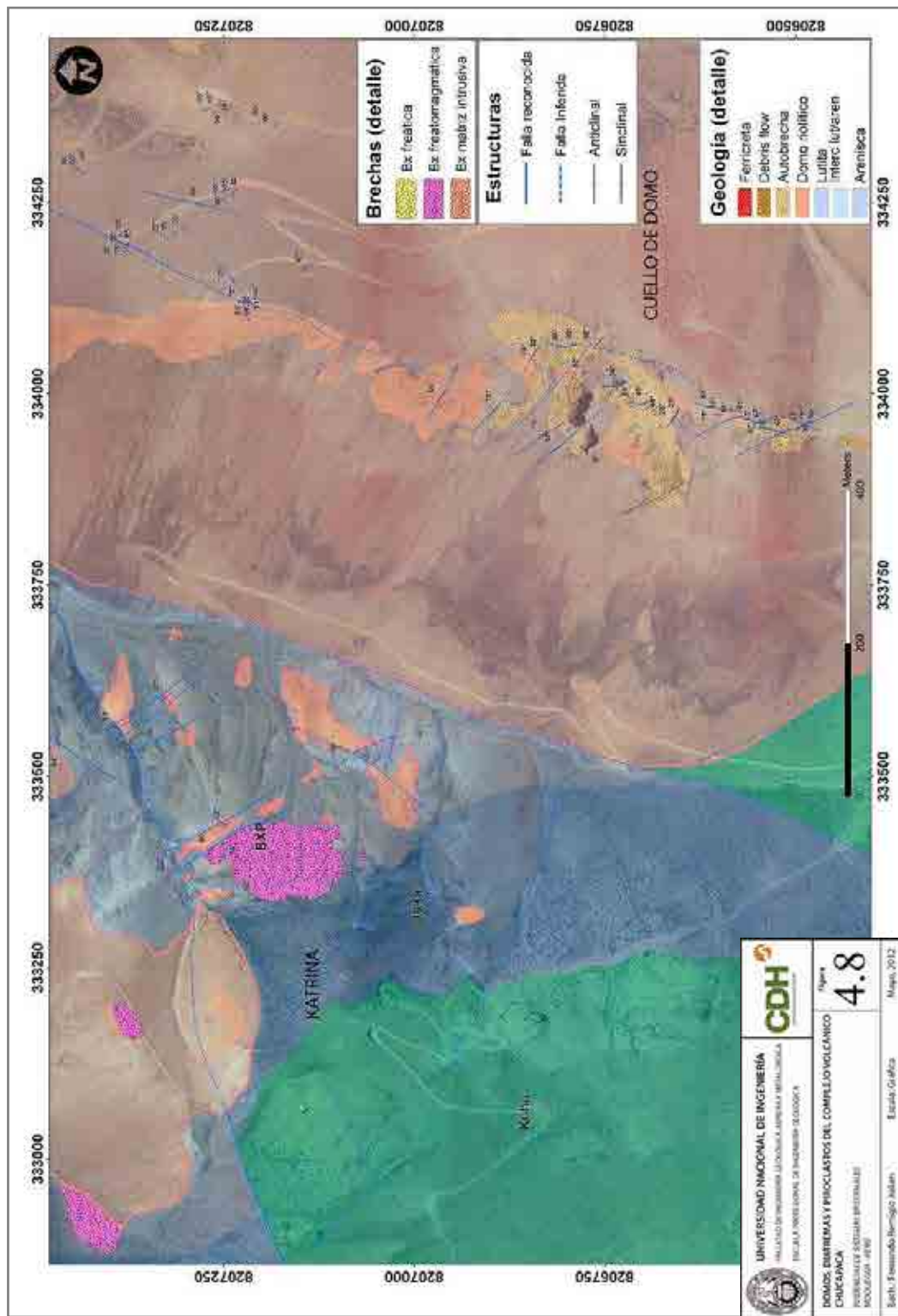


**Figura 4.7.-** Plano de ubicación de brechas en la zona Katrina Este. Aflora una brecha freática en contacto con las rocas de la Fm. Cachos, posterior a este evento, está asociada a la inyección de brecha freatomagmática que cortan a la brecha freática.

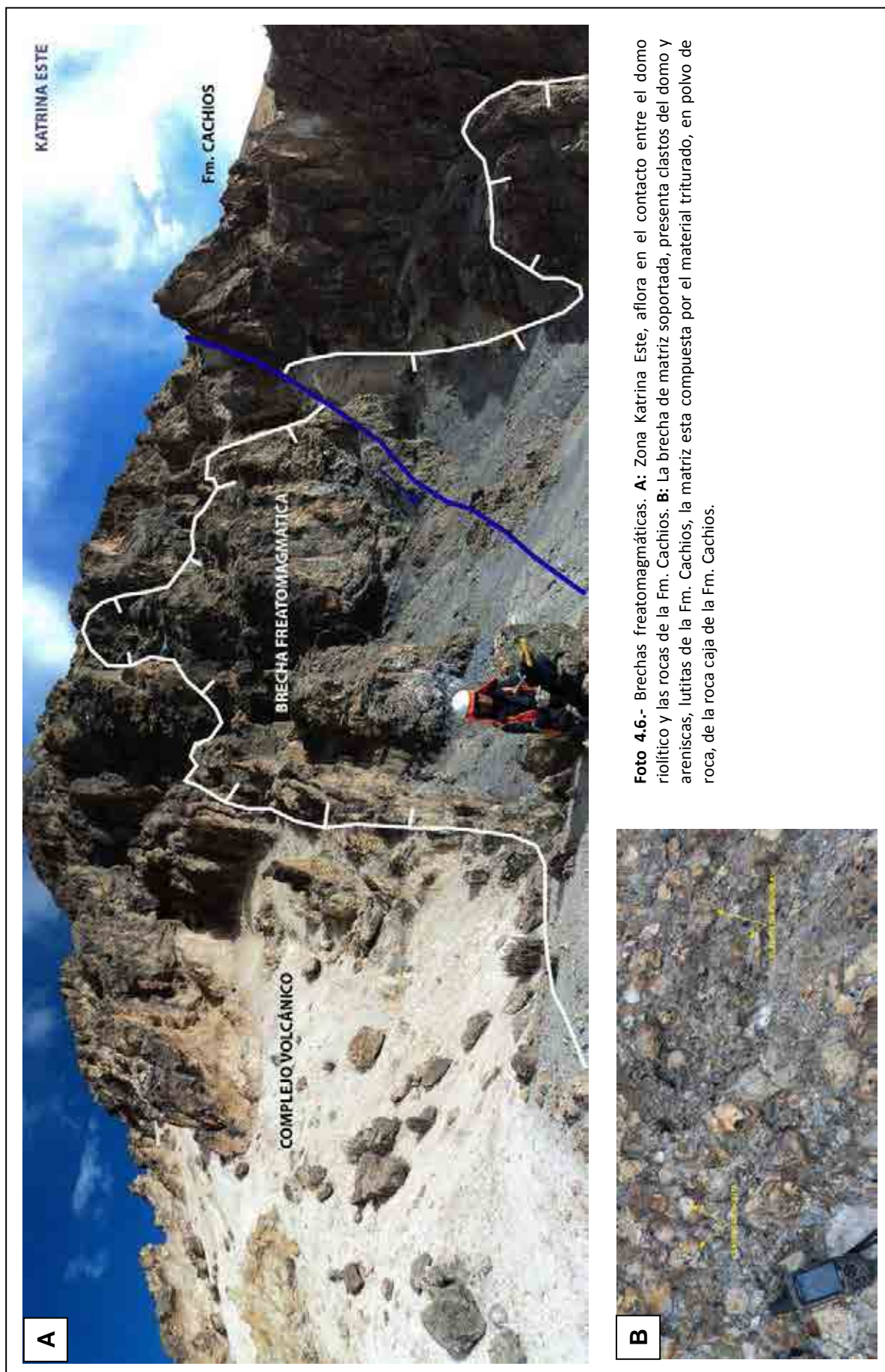


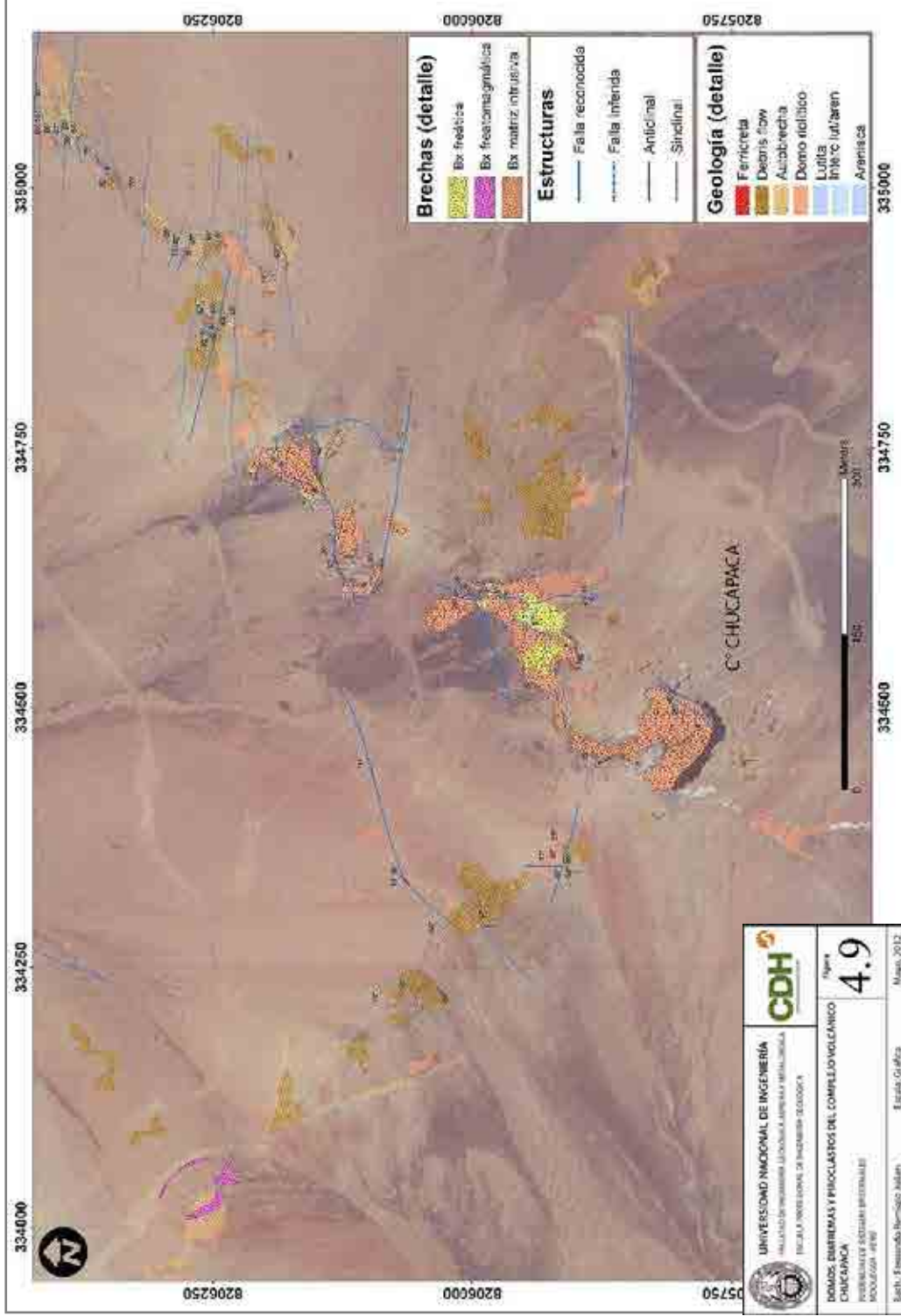
**Foto 4.5.-** Brechas freáticas epigenéticas. **A:** En la cima del C° Chucapaca la brecha corta a la brecha de matriz intrusiva. **B:** Presenta clastos de domo riolítico con alteración “vuggy silica” en una matriz de polvo de roca, con rellenos de  $\text{oxFe}$  (goe, jar) y sílice calcedonia.



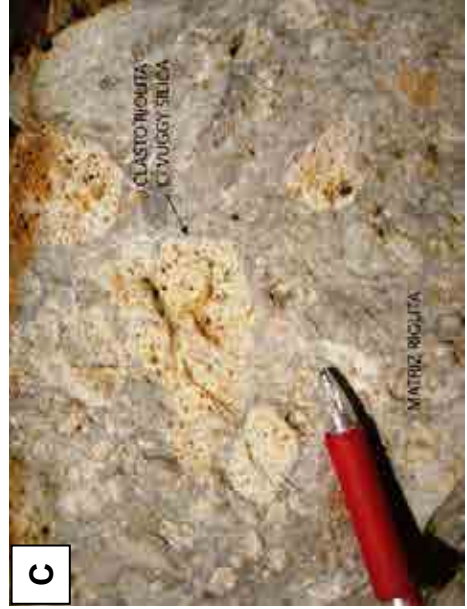
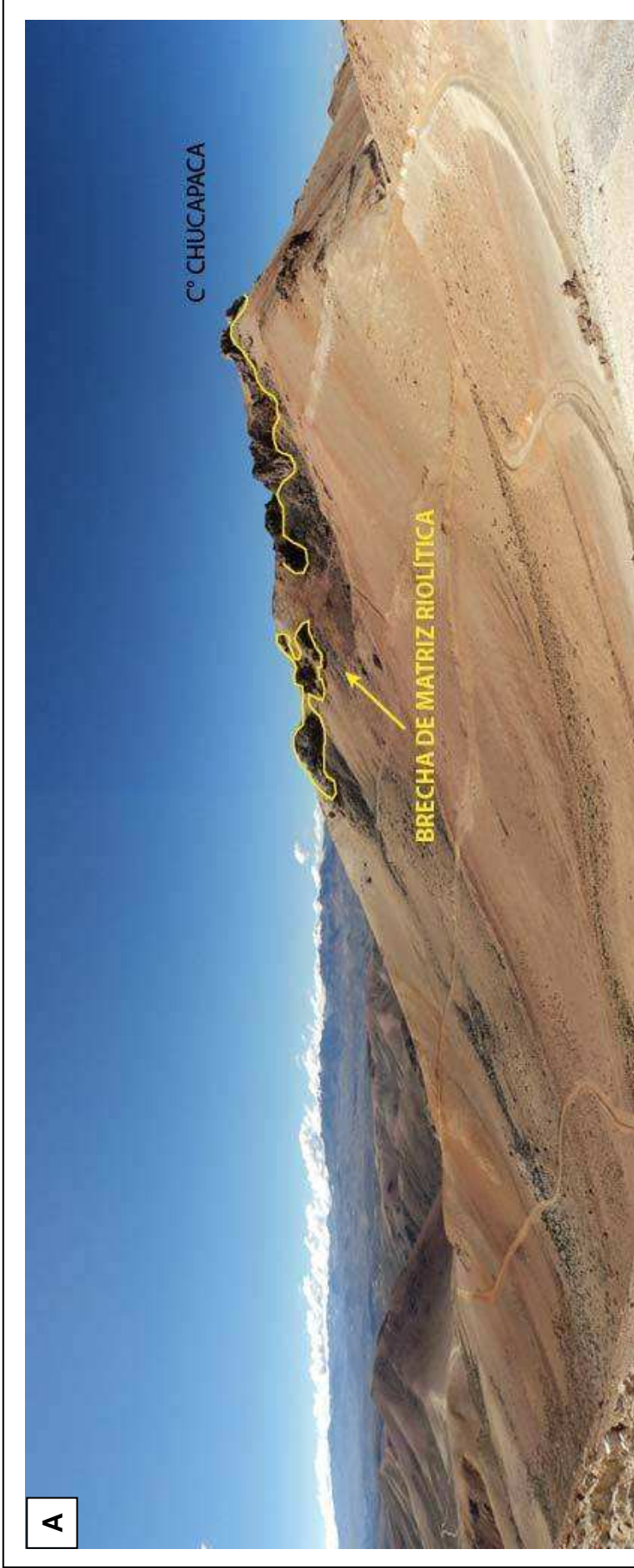


**Figura 4.8.-** Plano de ubicación de brechas en las zonas del Cuello de domo y Katrina. La brecha freatomagmática, en la zona de Katrina, está asociada al emplazamiento de domos satélites aislados, en el contacto entre la Fm. Labra y Gramadal. Al NW de Katrina, aflora un domo riolítico con inyecciones de brechas freatomagmáticas en el centro y borde W del domo. Brechas de matriz intrusiva afloran en la cima del Cuello de domo.





**Figura 4.9.-** Plano de ubicación de brechas en el Cerro Chucapaca. La brechas de matriz riolítica aflora en la cima del C° Chucapaca y en el Cuello de domo (Figura 4.8), de dirección NE y subvertical. La brecha de matriz soportada, presenta clastos del domo riolítico con alteración vuggy sílica. Al lado SW de la brecha se puede observar clastos de cuarzo-arenisca, lutitas de la Fm. Hualhuani



**Foto 4.7.-** Brechas de matriz intrusiva. **A:** Vista Panorámica del C° Chucapaca donde se puede observar los afloramiento de las brechas de matriz riolítica. Las brechas afloran en la cima principalmente y presentan una dirección NE. **B:** Al lado SW de la brecha, presenta clastos de cuarzo-areniscas, lutitas de la Fm. Hualhuani conjuntamente con clastos del domo con alteración. La brecha se encuentra cortada por sílice de temperatura baja, sílice opalina y calcedonia. **C:** Clastos de riolita con moderada alteración “vuggy sílica”.

#### **4.10 Evolución magmática del complejo volcánico**

En general, el ambiente tectónico - geoquímico es más relacionado a una zona de Rifting - Transpresión de un ambiente de Back-arc. Las lavas del Grupo Tacaza son típicas de un ambiente tensional, con altos volúmenes de lavas (tipo flood) en un área extensa, de composición básica y débilmente alcalino (Andesitas traquibasálticas – Traquibasaltos). Probablemente estas lavas fueron erupcionadas a principio de la generación del ambiente tensional. Este ambiente siguió durante la depositación del Grupo Maure, con cuencas lacustrinas extensas en toda la región. En la época de la depositación del Grupo Maure, tenemos ignimbritas riolíticas de gran volumen y complejos de domos riolíticos (Vulcanismo Sillapaca).

Los domos tienen características de magmas con alta presión parcial de agua, típico de un arco, de carácter calcoalcalino (alto en K), casi shoshonítico. Entonces tienen características de magmas de zonas de subducción y de rifting. Probablemente hubo reservorios riolíticos en la corteza a profundidad, con cámaras más pequeñas a niveles altos.

En el ascenso del magma para la formación del complejo volcánico, se emplazan múltiples domos, solo cuatro centros han sido reconocidos y un cuello de domo, los domos son coalescentes. El borde del complejo volcánico ha interactuado con las agua de la paleo-napa freática generando brechas freatomagmáticas (zona Katrina y Katrina Este). En zonas con ausencia de agua superficial, los fluidos magmáticos generan brechas freáticas. Todas estas estructuras son parte de la evolución del domo y son ambientes permeables con interés geológico en las exploraciones.

Posterior al emplazamiento del complejo volcánico se presenta un estadio hidrotermal, principalmente en dos centros dómicos y generando un ambiente epitermal en la zona.

#### **4.11 Comparación del vulcanismo del Complejo Volcánico Chucapaca con el vulcanismo regional en el Sur del Perú**

En el sur del Perú, se han realizado diferentes trabajos analizando la abundancia, concentración y diferenciación de las REE en las rocas volcánicas. Mamani et al., (2009) presenta un trabajo acerca de la “Variación geoquímica en las rocas ígneas del Oroclino Andino Central” y su relación con el engrosamiento cortical. El trabajo de Mamani et al., (2009) recopila información de elementos mayores y menores de rocas ígneas y también de isotopos de Sr-, Nd- y Pb-, de rocas Jurásicas a la actualidad.

En los diversos diagramas realizados para el estudio del Complejo volcánico Chucapaca, se ha planteado valores recopilados por Mamani et al y Sanderman de las rocas volcánicas del Sur del Perú, desde los 28Ma, pertenecientes al Grupo Tacaza, y de edad reciente (1600 años.) pertenecientes al vulcanismo Huaynaputina.

Mamani et al., (2009) concluye que después de los 30Ma aproximadamente el vulcanismo en el sur del Perú presenta una variación de migrar de Oeste-Este, cambia el sentido a Este-Oeste, iniciando desde esta edad el engrosamiento de la corteza terrestre. El engrosamiento de la corteza está reflejado en los ratios de REE que indican que el granate fue estable en los

magmas y zonas de Subducción, siendo este estable a mayor presión y temperatura.

En general, en los diagramas se puede observar que el magmatismo desde los 30Ma pasa de máfico a ácidas produciéndose una ligera variación en la composición después del emplazamiento del Complejo Volcánico Chucapaca, pasando a formar rocas intermedias-ácidas. El magmatismo en este periodo pasa de una serie alcalina a calco-alcalina, produciendo enriquecimiento en silicatos y disminución de minerales de calcio-fierro-magnesio. Según Mamani et al., (2009) deberíamos tener un engrosamiento de la corteza, la fraccionación de cómo el granate y/o hornblenda debería presentarse en el magmatismo; En cambio, en el Complejo Volcánico Chucapaca presenta como fraccionación a los feldespatos posiblemente generados en un ambiente somero, es probable haber tenido en la evolución del magma que formo los complejos un alimentador como una posible fuente “*mushes*” (Bachman et al., 2008) cercanas a la superficie, estas zonas “*mushes*” son pequeñas cámaras cercanas a la superficie (<10km) y permitan generar un magmatismo rico en SiO<sub>2</sub> (>70%) y en volátiles.

**CAPITULO V**

**ALTERACIÓN HIDROTERMAL y SUPÉRGENA**



## **5.1 Introducción**

EL Complejo Volcánico Chucapaca-SW presenta una zona central de alteración “vuggy sílica”, rodeada por alteración argílica avanzada y pasa con condiciones de más baja temperatura a una alteración argílica intermedia y en la periferia afloran zonas oxidadas.

Realicé el análisis de minerales de alteración con el equipo PIMA-Terraspec. En total, 182 muestras de superficie y 811 de sondajes de perforación diamantina fueron analizadas, los análisis de los minerales de alteración han sido agrupados en ensambles de minerales con la misma condición de formación fisicoquímica. Los ensambles son: vuggy sílica, argílica avanzada, argílica intermedia y oxidación.

La alteración vuggy silica y argílica avanzada se concentran en el Cerro Chucapaca y Cuello de domo, ambos centros dómicos. Posterior al desarrollo de las alteraciones hidrotermales se emplazan, solo en estas dos zonas, brechas de matriz riolítica y brechas freáticas con mineralización. La zonas de oxidación se encuentran en la periferia del complejo volcánico, completando un típico sistema epitermal de alta sulfuración (HS). (Figura 5.1). (Apéndice VI.- Tabla de de minerales de alteración leídos por el equipo TERRASPEC).

## **5.2 Trabajo de campo**

### **5.2.1 Objetivo**

Reconocer minerales productos de alteración, determinar el mineral pre-existente y conocer las condiciones físico-químicas de su formación.

### 5.2.2 Procedimiento

- Muestreo para alteración: En el campo se toma una muestra con la forma de una “lámina delgada”, donde una de sus caras debe tener el corte reciente (galleta), se observa en la lupa minerales alterados, su estilo e intensidad.

Hemos utilizado el Terraspec 4 (Espectrómetro elaborado por Analytical Spectral Device, INC.) para conocer mediante la espectrometría de reflectancia los minerales no observados a la simple vista, así también, como presencia de agua, arcillas y minerales claros.

Cada mineral al ser analizados presenta su reflectancia de absorción en su respectiva longitud de onda.

- Análisis del resultado: Los minerales de alteración reconocidos por el equipo Terraspec 4 son ordenados de acuerdo a su abundancia. Después, los minerales son geo-referenciados en el plano y dentro del contexto de estudio se realiza el análisis de la asociación mineral con ayuda del cuadro de Presión vs Temperatura realizado por Corbett & Leach, (1997).

## 5.3 Alteración hidrotermal

### 5.3.1 Vuggy silica (Sílice residual)

Generado por especies ácidas hipógenas como HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> incluye también HCl, SO<sub>2</sub> y HF (Hedenquist, 1995). La disociación de HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (magmáticos) al encontrarse con el agua connata genera ácidos a temperaturas de 300-350°C en un pH~1. Este ambiente es suficientemente

ácido para lixiviar componentes como Al de la roca, generando una textura tipo vuggy.

En Chucapaca, la alteración vuggy silica se encuentra principalmente en la cima del cerro Chucapaca donde presenta una extensión de 500m de largo por 80m de ancho, con una orientación NE-SW. El afloramiento no continúa porque se encuentra cortada por la brecha de matriz riolítica. Los datos con Terraspec 4 registran minerales de silice+caolinita±alunita, similar en los datos Terraspec 4 del sondaje KAT10-05 perforado hacia la estructura de brecha se presenta la misma asociación como en el domo riolítico con débil a moderado vuggy silica. (Figura 5.2, Foto 5.1).

### **5.3.2 Argílica Avanzada**

Esta restringida a zonas alrededor de las estructuras brechadas. La presencia de alunita se encuentra en menor cantidad en los vugs de la alteración vuggy silica y como halo externo a esta alteración. El ensamble es alunita(K)+caolinita+silice(dickita, illita) de un ambiente hipógeno. El estudio de secciones delgadas de cuttings de sondajes de RC realizado en la campaña 2004 en el Cerro Chucapaca, se puede observar fuerte presencia de alunita en la riolita que se encuentra como roca caja de la brecha y dentro de la brecha. Los cristales de alunita son anhedrales, asociado a baritina y reemplaza a feldespatos potásicos y plagioclasa. En algunos casos también está asociado a cuarzo-alunita en el reemplazamiento de feldespatos.

Las muestras tomadas en el Cuello de domo también presenta la alunita-caolinita-illita y está relacionada al afloramiento de una estructura reducida

de ancho centimétrico, los clastos de la estructura presenta moderada alteración vuggy silica. (Figura 5.2 y Foto 5.2).

### **5.3.3 Argílica Intermedia y argílica**

Es la alteración conspicua en superficie y se representa en el ensamble illita-caolinita-esmectita (montmorillonita, caolinita, dickita). La alteración también se puede observar en profundidad y se ha reconocido en los sondajes realizados con el objetivo de cruzar el contacto domo-sedimentos.

En el sondaje KAT10-03 (195.5m) se puede observar la asociación caolinita-illita cerca al borde del complejo volcánico riolítico y rocas pelíticas del Labra. La asociación se encuentra en los afloramientos del complejo volcánico, lo que implica una actividad hidrotermal constante. (Figura 5.2 y Fotos 5.3-5.4).

## **5.4 Alteración Supérgena**

Se puede observar dos (2) zonas oxidadas en el área de estudio: La primera se encuentra al Oeste del margen del complejo volcánico y el segundo se ubica en el mismo complejo volcánico al Norte de este. (Figura 5.3).

### **5.4.1 Oxidación zona norte**

En el borde Norte del complejo volcánico afloran estructuras, dispuestas espacialmente tipo stockwork, que se encuentran cortando a las rocas volcánicas riolíticas. Las estructuras presentan un lineamiento preferencial de azimut  $290^{\circ}$  y el espesor varia de 0.1-1m, presenta la asociación goethita-

hematita (60%), óxidos de manganeso (10-15%) y rellenos de baritina, pirita, marmatita, galena y calcita.

Presenta un área aproximada 1.5 por 2km, con estructuras vetiformes de 0.40 m ancho promedio y longitudes desde 10m hasta 80m aproximadamente con mineralización de marmatita, galena masiva y baritina como relleno, emplazadas en rocas volcánicas de composición riolítica. Se ha contabilizando 15 vetas de rumbos principales N75°W y N15°E y se encuentra emplaza en rocas del complejo volcánico con alteración argílica intermedia.

El estudio de las muestras de rocas tomadas en el Complejo Volcánico Chucapaca-SW presenta la distribución espacial de alteraciones hidrotermales propia de un sistema epitermal de alta sulfuración. Las muestras presentan características hidrotermales de ambiente distal y proximal a los focos hidrotermales.

Las alteraciones hidrotermales están controladas por la evidencia de un centro de actividad hidrotermal, como presencia de brechas. Estas brechas se presentan cortando alteraciones vuggy silica y argílica avanzada, las cuales registran valores anómalos en oro y elementos afines. (Foto 5.5).

#### **5.4.2 Oxidación zona oeste**

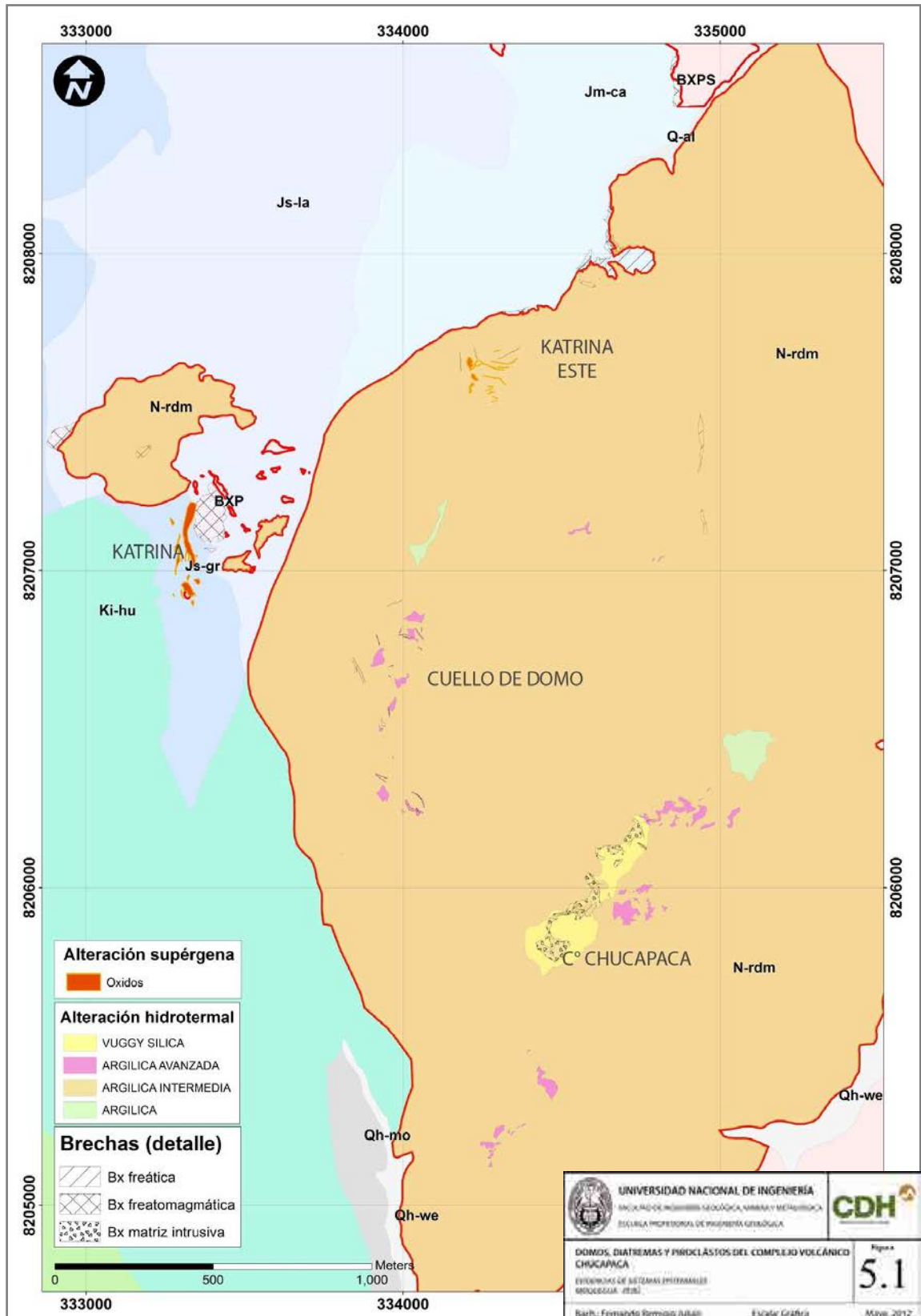
Al Oeste Cerro Chucapaca se encuentra el contacto del domo con rocas sedimentarias del Grupo Yura. La zona es conocida como Katrina y afloran en las secuencias calcáreas con estructuras oxidadas a maneras de mantos.

Estas estructuras reciben el nombre de pseudogossan por la oxidación de los rellenos de siderita principalmente.

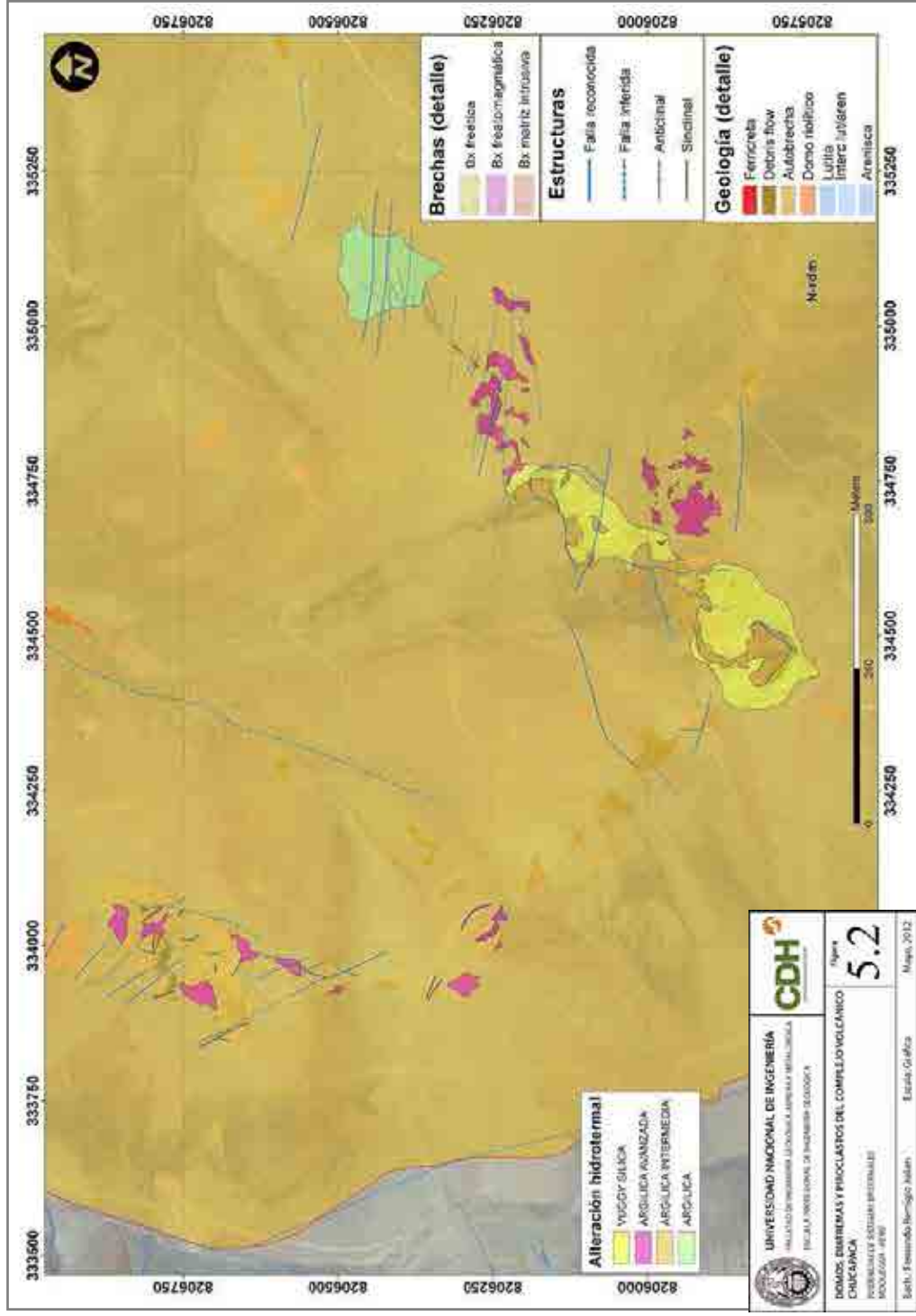
Son dos (2) estructuras oxidadas de dirección N5-15°W. Afloran en una extensión de 200 a 300m y anchos de 3-20m. Se presentan principalmente concordantes con la estratificación y en especial en las secuencias calcáreas de la Formación Gramadal.

En muestra de mano, se observa óxidos de manganeso, goethita, hematita, jarosita (baritina, calcita, pirita). Al realizar el Estudio de Difracción de rayos X (DRX) en muestras se determinó la presencia de goethita (78%), hematita (12%), cuarzo (5%), lepidocrosita (3%), cerusita (1) y galena (1%).

El sondaje KAT08-03 tenía como objetivo interceptar los mantos oxidados a profundidad, encontrando vetillas rellenas de siderita/ankerita, rodocrosita, cuarzo, calcita y esfalerita, marcasita y pirita en trazas. (Foto 5.6).

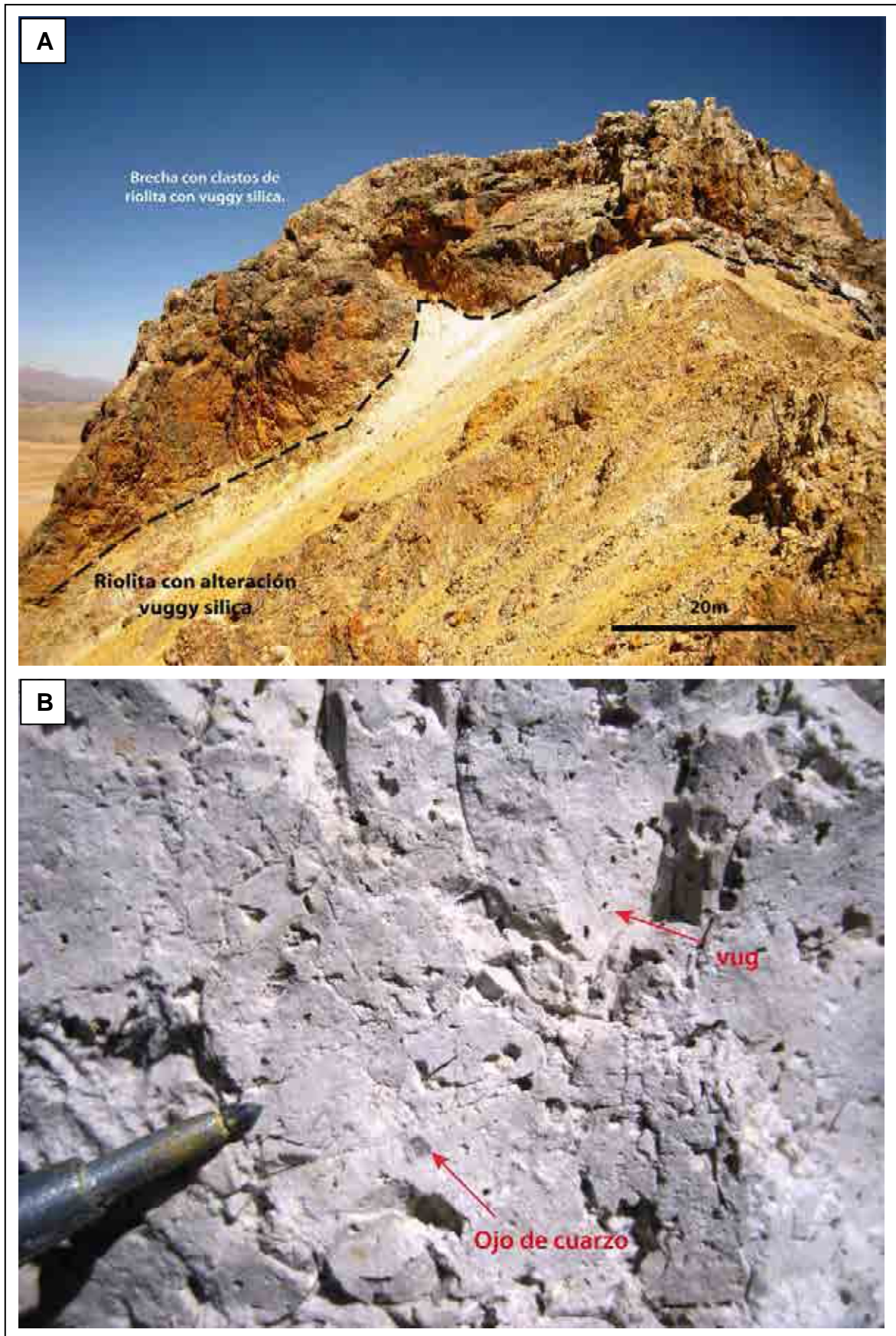


**Figura 5.1.-** Plano de Alteraciones hidrotermales y supérgenas en el área de estudio. La alteración vuggy silica se presenta en la cima del C° Chucapaca principalmente y en el Cuello de domo, en ambas zonas la alteración argílica avanzada bordea a la vuggy silica. La alteración argílica se presenta en todo el complejo de domos y es la conspicua en el área de estudio. La alteración supérgena esta representada con la oxidación de estructura al borde del complejo volcánico en zonas distales de los centros hidrotermales.

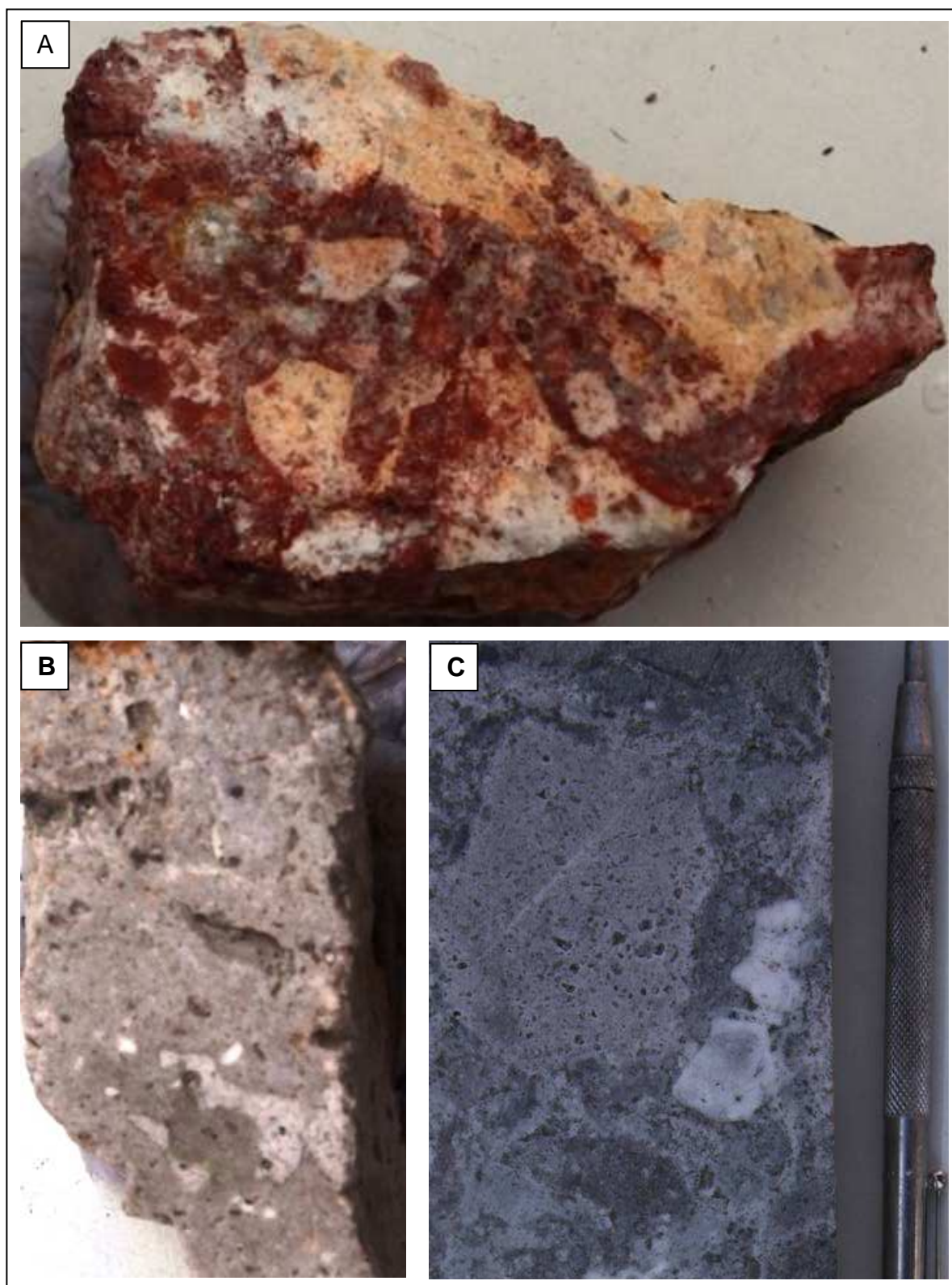


**Figura 5.2.-** Plano de alteración vuggy sílica y argílica avanzada. En la cima del C° Chucapaca se presenta el mayor área afectada por esta alteración, y se encuentra en un posible centro cóncavo del complejo volcánico. La alteración de intensidad moderada lixivia los feldspatos de la riolita. Su extensión es de 500m de largo y 80m, en promedio, de ancho. También aflora en la zona Cuello de domo, restringido a estructuras de dirección NW-SE. La alteración en la cima del C° Chucapaca es cortada por la brechas de matriz riolítica.



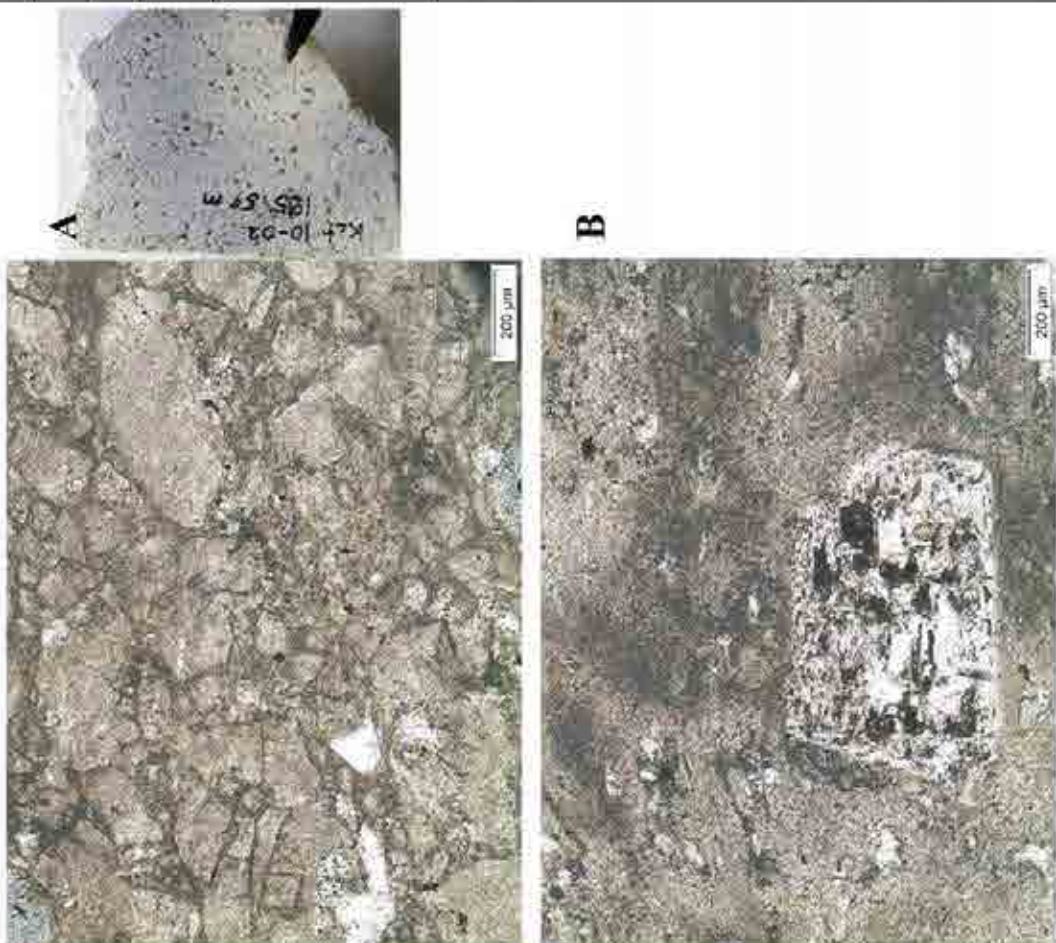


**Foto 5.1.-** Alteración vuggy silica. **A:** Afloramiento de la brecha freatomagmática cortando al domo riolítico con moderada alteración vuggy silica. La topografía suave de la alteración es lo característico en la zona. **B:** Riolita con débil alteración vuggy silica en la cima del Cerro Chucapaca.



**Foto 5.2.-** Alteración argílica avanzada **A:** Muestra tomada cerca a la cima del C° Chucapaca. Presenta alunita(K)+dickita+Illita+caolinita, la muestra es cortada por venillas con rellenos de  $\text{oxFe}$  (probablemente asociada a la fallas de la zona). **B:** Muestra en la zona de cuello de domo, la riolita presenta alteración de feldspatos a alunita(k)+caolinita. **C:** Muestra del sondaje KAT10-05 (191m) cortando brechas con clastos con alteración argílica avanzada en un clasto con previa alteración argílica avanzada.

<b>Código ID:</b> 211253 – KAT10-03 (195.5 m)			
<b>Composición:</b> riolita			
<b>Textura:</b> dirección de flujo localmente observada			
<b>Mineral principal (cantidad)</b>	<b>Tamaño (µm)</b>	<b>Accesorios (cantidad)</b>	<b>traza</b>
Cuarzo fino (5%)	200-	Pirita (1-2%)	Apatito
Plagio fino (2%)	1000		
<b>Mineral Alt.</b>	200-		
Caolinita (30%)	1000		
Illita (20%)			
<b>Observación:</b>			
Fenocristales de cuarzo y plagioclasa (la última alteración de caolinita a nivel local).			
Masa basal: en general alterado a caolinita/illita. Texturas de brechación, visible en la Fig. A.			
Posible dirección de flujo (Fig. B).			
Pocos máficos (?) son alterados a esmectita? Y pirita.			
Localmente en texturas brechadas pueden ser observadas (Fig. A).			
Los “clastos” son alterados a caolinita y la “matrix” es illita. Donde la roca no es brechada, illita reemplaza feldespatos y en pequeñas venillas.			
Terraspec: caolinita, illita			
<b>Interpretación:</b> Domo riolítico o lava con dirección de flujo alterado a caolinita. Los fluidos tardíos alteran la riolita a illita.			



**Foto 5.3.-** Estudio microscópico de muestras del sondaje KAT10-03 (195.5). El sondaje se encuentra en la zona de Katrina, en el contacto del domo con la Fm. Labra en dirección al este.

<b>Código ID: 212950 – KAT10-09 (317.2)</b>				
<b>Composición:</b> riolita				
<b>Textura:</b> grano fino				
<b>Mineral principal (cantidad)</b>	<b>Tamaño (µm)</b>	<b>Accesorios (cantidad)</b>	<b>traza</b>	
Cuarzo (10%) Mineral Alt. Illita caolinita	100	Pirita (<1%) Arsenopirita (<1%)		
<b>Observación:</b> Roca de grano fino fuertemente alterada a caolinita e illita (Fig. A). Algunos granos de illita casi son muscovita. Protolito difícil para definir pero se ve como riolita. Espacios abiertos relleno con siderita. Baritina rellena localmente los espacios abiertos (Figure B).				
Reemplazamiento de pirita, arsenopirita.				
Terraspec: illita, esmectita, caolinita (a 317.7)				
<b>Interpretación:</b> Riolita alterada con illita e caolinita.				



**B**



**Foto 5.4.-** Estudio microscópico de muestras del sondaje KAT10-09 (317.2). El sondaje se encuentra en la zona de Katrina, con el objetivo de interceptar la brecha freatomagmática en superficie.

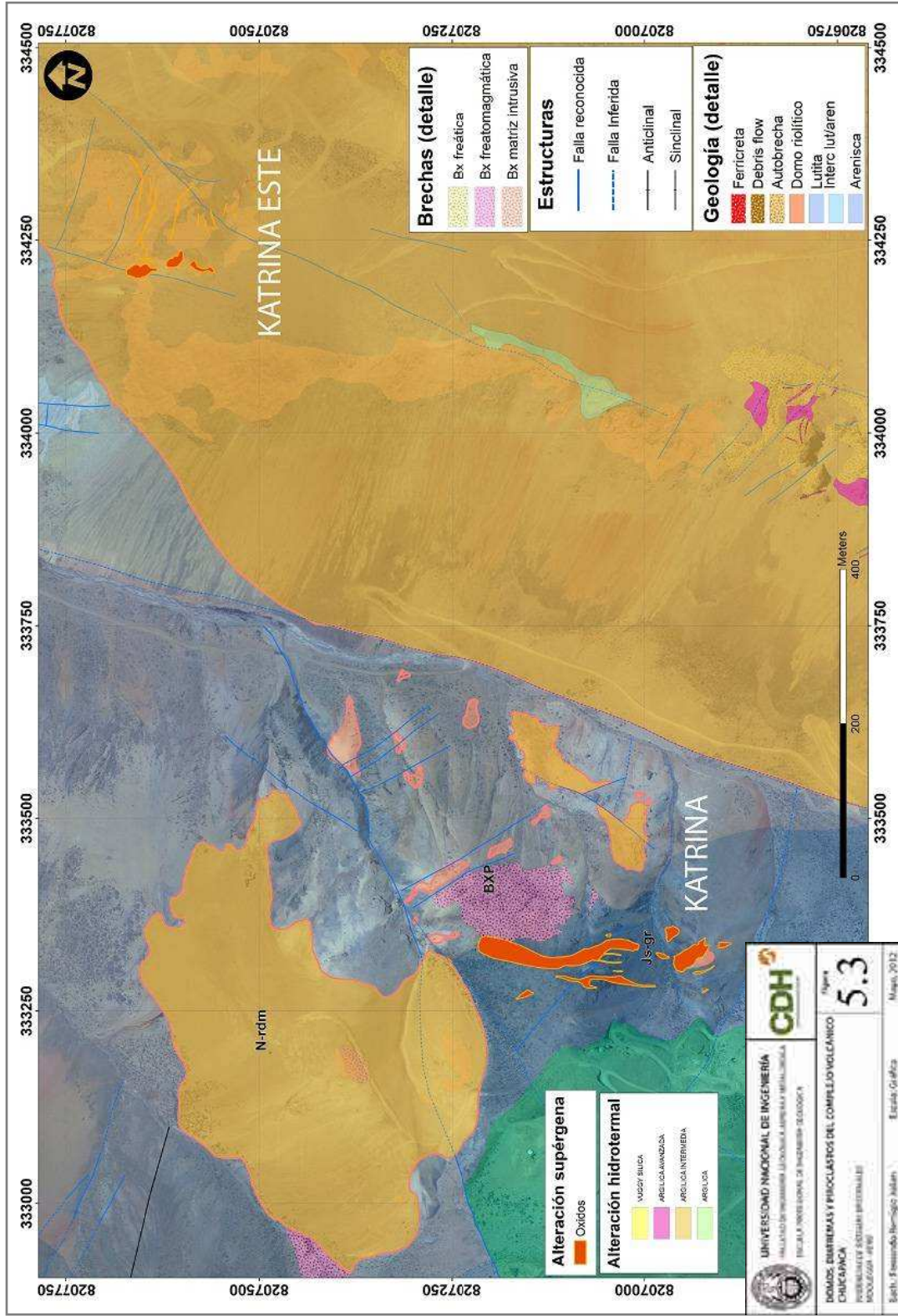
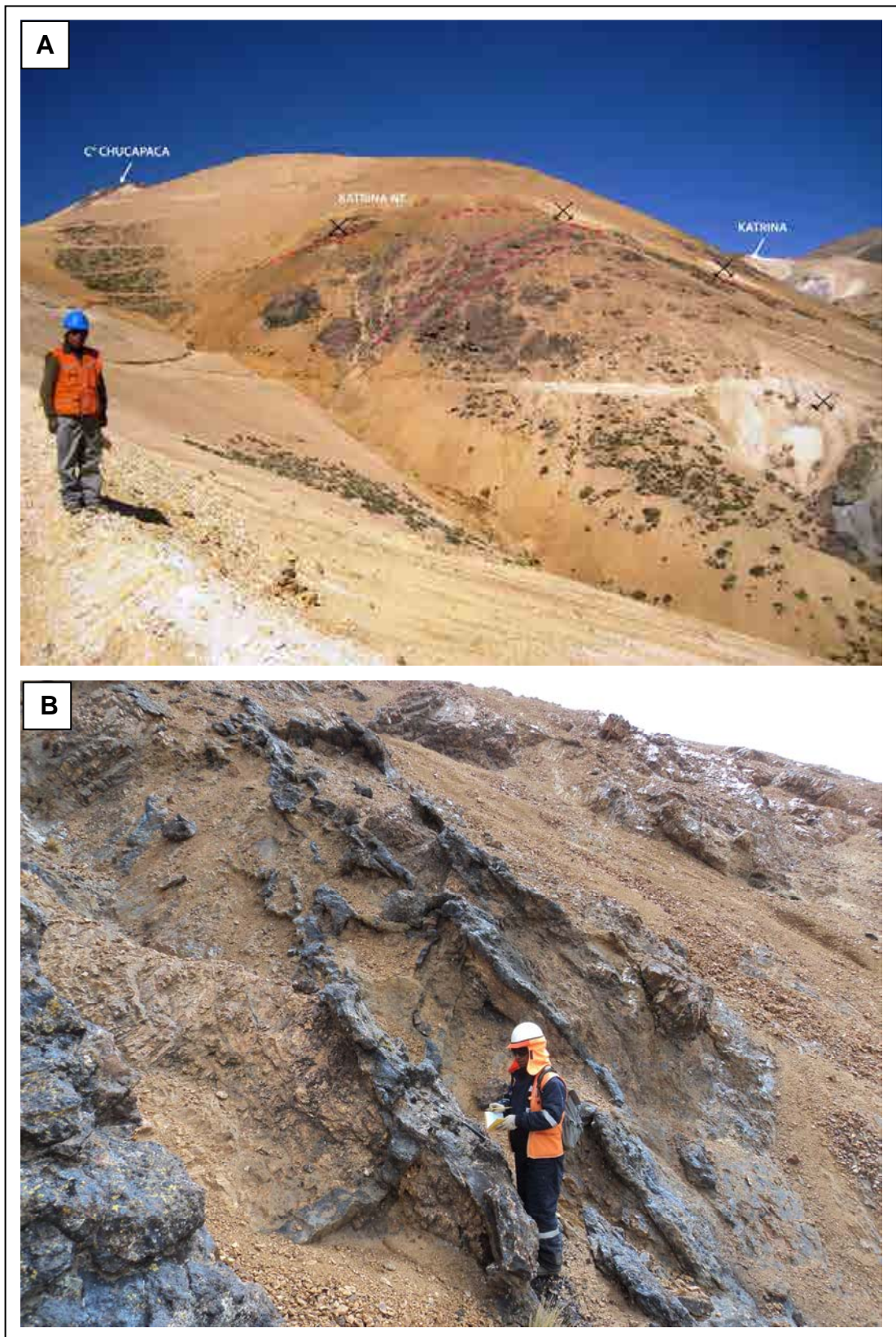


Figura 5.3.- Plano de alteración supérgena. En la zona Katrina este, afloran estructuras polimetálicas Ag-Pb-Zn oxidadas, las estructuras son interceptadas en profundidad y presentan matriz de siderita. En Katrina, afloran pseudogossan producto de la oxidación de siderita, también.



**Foto 5.5.-** Alteración supérgena - Zona Katriona Este. **A:** Se emplazan estructuras polimetálicas cortando al borde Norte del complejo volcánico. Las estructuras han sido explotadas a inicios del siglo pasado. **B:** Se componen de rellenos de galena argentífera, marmatita, baritina y  $\text{oxFe}$  (hem, goe). Las estructuras fueron interceptadas por sondajes diamantinos a profundidad, presentando rellenos de siderita.



**Foto 5.6.-** Alteración supérgena – Zona Katrina.  
**A:** Vista panorámica en la zona de Katrina. Afloran pseudogossan en las rocas calcáreas de la Fm. Gramadal. **B:** Muestra de los pseudogossan en la zona Katrina. Se realizó el Estudio de Difracción de rayos X (DRX) en las muestras tomadas y se determinó la presencia de goethita (78%), hematita (12%), cuarzo (5%), lepidocrosita (3%), cerusita (1) y galena (1%). **C:** Pseudogossan estratiformes en rocas calcáreas de la Fm. Gramadal

A

C

B

**CAPITULO VI**  
**EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA**



## 6.1 Introducción

El Complejo Volcánico Chucapaca-SW presenta cuatro zonas con anomalías geoquímicas, compuestas por Au, Se, Te, Ag, Pb y Zn.

La zona del Cerro de Chucapaca y Cuello de domo presentan anomalías geoquímicas en metales preciosos (Au, Se, Te) y las zonas de Katrina y Katrina Este presentan anomalías geoquímicas en metales bases (Ag, Pb, Zn) representando las cuatro zonas un sistema hidrotermal completo con firma geoquímica de un ambiente epitermal de alta sulfuración (HS).

## 6.2 Trabajo de campo

### 6.2.1 Objetivo

El muestreo geoquímico tiene como finalidad extraer fragmentos o esquirlas de un afloramiento de roca para conocer su contenido metálico, la muestra tomada debe ser una porción representativa del área a estudiar. La muestra debe tener un peso aproximado de 3kg.

### 6.2.2 Procedimiento

- Muestreo geológico: Para realizar un eficiente estudio geoquímico se debe tener un procedimiento estándar para la toma de muestra de acuerdo al tipo rasgo geológico (estructuras, rocas alteradas, afloramientos reducidos). En la campaña de muestreo geoquímico se han realizado solo siguientes tres (3) tipos de muestreo: *Canal completo*, *Esquirla de roca (Rock chips)* y *Muestreo especial*.

*Canal completo*, se extraen esquirlas de un área rectangular, en un tramo definido por el geólogo. Las esquirlas deben ser tomadas con las mismas condiciones volumétricas en todo el tramo de muestreo. Las dimensiones: el largo depende de la variación geológica, ancho 10cm y profundidad 3 - 4cm.

*Esquirla de roca*, Se toma en afloramientos métricos, dibujando imaginariamente desde el centro del afloramiento, una circunferencia de radio 5m., se divide en 4 cuadrantes, cada cuadrante es subdividido en 4 a su vez, de cada estos subcuadrantes se toman esquirlas, entonces tendremos 16 zonas muestreadas. La técnica aplicada exige a una recolección de muestras distribuidas equitativamente.

*Muestra especial*, se extrae esquirlas a lo largo de la geometría de la estructuras, con el objetivo caracterizar su geoquímica. Se aplica a estructuras de afloramiento reducidas y/o milimétricas.

- Rangos geoquímicos: Los valores geoquímicos son ordenados en forma ascendente, se procede a eliminar los valores erráticos, en este caso valores en el límite de detección y altos erráticos (outliers). Se aplica la función logarítmica para acercar los valores a un comportamiento normal (gaussiano) de la población de datos. Se obtiene las medidas estadísticas de tendencia central como media, moda y mediana. Los valores considerados como anómalos (Threshold) son obtenidos del percentil 95 de la población. (Ver Apéndice VII – Calculo de Threshold Au, Ag, Pb, Zn, Se y Te).

- Correlación estadística de elementos: Permite conocer la relación directa o indirecta entre elementos geoquímicos. Los valores de las muestras

presentan una distribución normal es por ello que se ha utilizado la correlación de Pearson.

- Base de datos: Los valores han sido tratados en el software ioGas (*software descargado de [www.ioglobal.net/Downloads/Products.aspx](http://www.ioglobal.net/Downloads/Products.aspx)*), exclusivo para el tratamiento de valores geoquímicos.

### **6.3 Metodología**

#### **6.2.1 Tipos de muestreo**

##### **6.2.1.1 Muestreo en superficie**

Se utilizó los datos geoquímicos de las campañas de Minera GoldFields Perú S.A. en el año 2004 y de Compañía de Minas Buenaventura en el año 2007. Las 234 muestras en total fueron selectivas.

Realicé en la campaña del 2009-2010 un muestreo selectivo en estructuras: brechas, tufisitas y zonas de fallas, debido a la reducida área de afloramiento; Las estructuras son decimétricas y se presentan principalmente en la cumbre del Cerro Chucapaca y en la Cuello de domo, mencionadas anteriormente. También se realizó un muestreo sistemático en malla de 50x50m en zonas donde no presentaban afloramientos de estructuras.

La mayor parte del domo se encuentra cubierta por material Cuaternario, y se realizó una campaña de muestreo en suelos. La metodología de la toma de muestra de suelo fue determinado por un estudio de orientación geoquímica que se realizó en el prospecto aurífero de Canahuire; Se

muestreó los suelos a una profundidad de 0.5m y se tamiza en malla -10 en campo. En el laboratorio se analiza la fracción -200 micrones.

### **6.2.1.2 Muestreo de sondajes**

#### **A.- Sondajes diamantinos**

El muestreo en sondajes se realizó tomando la mitad del testigo para su análisis (a lo largo del eje), en los rangos de tramos no menores de 0.4m y no más de 2m., se ha tenido en cuenta los criterios básicos del muestreo para definir los tramos, en cuestión de litología, alteración y mineralización.

#### **B.- Sondajes Aire reverso**

Corresponden a la campaña 2004 y el muestreo fue sistemático, tomando tramos de 1m. Fue realizado en una etapa de evaluación rápida del sistema hidrotermal.

### **6.2.2 Control de muestreo geoquímico**

#### **6.2.2.1 Control de muestras de superficie**

Para el control de calidad de las muestras de roca en superficie se inserto una muestra de control cada 15 muestras; es decir, en 30 muestras tomadas tenemos una muestra blanca y duplicada.

#### **6.2.2.2 Control de muestras en sondajes**

Para el análisis del control de calidad en las muestras de sondajes se inserto una muestra de control cada 10 muestras: es decir, en 30 muestras tomadas presenta un control de muestra blanca, un duplicado y un estándar.

Las muestras en blanco consisten de cuarzo - arenisca frescas trituradas provenientes de una cantera en la ciudad de Juliaca, perteneciente a la Formación Hualhuani.

### **6.2.3 Análisis Geoquímico**

#### **6.2.3.1 Muestras de superficie**

El método utilizado en el análisis geoquímico de las muestras de superficie es Au+50 elementos. En el caso del Au se utilizó ensayo al fuego con un alícuota de 50g con terminación por AAS o ICP. Para los otros elementos se usa digestión en agua regia y análisis por una combinación de ICP-AES e ICP-MS.

Para el análisis de muestras de suelos se analizó la fracción <math>-200</math> micrones utilizando los mismos métodos.

Las principales zonas anómalas se encuentran asociadas a brechas de clastos de riolita, cuarzo-areniscas, lutitas, areniscas en una matriz riolítica. Los clastos riolíticos presentan alteración vuggy silica de moderada a fuerte, esta brecha es cortada y/o asociada a brechas freáticas (tufisitas auríferas) de clastos de riolita con fuerte alteración vuggy silica, los vug están rellenos con alunita, por ello también presentan alteración argílica avanzada. Estas estructuras se encuentran principalmente en la cumbre del Cerro Chucapaca y en el Cuello de domo.

El complejo volcánico presenta cuatro (4) zonas con anomalía geoquímica. Se ha separado los datos geoquímicos por estas zonas. Para el análisis del

índice de correlación de los elementos se ha utilizado la correlación de Pearson.

El análisis de la correlación entre los elementos anómalos los he analizado por zonas:

### A.- Asociación geoquímica Au-Se

La asociación **Au-Se** se presenta en las muestras de superficie de la cima del Cerro Chucapaca. La asociación Au-Cu se presenta en los sondajes RC y diamantino CPR001, CPR002, CPR003, CPR005, CPR008A, CPR009, CPR010 y KAT10\_05 realizados en la zona. Estos sondajes tuvieron como objetivo interceptar la brecha de matriz intrusiva que aflora en superficie.

La correlación de Pearson de las muestras de superficie, el Au presenta buena correlación con Se. Así también el Zn presenta una correlación media con Pb al igual que el Cu con Ag.

La correlación de Pearson en los sondajes realizados presentan una buena correlación de Au con Cu, y el Cu correlaciona con Pb principalmente, y es debido a la presencia de minerales de calcopirita, covelita, cobres grises y piritita con presencia de vuggy silica y alunita en vug.

Correlation	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Se_ppm	Te_ppm	Zn_ppm
Au_ppb	1	-0,053	0,044	-0,025	0,88	0,12	0,0075
Ag_ppm	-0,053	1	0,52	0,16	0,26	0,069	0,13
Cu_ppm	0,044	0,52	1	0,19	0,3	0,088	0,4
Pb_ppm	-0,025	0,16	0,19	1	0,033	0,29	0,57
Se_ppm	0,88	0,26	0,3	0,033	1	0,1	0,097
Te_ppm	0,12	0,069	0,088	0,29	0,1	1	0,26
Zn_ppm	0,0075	0,13	0,4	0,57	0,097	0,26	1

**Superficie\_Pearson:** El Au tiene buena correlación con Se (elemento no muy común para un epitermal HS).

Correlation	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm
Au_ppb	1	0,13	0,66	0,1	-0,09
Ag_ppm	0,13	1	0,5	0,072	-0,0096
Cu_ppm	0,66	0,5	1	0,51	0,28
Pb_ppm	0,1	0,072	0,51	1	0,46
Zn_ppm	-0,09	-0,0096	0,28	0,46	1

**Sondajes\_Pearson:** Au correlaciona con Cu. A profundidad los sondajes corta minerales de Cu (calcopirita, covelita) asociado a valores altos de Au.

## B.- Asociación geoquímica Au-Se(Te)

La asociación **Au-Se(Te)** se observa en muestras de superficie de las rocas en la zona Cuello de domo, que principalmente presenta estructuras con valores auríferos (2.7g/t Au). En la correlación de Pearson de las muestras de superficie, el Au tiene muy buena correlación con Se y buena con Cu. En el caso del Te la correlación muy baja con el Au.

La anomalía fue sondeada con los sondajes RC CPR006 y CPR007, en el análisis de correlación se puede observar que el Au no tiene correlación con ningún elemento (probablemente con Se y Te, pero no fueron analizadas por estos elementos). Los sondajes han sido direccionados con ángulos sesgados a la estructuras y fuera de ella, presentan anomalías débiles en Cu(401ppm) y Au (34ppb).

Correlation	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Se_ppm	Te_ppm	Zn_ppm
Au_ppb	1	-0,037	0,61	-0,042	0,94	0,16	-0,051
Ag_ppm	-0,037	1	-0,029	0,9	-0,047	-0,056	0,44
Cu_ppm	0,61	-0,029	1	-7,06E-4	0,6	0,16	0,049
Pb_ppm	-0,042	0,9	-7,06E-4	1	-0,039	-0,11	0,45
Se_ppm	0,94	-0,047	0,6	-0,039	1	0,17	-0,048
Te_ppm	0,16	-0,056	0,16	-0,11	0,17	1	-0,14
Zn_ppm	-0,051	0,44	0,049	0,45	-0,048	-0,14	1

**Superficie\_Pearson:** El Au presenta una muy buena correlación con Se y buena con Cu, en cambio la correlación es muy baja con Te.

Correlation	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_pct	Pb_ppm	Zn_ppm
Au_ppb	1	0,034	0,19	0,16	-0,025
Ag_ppm	0,034	1	0,43	0,088	0,047
Cu_pct	0,19	0,43	1	-0,039	0,13
Pb_ppm	0,16	0,088	-0,039	1	0,66
Zn_ppm	-0,025	0,047	0,13	0,66	1

**Sondajes\_Pearson:** Los elementos analizados no presentan ninguna correlación buena o baja entre ellos. Solo Zn y Pb.

### C.- Asociación geoquímica Ag-Pb-Zn

Esta anomalía se encuentra en el borde Norte del complejo volcánico, en la zona de Katrina Este, indicando una zona distal. Afloran estructuras con relleno de baritina, hematita, goethita principalmente. El área fue sondeada con la segunda campaña de perforación diamantina, la cual se enfocó en conocer la proyección de las estructuras oxidadas en profundidad. Los sondeos diamantinos KAT10-06, KAT10-07 y KAT10-10 interceptaron estructuras brechadas rellenas con siderita principalmente, y presenta diseminaciones de minerales de metales bases, esfalerita, galena, calcopirita y pirita. La correlación Pearson en superficie es Ag(Zn,Pb) y Zn-Pb, en sondeos es Zn-Pb, asociada a las estructuras mencionadas.

Correlation	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm
Au_ppb	1	0,17	0,35	0,18	0,23
Ag_ppm	0,17	1	0,32	0,67	0,55
Cu_ppm	0,35	0,32	1	0,3	0,41
Pb_ppm	0,18	0,67	0,3	1	0,77
Zn_ppm	0,23	0,55	0,41	0,77	1

**Superficie\_Pearson:** La Ag presenta buena correlación con Pb y Zn. La correlación es muy buena entre Zn y Pb.

Correlation	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm
Au_ppb	1	0,013	0,23	-0,019	0,026
Ag_ppm	0,013	1	0,33	0,33	0,25
Cu_ppm	0,23	0,33	1	0,069	0,14
Pb_ppm	-0,019	0,33	0,069	1	0,63
Zn_ppm	0,026	0,25	0,14	0,63	1

**Sondajes\_Pearson:** A profundidad la correlación es Pb y Zn, por la presencia de minerales base.

### D.- Asociación geoquímica Zn(Pb)

Relacionado al afloramiento de dos (2) estructuras oxidadas y brechas freatomagmáticas al Oeste del borde del complejo volcánico, en la zona de Katrina. Las muestras de superficie presentan buena correlación Ag-Cu y Zn-Pb. Esta anomalía fue perforada con los sondeos CCP08-01, CCP08-02,



CCP08-03 y CCP08-04 de la primera campaña y KAT10\_03, KAT10\_04, KAT10\_08 al KAT10\_09 en la segunda campaña, con el objetivo de interceptar la proyección en profundidad de las estructuras en superficie y también, el contacto entre el domo y las secuencias clásticas y/o calcáreas del Grupo Yura. Los sondajes cortan brechas freáticas, donde se observa brechas de clastos de riolita con rellenos de siderita, en algunos casos se presenta disseminaciones de calcopirita, galena y esfalerita. La correlación a profundidad es de Zn-Pb.

Correlation	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm
Au_ppb	1	0,35	0,41	-0,021	0,026
Ag_ppm	0,35	1	0,66	0,26	0,16
Cu_ppm	0,41	0,66	1	-0,046	-0,11
Pb_ppm	-0,021	0,26	-0,046	1	0,6
Zn_ppm	0,026	0,16	-0,11	0,6	1

**Superficie\_Pearson:** La Ag presenta buena correlación con Cu por la asociación de calcopirita y sulfatos de Ag.

Correlation	Au_ppb	Ag_ppm	Cu_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm
Au_ppb	1	0,065	0,076	-0,045	-0,074
Ag_ppm	0,065	1	0,26	0,16	0,18
Cu_ppm	0,076	0,26	1	-0,02	-0,0068
Pb_ppm	-0,045	0,16	-0,02	1	0,69
Zn_ppm	-0,074	0,18	-0,0068	0,69	1

**Sondajes\_Pearson:** El Zn presenta buena correlación con Pb, por la presencia de galena y esfalerita en los sondajes.

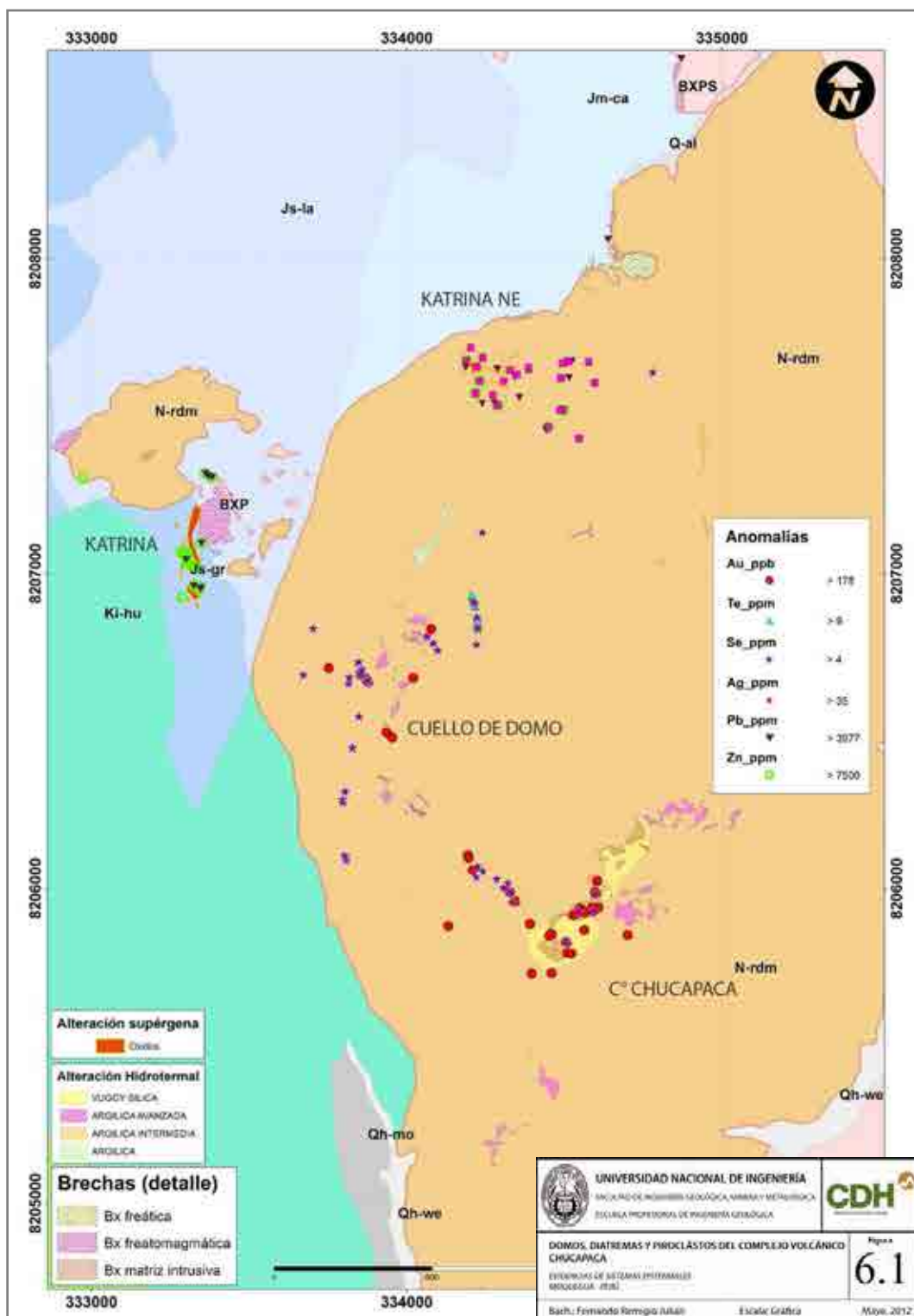
### 6.3 Interpretación y elementos guías

Las anomalías geoquímicas en el Complejo Volcánico Chucapaca-SW presentan correlación con las alteraciones hidrotermales en la zona. Dos (2) asociaciones geoquímicas de Au-Se y Au-Se(Te), Cima del Cerro Chucapaca y Cuello de domo respectivamente, se presentan en alteraciones de alta temperatura y pH ácido; En el caso de la cima del Cerro Chucapaca, la asociación Au-Se aflora una brecha de matriz riolítica cortada por brechas freáticas, estas últimas presentan hasta 200ppb de Au. La brecha de matriz

riolítica corta a la alteración vuggy silica, por ellos, dicha brecha presenta anomalía en Au, debido que en el muestreo se tomo también los clastos de domo con vuggy silica. El valor más alto en esta zona se encuentra en una tufisita con Au ( $> 1\text{g/t}$ ), esta corta a la brecha de matriz riolítica. El Cuello de domo, presenta la asociación geoquímica Au-Se(Te) y está relacionada a la alteración argílica avanzada. Aflora en el borde Sur del cuello, una brecha de clastos riolíticos con alteración vuggy silica con valores anómalos altos en Au ( $> 1\text{g/t}$ ), el ambiente es muy similar a la cima del Cerro Chucapaca. (Figura 6.1).

Dos (2) zonas oxidadas con asociaciones típicas de un ambiente distal afloran en los bordes del complejo. Las asociaciones geoquímicas Ag-Pb-Zn y Zn(Pb) en superficie, se presentan al Norte y Oeste respectivamente. En profundidad, en la zona Norte presentan un control estructural, y en la zona Sur presentan un control estratigráfico-estructural.

La correlación entre la alteración hidrotermal y las zonas anómalas presentan la firma de un sistema epitermal de alta sulfuración, donde existe un centro silíceo con halos de alteración argílica avanzada y argílica intermedia/argílica. Así también, la interactuación de fluidos en un ambiente distal, precipitando metales base en asociaciones como Ag-Pb-Zn y Zn-Pb, registradas en las estructuras oxidadas.



**Figura 6.1.-** Plano de las Anomalías geoquímicas en Au, Se, Te, Ag, Pb y Zn en el complejo volcánico y su relación con el emplazamiento de brechas freáticas, freatomagmáticas, brecha de matriz intrusiva y la alteración hidrotermal. Las anomalías de Au se encuentran en la zona del C° Chucapaca y Cuello de domo, ambos conductos magmáticos-hidrotermal y relacionado a intrusión de una brecha de matriz riolítica y a las brechas freáticas auríferas. La anomalía de Ag,Pb,Zn se encuentra en la zona de Katrina Este por la inyección de estructuras polimetálicas cortando al borde norte del complejo volcánico. La anomalía de Zn-Pb se encuentra en la zona Katrina en los mantos de pseudogossan asociado a la inyección de brechas freatomagmáticas. La alteración supérgena se encuentra en la anomalía de Ag,Pb,Zn y solo Zn, debido a la oxidación de la siderita que se encuentra rellenando fracturas.

**CAPITULO VII**  
**MINERALIZACIÓN**

## **7.1 Introducción**

El Complejo Volcánico Chucapaca-SW presenta una débil impresión de mineralización aurífera en un ambiente epitermal. En superficie se evidencia asociación de un centro silíceo, bordeado por alteración argílica avanzada y zonas distales oxidadas de estructuras polimetálicas.

El centro silíceo asociado a la alteración argílica avanzada presenta una asociación de Au-Cu y el ambiente distal de una asociación de Ag-Pb-Zn.

El complejo volcánico presenta como principal interés el contacto con las rocas sedimentarias del Grupo Yura, debido a la permeabilidad en el contacto, especialmente y de gran interés, el contacto de la Formación Gramadal, por ser una secuencia calcárea y presentar una reacción favorable con los fluidos hidrotermal-magmático. Otra zona de interés son los conductos volcánicos, principal paso de los fluidos hidrotermal y generación de espacios para la mineralización.

En el ambiente distal, afloran estructuras oxidadas por una alteración supérgena, y presenta valores económicos, en el caso de Katrina Este, de Ag, Pb y Zn.

De las muestras recolectadas a la fecha, 100 muestras presentan valores mayores a 100ppb de Au, representando el 3% del total de las muestras.

## **7.2 Mineralización aurífera**

Se restringe a dos zonas, la cima del Cerro Chucapaca y el Cuello de domo.

En ambas zonas, la mineralización aurífera se encuentra en brechas freáticas. (Figura 7.1).

### 7.2.1 Cima del Cerro Chucapaca

En la cima del Cerro Chucapaca, aflora diferentes brechas freáticas, han sido clasificadas por su ratio clasto: matriz, contenido de óxidos (goethita, jarosita, hematita) y por su posición espacial con respecto a las otras brechas.

La roca caja donde se emplazan estas brechas es una riolita (probablemente centro de domo) con alteración vuggy silica de moderada a fuerte. Se encuentra cortado por venillas aisladas de sílice calcedonia y jaspe. Los vugs presentan alunita y óxidos en algunas zonas. Las muestras tomadas cerca a la brecha de matriz riolítica han dado como valor promedio de 25ppb Au. Sin embargo, 54 muestras tomadas presentan valores encima de los 200ppb Au, representando el 42% del total de muestras en esta zona. (Figura 7.2).

Las brechas presentan una tendencia de 75-85° de Az imut, afloran tres tipos de brechas la principal es una brecha polimíctica de matriz riolítica y dos brechas freáticas posterior a la primera.

*Brecha polimíctica de matriz riolítica.*- Brecha de clastos de riolita y en el mismo C° Chucapaca presenta clastos de arenisca cuarzosa o cuarcita, lo que indica estar próximo al contacto con estas rocas pelíticas, los clastos volcánicos presenta de débil a moderado vuggy, y su abundancia varía desde 20-60%, la matriz es una riolita rica en SiO<sub>2</sub> y también presenta un

débil vuggy. Muestras tomadas en campo presentan valores promedio de 60ppb en Au.

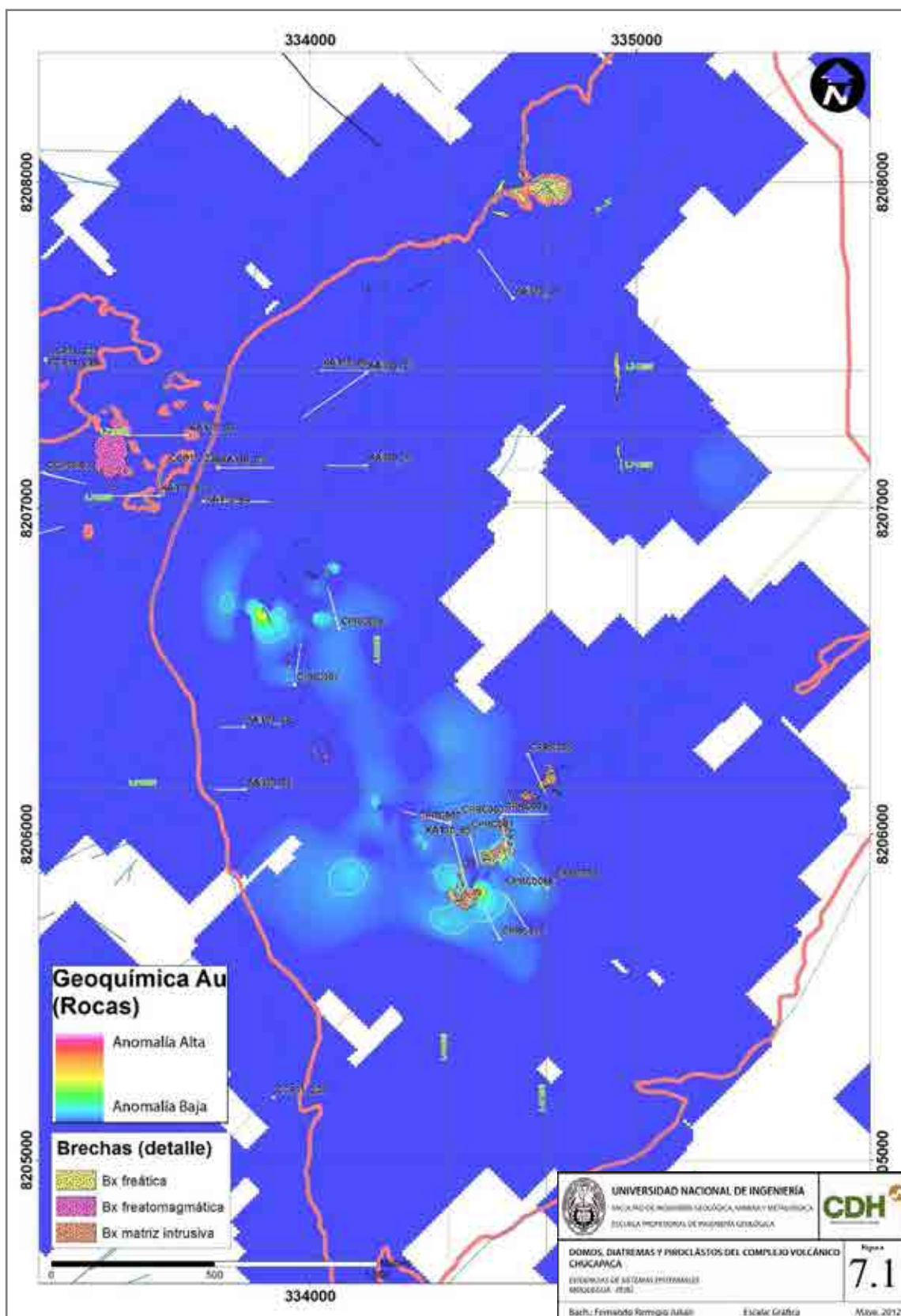
Brechas freáticas.- Brecha de clastos del domo con vuggy silica, de la brecha de matriz riolítica. El afloramiento es irregular y discontinuo, sin embargo existe un alineamiento E-W, el 50% es espacio vacío en la brecha, la abundancia es clastos 30% y matriz 70%, la matriz es polvo de roca y es rellenada con oxFe, goethita, jarosita y hematita hasta un 40%. Predomina la fase vapor. Diez (10) muestras tomadas promedian 390ppb en Au, incluye dos (2) muestras encima de los 500pb en Au.

Tufisitas.- La dirección N30-50°E/65-85°SE es preferente en estas estructuras, están cortando a las Brecha de matriz riolítica, se han muestreado ambas y una de ellas presenta valores >1g/t en Au.

### **7.2.2 Cuello de domo**

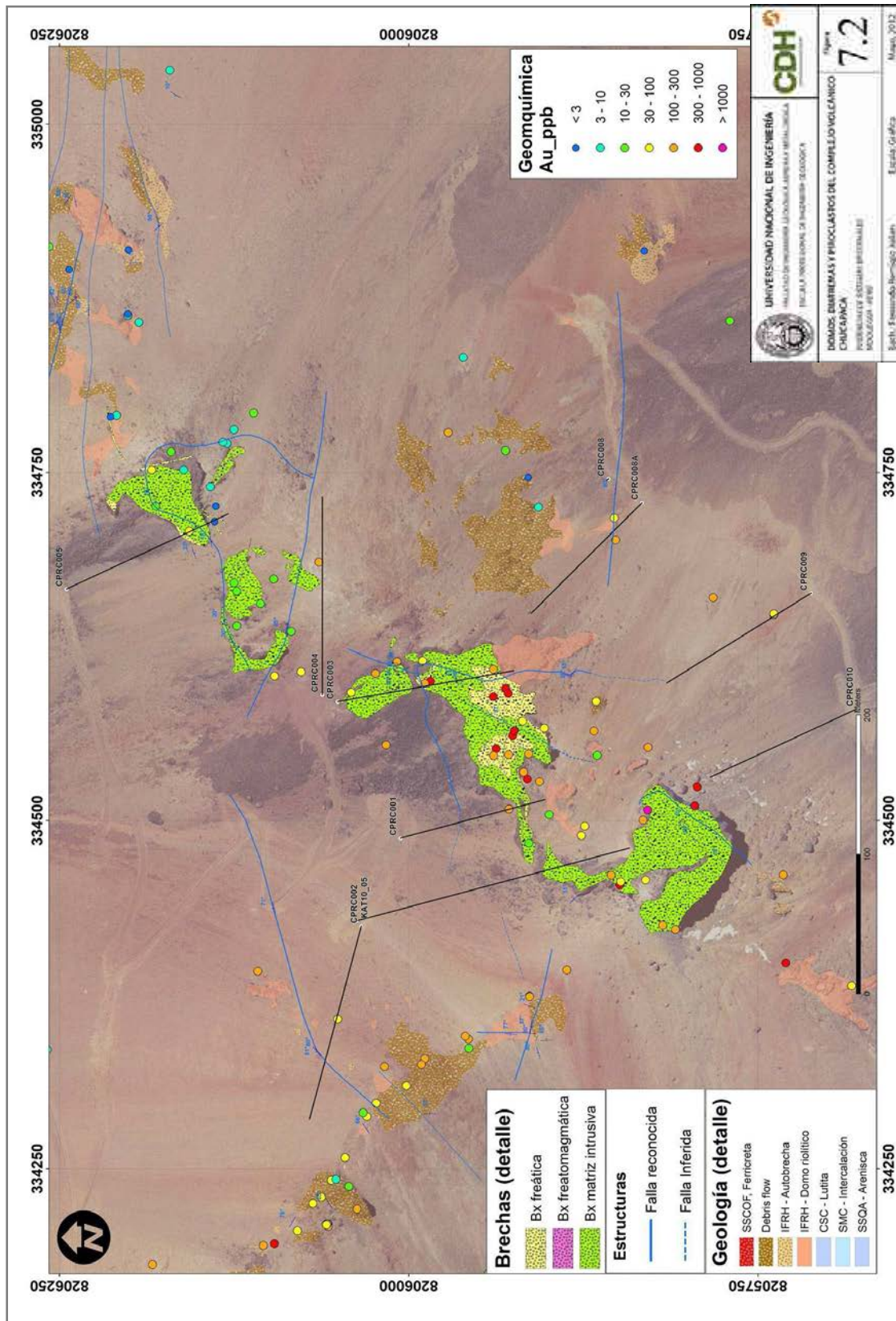
En la espina de domo, aflora estructura de brecha de clastos de riolita con vuggy silica, de azimut N150°/85°, de extensión 90m con un ancho promedio 0.60m, se encuentra cortando a la espina de riolita con alteración argílica avanzada.

Esta estructura presenta valores > a 1 g/t Au, y la roca caja presenta 20 muestras con valores a los 200ppb en Au, representando el 10% del total de muestras en la zona. (Figuras 7.3).



**Figura 7.1.-** Plano de contornos anómalos de Au y ubicación de las brechas freática, freatomagmáticas y de matriz intrusiva. La cima del C° Chucapaca es la zona más importante dentro del área de estudio. Se presenta en un centro silíceo (vuggy silica), seguido por la alteración argílica avanzada y valores anómalos en Au, asociado a una anomalía de cargabilidad. El Cuello de domo, es la segunda en importancia, presenta las mismas características en anomalía de Au, brecha y geofísica. La periferia presenta en Katrina y Katrina este, condiciones de un ambiente polimetálico.





**Figura 7.2.-** Plano de la zona C° Chuapaca (mineralización). En la zona se tiene evidencia de un ambiente epitermal de alta sulfuración, un centro silíceo (vuggy silica) es cortado por brecha de freáticas con valores auríferos. La cargabilidad presenta una anomalía en la zona. Sondajes diamantinos interceptaron la brecha con valores anómalos altos en Au.

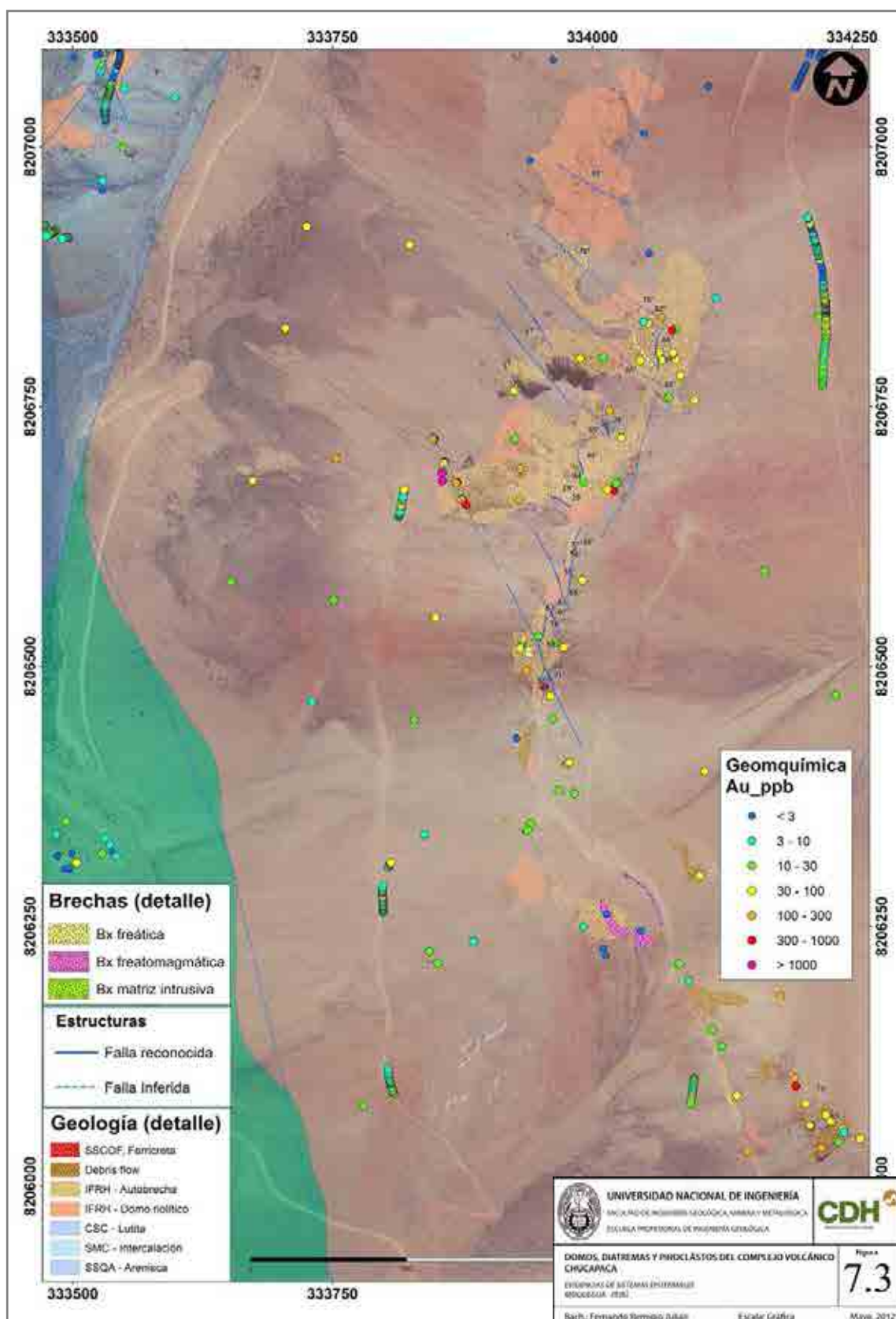


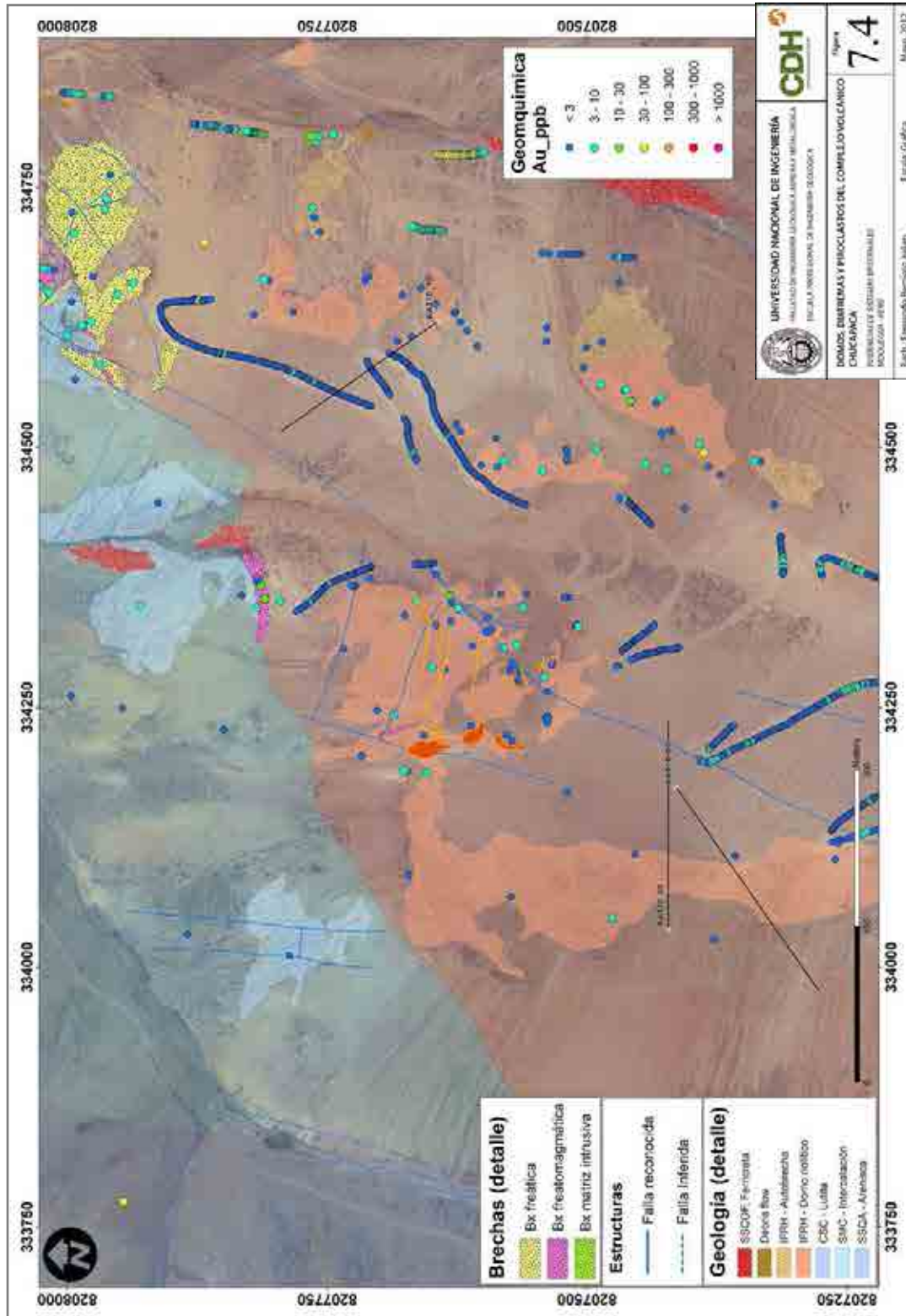
Figura 7.3.- Plano de la zona Katrina y Cuello de domo (mineralización). En la zona Cuello de domo se presentan valores anómalos altos en Au, relacionados a estructuras NE. Las anomalías de cargabilidad se ubican en el borde del complejo, en contacto con las rocas del Grupo Yura. La roca favorable para la mineralización es la roca calcárea de la Fm. Gramadal.

### 7.3 Mineralización polimetálica

En el borde del complejo volcánico se presentan dos zonas oxidadas, ya antes mencionadas. La oxidación al Oeste del borde del complejo volcánico y Al Norte del complejo, esta última presenta valores altos en Ag y Pb. Aflora en la zona 15 estructuras de relleno de baritina, oxFe (goethita, hematita), galena, esfalerita y piritita, y con impregnaciones de oxMn (pirolusita). Estas estructuras han sido explotadas desde la Época Colonial, y se observan 6 trabajos de media barreta. La compañía Mauricio Hochschild (1940) reportó haber extraído en una estructura de esta zona hasta 158 g/t Ag, 14.0% Pb, 9.9% Zn.

Las estructuras fueron exploradas a profundidad con tres sondajes diamantinos que interceptaron brechas de clastos riolíticos con rellenos de siderita, baritina y trazas de sulfuros (pirita, galena, esfalerita).

Los valores altos se encuentran en los cateos en medio barreta, Presenta un área aproximada 1.5 por 2 km, con estructuras vetiformes de 0.40 m ancho máximo y longitudes desde 10 m hasta 80 m aproximadamente, con mineralización de galena masiva, esfalerita y baritina como relleno, emplazadas en rocas volcánicas de composición riolítica. Se ha contabilizando 15 vetas de rumbos principales N75°W y N15°E. Las estructuras p resentan en promedio 100ppm Ag, 0.7% Pb, 0.5% Zn, 5ppb Au. (Figuras 7.4).



**Figura 7.4.-** Plano de la zona Katrina Este (mineralización). Las estructuras E-W compuestas por rellenos de galena, marmatita, baritina en una matriz oxidada de siderita. Fueron explotadas a inicios del siglo pasado y es la fase distal del evento epitermal.

CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES/REFERENCIAS

## **CONCLUSIONES**

- El Complejo Volcánico Chucapaca se emplaza dentro de un ambiente de cuenca de extensión y levantada, teniendo como basamento a las rocas del Grupo Yura, Grupo Tacaza y Grupo Maure.
- El magmatismo del Complejo Volcánico Chucapaca se desarrolla con alta presión parcial de agua, típico de un arco magmático, pero su composición total es calcoalcalina (alto en K-shoshonítica), compatible con un ambiente extensional.
- El Complejo Volcánico Chucapaca presenta características petrográficas y control estructural similar a otros domos cercanos a la zona de estudio. Dos dataciones radiométricas tomadas en rocas cercanas al área de estudio (INGEMMET), ubican al complejo volcánico aproximadamente en el rango de 14-12Ma (intra-Maure). esta edad relativa se encuentra en el rango del vulcanismo Sillapaca (Klinck et al., 1986).
- El Complejo Volcánico Chucapaca tiene como estructura volcánica facies efusivas: domo-lava y autoclástica; y una facie volcanoclástica: depósitos de bloques y cenizas. Las facies de los depósitos superficiales que se presentan en el área de estudio son generadas por soliflucción en un ambiente periglacial.
- El complejo Volcánico Chucapaca-SW tiene como estructura volcánica solo la Facie efusiva. Cuatro centros dómicos y un cuello de domo han sido reconocidos con ayuda de las inclinaciones del bandeamiento de flujo. La dirección del bandeamiento de flujo en la riolita, no ha sido de mayor importancia, debido a su comportamiento reológico de la roca.

- Durante el emplazamiento de los domos riolíticos del complejo volcánico, en los bordes de los domos, se formaron brechas freatomagmáticas y freáticas, debido a la interacción de la paleo napa freática y los fluidos magmáticos. En las zonas Katrina y Katrina Este, afloran este tipo de brechas relacionadas al contacto entre los domos y las secuencias clásticas del Grupo Yura.
- Se inyectan fluidos hidrotermales en las zonas permeables de los domos: es decir, en el borde y centro del domo. Los fluidos hidrotermales generan alteraciones hidrotermales de un sistema hidrotermal de alta sulfuración, con un centro silíceo (vuggy silica) en las zonas reconocidas como centro dómico: Cerro Chucapaca y Cuello de domo. La alteración argílica avanzada y argílica intermedia se encuentran alrededor del centro silíceo el cual corresponde al centro del sistema (Cerro Chucapaca). Dos zonas oxidadas ubicadas en las zonas Katrina y Katrina Este, se encuentran a 2Km al NW y N, respectivamente, del centro del sistema (Cerro Chucapaca).
- Las fallas del Complejo Volcánico Chucapaca han sido generadas por movimientos: sinistral-normal, dextral-normal y dextral-inverso, de las fallas regionales andinas. Los esfuerzos de compresión generan estructuras de tensión de dirección NE, en el caso del movimiento sinistral, y estructuras de tensión NW, en el caso del movimiento dextral.
- El complejo volcánico es cortado por brechas de matriz intrusiva y freática, aprovechando la generación de zonas de tensión. Las brechas de matriz intrusiva se alojan principalmente en los cuellos de domo de las zonas: Cerro Chucapaca y Cuello de domo. Las brechas

freáticas cortan a las brechas anteriores y se encuentran en todo el complejo con relleno hidrotermal.

- El comportamiento geoquímico en el muestreo de rocas del Complejo Volcánico Chucapaca-SW presenta cuatro zonas asociaciones geoquímicas: Au-Se, en la zona de la cima del Cerro Chucapaca; Au-Se(Te), en la zona del Cuello de domo; Ag-Pb-Zn-As(Bi) en la zona Katrina Este y Zn-Pb, en la zona Katrina. Las asociaciones geoquímica presentan una firma geoquímica de un ambiente epitermal de alta sulfuración.
- El estudio geofísico de IP en la zona, muestra anomalías en el borde y centro de los domos del complejo volcánico, siendo estas zonas más permeables (porosidad secundaria) y con condiciones estructurales para el entrapamiento de los fluidos hidrotermales.
- El Complejo Volcánico Chucapaca presenta una serie de domos con presencia de actividad hidrotermal y firma geoquímica de un ambiente epitermal de alta sulfuración. Estructuras con valores de oro muestran un potencial para el desarrollo de zonas con posibles valores económicos en las tendencias estructurales preferentes del sistema.
- Su cercanía al depósito de Canahuire (5.6 Moz.), le da al Complejo Volcánico Chucapaca el objetivo de seguir la exploración en el contacto de los domos riolíticos con las rocas calcáreas de la Formación Gramadal del Grupo Yura.



## **RECOMENDACIONES**

- Realizar el estudio de dataciones radiométricas en las rocas de los domos riolíticos del complejo volcánico Chucapaca para precisar su edad. El método recomendable a utilizar es U-Pb en zircones.
- Realizar estudios de secciones delgadas en las brechas freáticas, freatomagmáticas y de matriz intrusiva para determinar la presencia de minerales del tipo alta sulfuración.
- Cartografiado a detalle de las brechas presentes en el complejo volcánico Chucapaca, para determinar su relación con el emplazamiento del complejo volcánico.
- Cartografiado detalle de los accesos del complejo volcánico poniendo énfasis en la direcciones de flujo y determinar si los domos riolíticos son coalescentes o presentan contactos definidos.
- Cartografiado cinemáticos de fallas dentro del contexto geológico distrital para el entendimiento del comportamiento estructural pre-emplazamiento del complejo volcánico.
- Sondar el contacto entre el complejo volcánico y las secuencias calcáreas de la Fm. Gramadal. El depósito Canahuire (5.6Moz) presenta como roca caja esta misma secuencia.
- Sondar a profundidad las estructuras de extensión cartografiadas en las zonas del C° Chucapaca y Cuello de domo.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Atkinson W., Skewes M. and Stern Ch.** (2007) Seminario: Brechas Hidrotermales. Colegio de Ingenieros del Perú (CIP), Capitulo de Ingeniería Geológica - Lima.
- Bachmann O. and Bergantz G.** (2008) The magma reservoirs that feed supereruptions. Department of Earth and Space Sciences. University of Washington.
- Baier J., Audétat A. and Keppler H.** (2008) The origin of the negative niobium tantalum anomaly in subduction zone magmas. *Earth and Planetary Science Letters* 267. ELSEVIER.
- Best M.** (2003) *Igneous and metamorphic petrology*. Second edition. Blakwell Publishing.
- Betejtin A.** (1970) *Curso de Mineralogía*. Editorial MIR. Segunda Edición.
- Camprubí A. y Albinson T.** (2006) Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. Volumen Conmemorativo del Centenario. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo LVIII.
- Carlier G., Carlotto V., Lorand J., Liegeois J., Fornari M., Soler P. y Cárdenas J.** (2006) Magmatismo y estructuras cenozoicas en el Altiplano Sur Peruano: Implicancias geodinámicas. XIII Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú.
- Carlotto V., Quispe J., Acosta H., Rodriguez R., Romero D., Cerpa L., Mamani M., Díaz-Martínez E., Navarro P., Jaimes F., Velarde T., Lu S. y Cueva E.** (2009) Dominios Geotectónicos y Metalogénia del Perú. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 103.
- Clark A., Farrar E., Kontak D., Langridge R. and Arenas M.** (1990) Geologic and Geochronologic constraints on the Metallogenic Evolution of the Andes of southeastern Perú. *Economic Geology*, Vol. 85.
- Colombo F. y Martí J.** (1992) Depósitos Volcano-sedimentarios. *Nuevas Tendencias: Sedimentología*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Madrid, v1: 273-350.
- Corbett J. and Leach T.** (1995) Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, alteration and mineralization. Inmet Mining and Cyprus Exploration at Panama City.
- Cunningham Ch., McNamee J., Pinto J. and Ericksen G.** (1991) A model of Volcanic dome-hosted precious metal, deposits in Bolivia. *Economic Geology* vol.86.
- Dietrich A.** (2002) Prospecto Condorasi Chico, Departamento de Moquegua. Informe Interno del Proyecto Puno, Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.

- Dusci M., Azevedo F., Baumgartner R., Dunkley P. y Gaibor A.** (2011) Geology and mineralization of the Canahuire Au (Cu-Ag) epithermal deposit, Moquegua, southern Peru. Conferencia - Proexplo 2011.
- Echevarría L., Nelson E., Humphrey J., Chavez J., Escobedo L. y Iriondo A.** (2006) Geologic Evolution of the Caylloma Epithermal Vein District, Southern Perú. *Economic Geology*, vol 101.
- Hedenquist J.** (2000) Exploration for Epithermal Gold Deposits. *Economic Geology*, vol. 13.
- Hedenquist J. and Arribas A.** (The tops and bottoms of high-sulfidation epithermal ore deposits.
- Jaillard E.** (1992) La Fase Peruana (Cretáceo superior) en la Margen Peruana. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 83.
- Jaillard E. and Santander G.** (1992) La tectónica polifásica en escamas de la zona Mañazo – Lagunillas (Puno, Sur del Perú). ORSTOM Fonds Documentaries.
- Jeffries D. y Brewer N.** (2004) SRK 27 (Cerro Chucapaca). High sulphidation epithermal. Informe Interno de Minera Gold Fields Perú S.A: 1-15.
- Jeffries D. y Polanco G.** (2005) Potosí Property – Chucapaca Project. Poly-metallic Ironstone. Informe Interno de Minera Gold Fields Perú S.A: 1-4.
- Klinck, B., Palacios, O., De La Cruz, J., De La Cruz, N., Ellison, R., Hawkins, M.** (1993) Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del lago Titicaca-Sur Perú: INGEMMET, Boletín 42, serie A, p. 257.
- Lang J. and Baker T.** (2001) Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. *Mineralum Deposita*.
- León I.** (199X) Antecedentes sedimentológicos del Jurásico-Cretácico inferior en la zona de Yura. Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Geología y Geofísica.
- Mamani M., Tassara A. and Wörner G.** (2008) Composition and structural control of crustal domains in the central Andes. AGU and the Geochemical Society.
- Mamani M., Wörner G. and Sempere T.** (2009) Geochemical variation in igneous rocks of the Central Andean orocline (13°S to 18°S): Tracing crustal thickening and magma generation through time and space. *GSA Bulletin*: January/February 2010.
- Marocco R. y Del Pino M.** (1966) Geología del Cuadrángulo de Ichuña. Hojas: 33-u. INGEMMET Boletín 14:1–57.

- McPhie J., Doyle M. and Allen R.** (1993) Volcanic Textures, A guide to the interpretation of textures in volcanics rocks. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies University of Tasmania.
- Miranda M.** (2007) Revisión Geológica, Prospecto Chucapaca – Moquegua. Informe Interno. Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.
- Morrison G.** (1991) Gold mineralization associated with flow-dome complexes, paper facilitado por el autor.
- Quispe J., Carlotto V., Acosta J., Machare J., Chirif H., Rivera R., Romero D, Huanacuni D y Rodríguez R.** (2008) Mapa Metalogenético del Perú 2008: Herramienta esencial par a las exploraciones mineras. INGEMMET Boletín N°8, Serie B.
- Palacios O., De la Cruz J., De la Cruz N. y Klinck B.** (1993) Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al oeste del lago Titicaca-Sur del Perú. INGEMMET Boletín 42:1–257.
- Rivera H.** (2007) Introducción a la Geoquímica General y Aplicada. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultas de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica y Geográfica.
- Rodríguez R.** (2008) El Sistema de Fallas Chonta y sus Implicancia Metalogenéticas entre 12°15' S y 13°30' S (Huancavelica – Perú), Tesis de Maestría, Red DESIR.
- Rollinson H.** (1993) Using geochemical data, evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical.
- Rousse S. and Gilder S.** (2005) Insight into the Neogene tectonic history of the northern Bolivian Orocline from new paleomagnetic and geochronologic data. TECTONICS Vol. 24. American Geophysical Union.
- Sempere T.** (2004) Las Fases Tectónicas en los Andes Centrales: Esplendor y decadencia de un paradigma geológico. XII Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú.
- Silvia R.** (2008) Cursos de Rocas Carbonatadas, Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.
- Thompson A. and Thompson J.** (1996) Atlas of Alteration, a field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals. Mineral Deposits Division. Geological Association of Canada.

- Vidal C., Valer R., Quiroz A, Canchaya S., Dusci M., Azevedo F., Baumgartner R., Dunkley P. y Gaibor A.** (2010) Geología del Yacimiento Canahuire en el Proyecto Chucapaca, Moquegua: Un descubrimiento nuevo de mineralización aurífera epitermal. XV Congreso Peruano de Geología. Publicación Especial N°9, paginas 676 - 679.
- Wadge G., Ryan G. and Calder E.** (2009) Clastic and core lava components of a silicic lava dome. Environmental systems Science Centre. University of Reading, Reading RG6AL, UK. (paper provided by Dr. Dunkley).
- Wilson M.** (2007) Igneous petrogenesis. A global tectonic approach. Springer.
- Zapettini E., Godeas M., Seggiaro R., Korzeniewski L., Ribiolò D., Miranda V., Uribe H., Heuschmidt B., Rodríguez C., Vivallo W., Gardeweg M., Mpodozis C., Palacios O., Paz M., Boulanger E., Carpio M., Cocking R.** (2001) Mapa metalogénico de la región fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú [14°S-28°S], Escala 1:1000.000, Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, SERNAGEOMIN.

APÉNDICES

**Apéndice I.- Datos de edades radiométricas en la zona de estudio (INGEMMET)**

N°	EDAD	ERROR	X	Y	Este_WGS84	Norte_WGS84	METODO	MATERIAL	TIPO_DE_RO	UNIDAD	MUESTRA	REFERENCIA
1	8.6	0.4	-70.507655	-16.33148	338946.5	8193801.7	K-Ar	roca total	andesita	Lallahui - Qda Pataquena	ICHU16	Martinez & Cervantes (2003)
2	16.1	0.3	-70.811327	-16.185545	306355.7	8209687.1	K-Ar		andesita	Tacaza y Huilacollo	116	Bellon & Lefevre (1976)

Los datos fueron descargados de la página web de GEOCATMIN-INGEMMET (<http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/index.html>).

Apéndice II.- Tabla de Datos cinemáticos de fallas de los domos Chucapaca.

N°	Este_WGS84	Norte_WGS84	Azimuth	DipDirection	Dip	PITCH	PITCH_Sense	SENSE	CERTEZA
1	334348	8205913	3	93	80	20	SW	ND	3
2	334661	8208048	3	93	35	80	NE	NS	3
3	334267	8207694	5	95	57	50	NE	NS	3
4	334708	8208055	6	96	26	77	NE	ID	1
5	335050	8206386	8	98	65	45	NE	SN	2
6	334249	8207281	10	100	78	8	NE	SI	3
7	334934	8207966	15	105	72	30	NE	DN	2
8	334655	8208126	20	110	83	50	NE	ID	3
9	334342	8207599	24	114	55	43	NE	NS	1
10	334660	8208115	28	118	68	85	NE	ID	3
11	334715	8207978	43	133	68	60	NE	DI	3
12	334731	8208033	45	135	78	22	NE	DI	1
13	334657	8208101	45	135	74	50	NE	NS	1
14	334660	8208096	50	140	72	32	NE	ND	1
15	334279	8206030	55	145	66	30	NE	SN	3
16	334601	8205965	67	157	35	40	SW	DN	1
17	335028	8206360	70	160	75	30	NE	DI	2
18	334692	8206153	70	160	30	8	NE	DI	2
19	335039	8206379	75	165	20	52	SW	ND	1
20	334644	8206132	75	165	18	61	SW	ND	1
21	334856	8206250	75	165	80	5	NE	DI	2
22	334588	8207914	80	170	46	76	NE	ID	3
23	335051	8206394	85	175	67	10	NE	DN	2
24	334198	8207389	95	185	87	20	SE	DN	2
25	334663	8208094	95	185	60	40	SE	DI	3
26	334352	8205912	103	193	87	10	SE	NS	2
27	334945	8206244	125	215	55	70	SE	ND	1
28	334595	8206008	129	219	20	65	SE	NS	1
29	333957	8206492	150	240	69	15	NW	DN	1
30	333972	8206563	154	244	67	70	NW	ND	3
31	333961	8206549	154	244	65	28	SE	DI	1
32	333959	8206488	155	245	70	16	SE	DI	2
33	333950	8206514	160	250	69	10	SE	DI	2
34	333982	8206612	180	270	77	30	N	DI	2
35	334682	8207970	180	270	18	80	S	ID	2
36	334346	8205927	185	275	77	10	NE	ND	3
37	334312	8207707	186	276	40	40	SW	SN	3
38	334063	8206789	188	278	88	32	NE	DN	2
39	333957	8206487	195	285	71	35	NE	DN	2
40	334366	8205914	200	290	21	40	SW	IS	1
41	334334	8206066	241	331	81	31	NE	ND	2
42	334437	8206097	256	346	71	60	NE	ND	2
43	334876	8206239	265	355	65	75	NE	ND	1
44	333980	8206673	267	357	45	55	NE	ND	2
45	334944	8206275	267	357	44	52	SW	IS	2
46	335074	8206445	270	360	80	12	SE	SI	2
47	335061	8206422	282	12	75	18	SE	SI	2
48	334673	8208003	283	13	83	50	SE	IS	1
49	335187	8206561	284	14	67	35	SE	SI	2
50	334949	8206284	290	20	50	70	SE	IS	2



N°	Este_WGS84	Norte_WGS84	Azimuth	DipDirection	Dip	PITCH	PITCH_Sense	SENSE	CERTEZA
51	333977	8206655	292	22	25	50	NW	SN	2
52	334939	8206277	297	27	52	65	SE	ND	2
53	335049	8206379	315	45	55	85	NW	N	2
54	334874	8206241	320	50	65	80	NW	NS	1
55	334328	8207575	322	52	46	80	SE	ND	1
56	334015	8206725	330	60	48	50	NW	DI	3
57	333989	8206695	330	60	36	40	NW	NS	3
58	334693	8208031	335	65	31	62	SE	ND	1
59	334858	8206252	340	70	8	35	NW	ND	2
60	334332	8207588	340	70	34	64	NW	NS	1
61	333985	8206613	350	80	88	32	NW	DI	1
62	334733	8207972	350	80	54	89	NW	ND	2
63	334653	8208051	354	84	70	65	NW	ID	3
64	334652	8208067	354	84	87	20	NW	ID	2

Apéndice III.- Tabla de datos, coordenadas y Dip de dirección de flujo de los domos Chucapaca.

N°	Este_WGS84	Norte_WGS84	STRUCT_TYP	DIP	N°	Este_WGS84	Norte_WGS84	STRUCT_TYP	DIP
1	334632.3	8207782.9	LM	68	56	334085.9	8207220.1	LM	55
2	334643.3	8207748.9	LM	50	57	334081.7	8207179.3	LM	80
3	334614.3	8207731.9	LM	60	58	334061.1	8207105.6	LM	85
4	334616.6	8207704.6	LM	40	59	334480.6	8205789.9	LM	60
5	334657.2	8207697.9	LM	75	60	334504.7	8205901.2	LM	60
6	334606.5	8207648.3	LM	45	61	334560.7	8205921.2	LM	80
7	334629.3	8207631.9	LM	40	62	333977.3	8206663.5	LM	70
8	334593.5	8207625.5	LM	70	63	333934.3	8206659.2	LM	65
9	334520.3	8207541.9	LM	55	64	334045.9	8206710.0	LM	80
10	334466.9	8207560.6	LM	60	65	333958.2	8206816.2	LM	75
11	334479.7	8207493.3	LM	50	66	334004.7	8206802.7	LM	70
12	334517.3	8207617.9	LM	50	67	334016.4	8206810.0	LM	65
13	334503.8	8207591.0	LM	40	68	334031.0	8206806.1	LM	85
14	334358.3	8207565.9	LM	60	69	334007.5	8206833.9	LM	75
15	334348.1	8207601.4	LM	72	70	333963.1	8206879.2	LM	75
16	334364.7	8207616.4	LM	50	71	333972.6	8206926.5	LM	75
17	334361.5	8207644.9	LM	40	72	333979.9	8206981.5	LM	80
18	334312.3	8207617.9	LM	55	73	333992.3	8207009.2	LM	85
19	334325.3	8207624.9	LM	50	74	334011.9	8207054.5	LM	80
20	334314.3	8207600.9	LM	60	75	334047.3	8207061.5	LM	80
21	334323.8	8207562.8	LM	55	76	334101.1	8206878.0	LM	70
22	334304.3	8207652.9	LM	40	77	333953.3	8206826.4	LM	75
23	334313.3	8207650.9	LM	50	78	333949.5	8206524.9	LM	75
24	334321.7	8207643.9	LM	45	79	335046.7	8206412.6	LM	75
25	334256.6	8207636.7	LM	40	80	335106.2	8206407.5	LM	65
26	334268.8	8207669.8	LM	62	81	335098.2	8206460.8	LM	70
27	334334.2	8207692.4	LM	68	82	335161.4	8206487.7	LM	55
28	334352.0	8207672.5	LM	30	83	335202.6	8206578.2	LM	80
29	334170.5	8207657.5	LM	65	84	335224.3	8206621.3	LM	55
30	334214.5	8207704.3	LM	65	85	335400.3	8206561.5	LM	40
31	334235.4	8207693.5	LM	30	86	335317.6	8206543.4	LM	65
32	334233.5	8207654.0	LM	45	87	334710.8	8205890.1	LM	45
33	334260.3	8207606.9	LM	66	88	335042.2	8207463.7	LM	50
34	334257.3	8207588.9	LM	59	89	335011.6	8207444.6	LM	40
35	334288.3	8207535.9	LM	32	90	335031.4	8207440.7	LM	65
36	334284.3	8207528.9	LM	66	91	334878.8	8207771.9	LM	25
37	334321.7	8207519.5	LM	28	92	334918.8	8207888.5	LM	50
38	334290.5	8207518.5	LM	60	93	334362.4	8205245.0	LM	70
39	334268.3	8207723.9	LM	40	94	334345.1	8205229.1	LM	65
40	334290.3	8207717.9	LM	55	95	334260.0	8205192.2	LM	75
41	334348.3	8207721.9	LM	40	96	334967.5	8206202.5	LM	55
42	334358.0	8207693.2	LM	40	97	334781.6	8206212.8	LM	65
43	334080.6	8207663.8	LM	35	98	334829.4	8207544.6	LM	70
44	334068.3	8207625.3	LM	40	99	334846.7	8207522.0	LM	48
45	334107.8	8207571.3	LM	60	100	334846.0	8207515.5	LM	55
46	334066.0	8207577.0	LM	45	101	334821.3	8207430.9	LM	57
47	334057.6	8207526.9	LM	25	102	334891.3	8207318.7	LM	72
48	334059.3	8207493.3	LM	10	103	334934.0	8207154.2	LM	60
49	334045.8	8207468.4	LM	40	104	334993.1	8207130.8	LM	60
50	334092.3	8207463.9	LM	80	105	334999.9	8207169.5	LM	30
51	334077.3	8207367.9	LM	65	106	335015.0	8207246.4	LM	20
52	334110.6	8207317.4	LM	60	107	335054.0	8207322.5	LM	40
53	334682.3	8208031.9	LM	45	108	334982.6	8207297.1	LM	35
54	334064.6	8207318.0	LM	50	109	334426.2	8205425.4	LM	60
55	334051.9	8207276.6	LM	45	110	334395.8	8205480.8	LM	80

**Apéndice IV.- Análisis de Roca Total (Sillapaca y Tacaza)**

**A.- Data de Laboratorio**

SAMPLE_ID	Formación	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	Cr2O3	TiO2	MnO	P2O5	SrO	BaO	LOI	Total
104510	Sillapaca	72.27	14.25	1.98	0.7	0.49	2.35	5.06	0.005	0.19	0.03	0.067	0.02	0.1	1.7	99.22
104511	Sillapaca	71.94	14.87	1.85	0.62	0.48	2.6	4.88	0.005	0.2	0.03	0.047	0.02	0.1	1.78	99.41
104512	Sillapaca	72.5	13.82	1.24	0.36	0.33	2.36	6.77	0.005	0.15	0.01	0.032	0.01	0.14	0.62	98.35
104513	Tacaza	55.83	16.4	9.42	4.05	0.48	3.57	2.88	0.02	0.82	0.6	0.29	0.08	0.11	3.72	98.27
104514	Tacaza	52.44	16.35	8.12	7.07	1.21	3.64	2.68	0.03	1.03	0.33	0.387	0.09	0.1	4.72	98.2
104522	Sillapaca	72.76	13.95	1.12	0.59	0.26	3.15	5.59	0.005	0.15	0.02	0.028	0.02	0.11	0.75	98.5
104523	Sillapaca	72.95	14.56	1.15	0.73	0.19	4.01	4.48	0.005	0.19	0.02	0.083	0.02	0.11	0.82	99.32
104536	Sillapaca	74.03	14.22	0.78	1.33	0.12	3.75	4.07	0.005	0.21	0.02	0.053	0.02	0.09	0.89	99.59
104538	Sillapaca	72.28	14.93	1.04	1.32	0.26	3.52	4.22	0.005	0.23	0.02	0.041	0.02	0.1	1.33	99.32
104539	Sillapaca	78.06	10.8	0.76	0.72	0.18	2.82	3.82	0.005	0.09	0.03	0.056	0.02	0.06	1.72	99.13
104542	Sillapaca	75.94	11.32	1.4	1.02	0.24	3.1	3.17	0.005	0.14	0.04	0.053	0.03	0.09	1.66	98.2
104543	Tacaza	51.01	15.12	8.58	7.68	3.2	2.38	2.87	0.04	0.83	0.28	0.35	0.06	0.08	5.88	98.37
104544	Sillapaca	75.13	12.65	1.11	0.85	0.26	3.48	4.04	0.005	0.12	0.23	0.036	0.02	0.1	0.97	99.01
104546	Sillapaca	71.61	13.45	1.67	0.84	0.57	2.22	5.43	0.005	0.15	0.02	0.063	0.02	0.11	2.17	98.32
104560	Sillapaca	71.54	14.5	1.16	1.11	0.21	3.39	4.12	0.005	0.22	0.01	0.066	0.02	0.09	2.25	98.69
104561	Sillapaca	76.54	11.43	0.8	0.45	0.19	1.99	5.98	0.005	0.09	0.05	0.039	0.01	0.27	1.29	99.14
104562	Sillapaca	76.86	11.68	0.3	0.05	0.12	0.48	7.77	0.005	0.1	0.01	0.023	0.01	0.13	1.54	99.08

SAMPLE_ID	Formación	Ag	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La
104510	Sillapaca	0.5	960	63.1	1.8	10	11	2.5	2.66	1.5	0.84	15.9	3.83	4.3	0.52	33.2
104511	Sillapaca	0.5	900	67.6	2.1	10	29.6	5	2.04	1.1	0.8	16.1	3.49	3.5	0.37	36.6
104512	Sillapaca	0.5	1260	61.6	0.6	5	5.54	2.5	1.13	0.66	0.56	15.8	2.69	3.2	0.22	34.3
104513	Tacaza	0.5	1015	56.1	13.1	100	16.15	12	2.32	1.24	1.1	20.9	3.69	3.4	0.43	30.1
104514	Tacaza	0.5	932	63	32.8	170	18	34	2.86	1.64	1.25	20.8	4.43	3.6	0.56	33.2
104522	Sillapaca	0.5	982	71.3	0.8	5	1.29	2.5	2.09	1.09	0.67	16.4	3.59	2.8	0.39	38.9
104523	Sillapaca	0.5	999	60.3	1.3	10	1.74	2.5	2.29	1.25	0.77	17.2	3.49	3.6	0.43	31.8
104536	Sillapaca	0.5	864	58.6	0.7	10	15.3	2.5	1.98	1.09	0.74	16.6	3.2	3.7	0.36	32.8
104538	Sillapaca	0.5	906	62.3	1.4	10	10.75	2.5	1.82	1.04	0.8	17.1	3.24	3.8	0.34	34.9
104539	Sillapaca	0.5	671	34.7	0.6	5	11.2	2.5	2.16	1.26	0.54	12.6	2.6	1.9	0.42	18.1
104542	Sillapaca	0.5	809	47.3	1	10	24.9	2.5	2.04	1.28	0.61	13.1	2.96	3	0.42	25.7
104543	Tacaza	0.5	690	36.1	31.9	290	33.7	18	3.25	1.96	1.07	17.2	3.93	2.8	0.66	17.7
104544	Sillapaca	0.5	986	48.3	0.9	10	16.4	2.5	2.39	1.31	0.63	14.9	3.11	2.6	0.45	25.5
104546	Sillapaca	0.5	1045	58.2	1.3	5	2.96	2.5	2.18	1.26	0.67	15.4	3.19	3.3	0.43	31.6
104560	Sillapaca	0.5	851	60.7	2	10	9.03	19	2.59	1.51	0.79	16.7	3.67	3.6	0.48	34.3
104561	Sillapaca	0.5	2410	40.8	1.5	5	23.4	7	2.29	1.27	0.67	13.3	2.84	2.2	0.43	22.1
104562	Sillapaca	1	1205	35.1	0.25	5	6.28	7	1.85	1.1	0.63	12.7	2.25	2.1	0.36	18.4

## Análisis de Roca Total (Sillapaca y Tacaza) (Continuación)

SAMPLE_ID	Formación	Lu	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sr	Sm	Sn	Ta	Tb	Th	Ti
104510	Sillapaca	0.2	1	12.5	23.2	6	12	7.01	209	125	4.09	1	1.1	0.51	15.25	0.25
104511	Sillapaca	0.16	1	12.5	23	6	63	7.18	192.5	132.5	3.61	1	1.1	0.41	15.45	0.25
104512	Sillapaca	0.11	1	13.4	20.1	5	12	6.43	198	119.5	2.72	1	1.2	0.26	13.6	0.25
104513	Tacaza	0.15	2	8.3	23.8	46	15	6.63	125.5	689	3.98	1	0.5	0.44	7.19	0.25
104514	Tacaza	0.2	2	10.1	27.8	88	21	7.52	103.5	818	4.67	1	0.6	0.57	6.23	0.25
104522	Sillapaca	0.16	1	12.3	25	5	9	7.76	170	144	3.72	0.5	1.3	0.42	13.8	0.25
104523	Sillapaca	0.17	1	12.3	21.4	6	8	6.49	155	158.5	3.55	1	1.1	0.43	15.8	0.25
104536	Sillapaca	0.16	1	11.7	20.6	6	21	6.3	173	200	3.36	1	1.1	0.39	18.65	0.25
104538	Sillapaca	0.13	1	11.3	22.2	8	28	6.83	186.5	206	3.5	1	1.1	0.38	21.9	0.25
104539	Sillapaca	0.18	1	11.2	13	5	15	3.91	152	106.5	2.54	1	1	0.38	8.23	0.25
104542	Sillapaca	0.2	1	11.2	17.6	6	20	5.31	112.5	164.5	3.01	1	0.9	0.37	11.2	0.25
104543	Tacaza	0.27	2	4.8	19	57	27	4.65	137.5	539	3.96	1	0.3	0.55	3.38	0.25
104544	Sillapaca	0.18	1	12.2	18.2	5	28	5.45	150.5	144.5	3.1	1	1.1	0.45	11.75	0.25
104546	Sillapaca	0.2	1	12	19.7	6	10	6.26	234	159	3.14	1	1.1	0.41	12.5	0.25
104560	Sillapaca	0.21	1	11.6	22.7	6	15	6.93	198.5	186	3.84	0.5	1.1	0.47	19.7	0.25
104561	Sillapaca	0.17	1	11.9	15	6	24	4.52	202	109	2.73	2	1	0.41	10.15	0.25
104562	Sillapaca	0.15	1	11.3	13.5	5	13	4.02	248	55.6	2.5	3	1.1	0.32	6.96	0.25

SAMPLE_ID	Formación	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
104510	Sillapaca	0.2	2.68	18	5	14.2	1.37	88	140
104511	Sillapaca	0.18	2.35	14	3	10.3	1.07	120	109
104512	Sillapaca	0.1	1.12	10	2	6.2	0.67	72	98
104513	Tacaza	0.16	1.41	152	1	11	0.99	83	124
104514	Tacaza	0.21	1.45	189	1	14.1	1.42	122	139
104522	Sillapaca	0.16	1.52	7	2	10.9	1.1	14	87
104523	Sillapaca	0.18	2.8	14	1	11.9	1.14	24	115
104536	Sillapaca	0.16	3.34	15	2	10.3	1.02	29	123
104538	Sillapaca	0.13	3.67	16	2	9.7	0.95	39	128
104539	Sillapaca	0.17	2.97	2.5	2	12.3	1.21	16	49
104542	Sillapaca	0.19	2.39	8	1	13.3	1.27	45	95
104543	Tacaza	0.27	0.79	230	1	16.9	1.83	293	101
104544	Sillapaca	0.17	3.37	6	2	13	1.21	44	71
104546	Sillapaca	0.2	4.55	10	2	12.7	1.27	16	99
104560	Sillapaca	0.22	4.84	15	1	15	1.38	62	119
104561	Sillapaca	0.17	3.43	2.5	3	12.1	1.18	33	55
104562	Sillapaca	0.15	2.75	6	4	10.3	0.98	12	57





### Apéndice V.- Estudio Petrográfico de las brechas (Dr. Jacqueline Blackwell)

En estudio se religó con características macroscópicas en las brechas del depósito Canahuire. Se ha tomado la estructura orgánica para el logueo analítico de las brechas en este estudio. Se debe tomar las siguientes características:

1. *Tamaño de grano*
2. *Componentes*
  - a. *Clastos*
  - b. *Matriz*
  - c. *Cemento*
  - d. *Espacio abierto*
3. *Litofacies*
  - a. *Organización interna*
  - b. *Marco*
4. *Geometría*
5. *Alteración*

#### Detalle y observaciones de cada una:

1.- **Tamaño de grano.-** Se considera la Tabla adjunta para determinar el tamaño de grano.

CLASIFICACION DE SEDIMENTOS			
Límites de Clases (milímetros)	Clases de tamaño	Término para roca	
256 16 4 2	G r a v a s	Peñascos	Conglomerado Brecha Rudita Rocas rudáceas
		Mataténas	
		Gujarros	
		Gránulos	
1 0.05 0.25 0.125 0.0625	A r e n a s	Arenas muy gruesas	Arenisca Arenita Rocas arenáceas
		Arenas gruesas	
		Arenas medianas	
		Arenas finas	
		Arenas muy finas	
0.0312 0.0156 0.0078 0.0039	L i m o s	Limo grueso	L i m o l i t a
		Limo medio	
		Limo fino	
		Limo muy fino	
	Arcilla	Lutita	

Escala de tamaño de grano de Udden-Wentworth, modificado de Adams y otros (1984)

2.- **Componentes.-** Primero es saber diferenciar si tenemos una brecha y si entra en la clasificación diferenciaremos sus componentes.

**Brecha:** Agregado clástico con grano > 2mm de fragmentos de rocas angulares (Wentworth, 1935 y Krynine, 1948). Los componentes de la brecha pueden incluir clastos, matriz, cemento y espacios abiertos.

**Clasto:** Un simple grano o partícula en agregados clásticos (Krynine, 1948). En este caso, los clastos son definidos como partículas con diámetro > 2mm en la brecha.

**Se describe:** Tamaño de grano, composición, redondez y forma

**Matriz:** Los granos o partículas de un agregado clástico que rellenan los intersticios entre clastos (Krynine, 1948). En este caso, la matriz está definida como partículas con diámetro < 2mm en la brecha.

*Se describe:* Tamaño de grano, composición y textura

**Cemento:** Precipitación cristalina que infiltra alrededor de clastos y/o matriz (Krynine, 1948). El cemento puede precipitar desde un fluido acuoso y puede incluir minerales de mena y/o ganga (Davies et al., 2008). Esto es un diagnóstico de la mayoría de brechas hidrotermales (Davies et al., 2008).

*Se describe:* Tamaño de grano, composición y textura

**Espacio abierto:** Se expresa en porcentaje

**3.- Litofacies.-** Es la descripción física de los componentes con respecto al otro. Para analizar su ambiente de formación.

Organización interna: jigsaw-fit, crackel y rubble

Marco: Clasto-, matriz- o cemento soportado

Clasificación: Pobremente, moderada o buena clasificación.

**4.- Geometría.-** Forma física de la estructura correlacionando con la superficie.

Morfología: Irregular, cono, dique, vena o tabular

Relación de contacto: Gradacional, difuso, planar, brechado.

**5.- Alteración.-** Diferenciar los minerales alterados en cada componente y realizar gráficos de posición espacial de uno con respecto a otro mineral analizado.

En clasto, matriz o cemento.

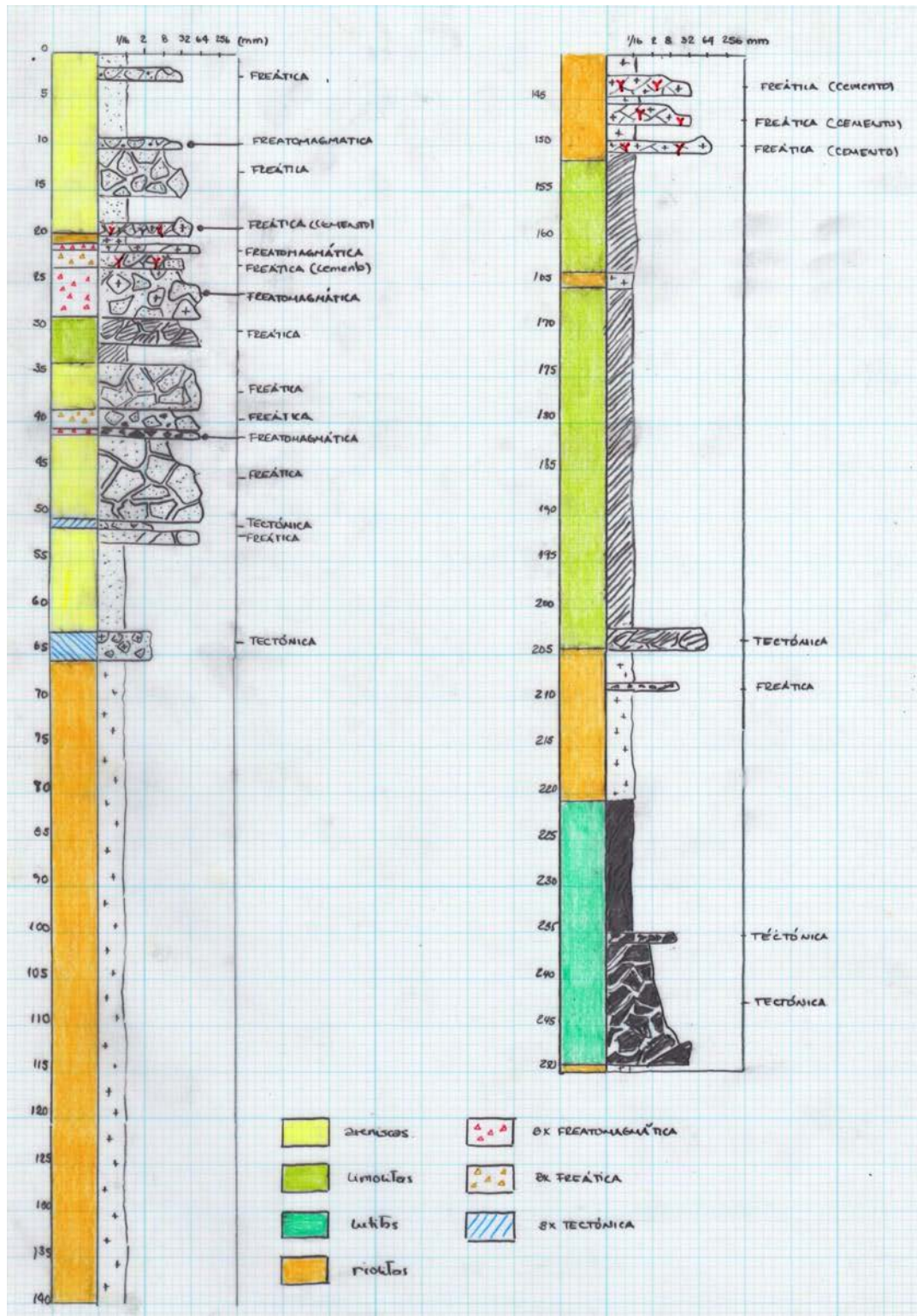
Alteración paragénesis (pre-, syn- y post-brechación).

En campo se debe realizar una leyenda de las rocas propias del proyecto.





En siguiente gráfico corresponde al logueo del sondaje KAT10-08. Observar la diferencia del logueo a color (lado izquierdo) y el detalle de brechas (lado derecho). Se utiliza la escala logarítmica para el tamaño de clasto. El logueo gráfico Log debe tener una simplificación en la litología para ayudar a resaltar las brechas.



**Apéndice VI.-** Tabla de datos de minerales de alteración leídos por el equipo TERRASPEC.

DataSet	Code	Este	Norte	Type_Sampled	Pima 1	Pima 2	Pima 3	Pima 4	Observaciones
CHUCAPACA	104701	334013.60	8207032.49	ROCA	si	al(k)	ka		Argilica avz
CHUCAPACA	104705	334033.91	8206706.04	ROCA	ka	ill			Argilica int
CHUCAPACA	104714	335249.71	8207625.49	ROCA	ka	sm			Argilica int
CHUCAPACA	104717	335209.12	8207693.64	ROCA	sm	ka	ja		Argilica int
CHUCAPACA	104942	334003.31	8206457.94	ESTRUCTURA	ill	ka			Argilica int
CHUCAPACA	104943	334002.9	8206458.83	ESTRUCTURA	ill	ser			Argilica
CHUCAPACA	104947	334001.2	8206465.32	ESTRUCTURA	ill	sm	ka		Argilica int
CHUCAPACA	104949	334052.27	8207063.27	ESTRUCTURA	ka	al(k)	si		Argilica avz
CHUCAPACA	104950	334000.61	8206467.64	ESTRUCTURA	al(k)	ka	si		Argilica avz
CHUCAPACA	104951	334000.15	8206469.58	ESTRUCTURA	ka	si	sm		Argilica int
CHUCAPACA	104954	333999.57	8206474.84	ROCA	si				Silicificación
CHUCAPACA	104955	333999.44	8206475.44	ROCA	il	sm	ja		Argilica int
CHUCAPACA	104960	333994.19	8206631.35	ESTRUCTURA	dk	si			Argilica
CHUCAPACA	104965	333993.93	8206635.75	ROCA	si	ka	dk		Argilica avz
CHUCAPACA	104967	333993.95	8206637.84	ROCA	si	dk	ka		Argilica avz
CHUCAPACA	104973	333993.55	8206644.7	ESTRUCTURA	ja	ka	si		Argilica
CHUCAPACA	104977	333993.28	8206648.9	ROCA	si	ka	ja		Argilica
CHUCAPACA	104982	333993.28	8206652.56	ESTRUCTURA	ka	dk			Argilica avz
CHUCAPACA	104990	334001.63	8206678.51	ROCA	ka	sm	ja		Argilica int
CHUCAPACA	104991	334009.08	8207010.67	ROCA	ka				Argilica
CHUCAPACA	104996	334011.47	8207020.71	ROCA	ka	sm			Argilica int
CHUCAPACA	AD-18	334854.142	8207836.21	ROCA	sm	ka	ja		Argilica int
CHUCAPACA	AD-19	334864.537	8207885.11	ROCA	ka	sm	ja		Argilica int
CHUCAPACA	AD-22	334895.724	8208031.84	ROCA	sm	ka			Argilica int
CHUCAPACA	AE-23	334955.36	8208072.06	ROCA	ka	sm			Argilica int
CHUCAPACA	AF-21	334983.809	8207965.56	ROCA	ka	sm			Argilica int
CHUCAPACA	AF-30	335077.37	8208405.73	ROCA	ka	sm			Argilica int
CHUCAPACA	Q-16	334242.466	8207842.58	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	R-4	334166.959	8207247.01	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	R-5	334177.215	8207295.92	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	R-6	334187.751	8207344.82	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	R-7	334198.146	8207393.73	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	R-8	334208.543	8207442.64	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	R-9	334218.937	8207491.55	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	R-11	334239.728	8207589.36	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	R-13	334260.52	334260.52	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	R-14	334270.915	8207736.08	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	R-15	334281.311	8207784.99	ROCA	sm	ka	ja		Argilica int
CHUCAPACA	R-16	334291.706	8207833.9	ROCA	ka	sm			Argilica int
CHUCAPACA	S-3	334205.804	8207189.42	ROCA	il	al(k)	ka		Argilica avz
CHUCAPACA	S-7	334247.386	8207385.05	ROCA	ka	ja			Argilica
CHUCAPACA	S-8	334257.783	8207433.96	ROCA	ka				Argilica
CHUCAPACA	S-9	334268.177	334268.177	ROCA	ka	sm			Argilica int
CHUCAPACA	S-10	334278.573	8207531.77	ROCA	sm	ka	ja		Argilica int
CHUCAPACA	S-11	334288.968	8207580.68	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	S-13	334309.76	8207678.49	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	T-1	334234.253	8207082.92	ROCA	il	si			Argilica int
CHUCAPACA	T-3	334255.044	8207180.74	ROCA	al(k)				Argilica avz
CHUCAPACA	V-4	334363.92	8207212.28	ROCA	il	ka	ja		Argilica int
CHUCAPACA	V-12	334447.085	8207603.54	ROCA	sm	ka	ja		Argilica int
CHUCAPACA	X-8	334503.985	8207390.54	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	Y-6	334532.433	8207284.05	ROCA	ka	il			Argilica int
CHUCAPACA	Y-12	334594.806	8207577.49	ROCA	sm	ka	ja		Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.001	334664	8206208	ROCA	Prehnita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.002	334685	8206247	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.003	334694	8206247	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.004	334725	8206282	ROCA	Hemimorfita				Calcosilicatos
CHUCAPACA	CHUCAP.006	334857	8206383	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.007	335062	8206569	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.008	335062	8206569	ROCA	Zeolita				Supergeno
CHUCAPACA	CHUCAP.009	335153	8206661	ROCA	Zeolita				Supergeno
CHUCAPACA	CHUCAP.010	335214	8206716	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.011	335271	8206766	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.013	335402	8206938	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.014	335300	8206900	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.015	334912	8206216	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.016	334586	8206074	ROCA	Opalo				Silicificación
CHUCAPACA	CHUCAP.019	334593	8205951	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.020	334698	8205537	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.022	335135	8205294	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.023	335562	8205111	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.025	335922	8205419	ROCA	Montmorillonita				Argilica int

DataSet	Code	Este	Norte	Type_Sampled	Pima 1	Pima 2	Pima 3	Pima 4	Observaciones
CHUCAPACA	CHUCAP.027	336037	8205553	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.028	336174	8205890	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.029	335665	8205339	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.030	336658	8206731	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.031	335914	8206385	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.033	335626	8206389	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.034	336446	8207831	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.035	336384	8207545	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.036	336634	8207173	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.038	336743	8207083	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.039	336525	8206912	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.041	335768	8206156	ROCA	Hallosita				Supergeno
CHUCAPACA	CHUCAP.042	335894	8204862	ROCA	Illita-esmectita				Argilica
CHUCAPACA	CHUCAP.044	334163	8206651	ROCA	Sericita				Filica
CHUCAPACA	CHUCAP.045	334219	8206626	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.047	334153	8206809	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.049	334140	8206880	ROCA	Jarosita				Supergeno
CHUCAPACA	CHUCAP.051	334156	8207067	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.052	334120	8207132	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.053	334275	8207167	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.054	334272	8207183	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.056	334291	8207475	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.058	334316	8207562	ROCA	Illita-esmectita				Argilica
CHUCAPACA	CHUCAP.059	334306	8207761	ROCA	Illita-esmectita				Argilica
CHUCAPACA	CHUCAP.060	334819	8207516	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.061	334353	8207882	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.062	334435	8208053	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.063	334489	8207941	ROCA	Clorita				Propilitica
CHUCAPACA	CHUCAP.065	334638	8207751	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.066	334801	8208035	ROCA	Illita-esmectita				Argilica
CHUCAPACA	CHUCAP.067	334858	8208303	ROCA	Jarosita				Supergeno
CHUCAPACA	CHUCAP.068	334913	8208417	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.072	335242	8208657	ROCA	Illita-esmectita				Argilica
CHUCAPACA	CHUCAP.073	335328	8208767	ROCA	Illita-esmectita				Argilica
CHUCAPACA	CHUCAP.075	335142	8208953	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.076	335611	8209340	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.077	335502	8209324	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.078	334627	8209311	ROCA	Clorita				Propilitica
CHUCAPACA	CHUCAP.079	334512	8208983	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.080	335056	8208975	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.081	335125	8209020	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.083	335410	8209031	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.084	335223	8207523	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.085	335138	8207501	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.087	335096	8207681	ROCA	Caolinita-esmecti				Argilica
CHUCAPACA	CHUCAP.089	335023	8207762	ROCA	Montmorillonita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.091	334975	8207778	ROCA	Alunita				Argilica avz
CHUCAPACA	CHUCAP.093	336319	8208294	ROCA	Caolinita				Argilica int
CHUCAPACA	CHUCAP.094	336311	8208285	ROCA	Illita-esmectita				Argilica
CHUCAPACA	CHUCAP.097	336360	8209147	ROCA	Goetita				Supergeno
CHUCAPACA	104734	335130.1	8208336.1	ESTRUCTURA	sm	al(k)(1470)(tr)			Argilica int
CHUCAPACA	104737	335180.6	8208370.9	ROCA	sm	ill	ka(tr)		Argilica int
CHUCAPACA	104778	334127.5	8206887.5	ROCA	ka	al(k)(1478)	ja(tr)		Argilica avz
CHUCAPACA	104790	334303.3	8206766.6	ROCA	ka	ill	al(k)(1479)(tr)		Argilica avz
CHUCAPACA	104792	335234.0	8206538.0	ROCA	ka	al(k)(1479)			Argilica avz
CHUCAPACA	104793	334482.6	8206396.8	ROCA	si	al(k)(1479)	ka(tr)		Argilica avz
CHUCAPACA	104795	334518.6	8206384.3	ESTRUCTURA	si	hm	al(k)(1470)(tr)		Silicificación
CHUCAPACA	104797	334504.7	8206368.6	ESTRUCTURA	ill	al(k)(1478)	ka(tr)		Argilica avz
CHUCAPACA	104798	334524.2	8206355.4	ESTRUCTURA	si	al(k)(1478)	hm	ka(tr)	Argilica avz
CHUCAPACA	104799	334531.7	8206323.9	ROCA	ka	sm	goe		Argilica int
CHUCAPACA	104800	334538.3	8206324.2	ESTRUCTURA	al(k)(1478)	ill	ka(tr)		Argilica avz
CHUCAPACA	100001	334569.1	8206280.5	ROCA	sm	ill	ja(tr)		Argilica int
CHUCAPACA	100002	334921.0	8206548.0	ROCA	al(k)(1478)	si	hm	ka(tr)	Argilica avz
CHUCAPACA	100003	334903.0	8206524.0	ROCA	si	al(k)(1478)	ka(tr)		Argilica avz
CHUCAPACA	100004	334947.0	8206528.0	ROCA	si	al(k)(1478)(tr)			Argilica avz
CHUCAPACA	100005	334947.0	8206551.0	ESTRUCTURA	ka	sm	hm		Argilica int
CHUCAPACA	100006	334935.0	8206509.0	ESTRUCTURA	si				Silicificación
CHUCAPACA	100007	334921.0	8206505.0	ESTRUCTURA	al(k)(1478)				Argilica avz
CHUCAPACA	100008	334910.0	8206506.0	ROCA	sm	si	ja(tr)		Argilica int
CHUCAPACA	100009	334988.0	8206478.0	ESTRUCTURA	al(k)(1478)	si			Argilica avz
CHUCAPACA	100010	334831.0	8206451.0	ESTRUCTURA	si	al(k)(1478)	hm		Argilica avz
CHUCAPACA	100011	334851.0	8206473.0	ESTRUCTURA	al(k)(1479)				Argilica avz

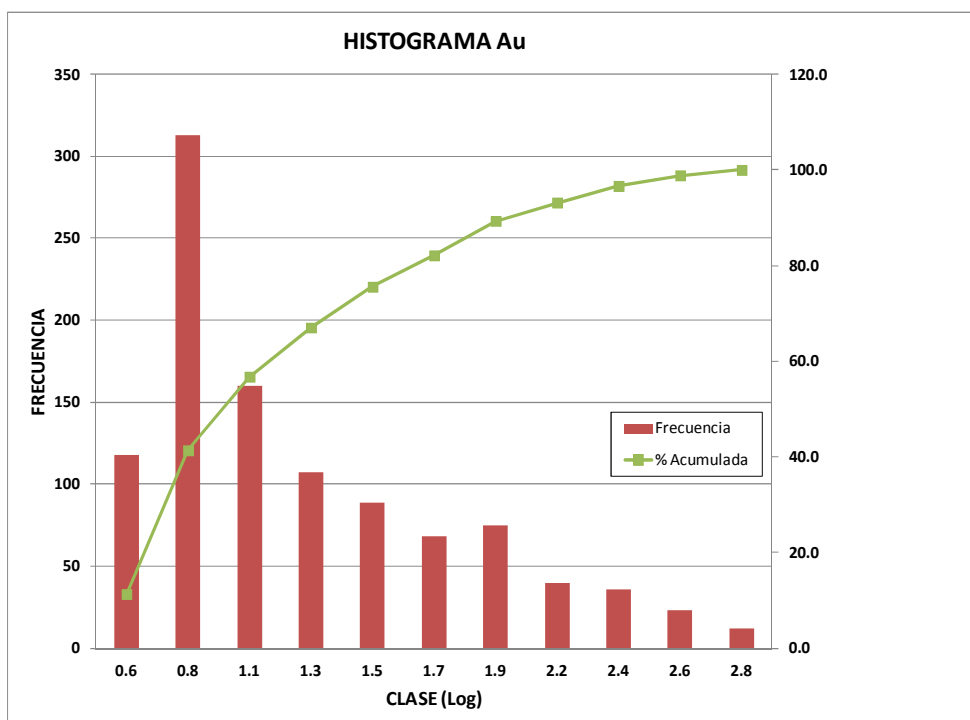
DataSet	Code	Este	Norte	Type_Sampled	Pima 1	Pima 2	Pima 3	Pima 4	Observaciones
CHUCAPACA	100013	334866.0	8206492.0	ROCA	al(k)(1479)	si			Argilica avz
CHUCAPACA	A10B	335180.8	8207930.8	ROCA	sm	ka			Argilica int
CHUCAPACA	A12A	335123.7	8208144.0	ROCA	sm	ka	ja(tr)		Argilica int
CHUCAPACA	A13A	335144.5	8208241.3	ROCA	sm	ka			Argilica int
CHUCAPACA	104733	333866.492	8206662.5		al	ka			Argilica avz
CHUCAPACA	C100016	334802.0	8206444.0		al				Argilica avz
CHUCAPACA	C100017	334787.3	8206408.1		ka	sm	ja	al	Argilica int
CHUCAPACA	C100019	334809.3	8206375.3		sm	al			Argilica int
CHUCAPACA	C100020	334795.2	8206351.4		sm	al			Argilica int
CHUCAPACA	C100022	334766.6	8206285.5		si				Argilica int
CHUCAPACA	C100023	334761.5	8206269.9		si	ka			Argilica
CHUCAPACA	C100024	334742.0	8206232.0		al				Argilica avz
CHUCAPACA	C100025	334699.4	8206266.4		al				Argilica avz
CHUCAPACA	C100027	334742.6	8206295.5		sm	al			Argilica int
CHUCAPACA	C100028	334746.7	8206304.4		si	al			Argilica avz
CHUCAPACA	C100029	334741.8	8206306.2		sm	al			Argilica int
CHUCAPACA	C100031	334790.0	8206297.6		al				Argilica avz
CHUCAPACA	C100033	334679.0	8206281.0		al				Argilica avz
CHUCAPACA	C100034	334695.6	8206199.2		al				Argilica avz
CHUCAPACA	C100039	334986.2	8206576.0		al				Argilica avz
CHUCAPACA	C100010-MM	334627.343	8206086.04		sm	ja			Argilica int
CHUCAPACA	C100017-MM	334787.3	8206408.1		al	ka	ja		Argilica avz
CHUCAPACA	C100018-MM	334800.8	8206390.7		sm	ka	ja	al	Argilica int
CHUCAPACA	C100023-MM	334761.5	8206269.9		sm	ka	ja		Argilica int
CHUCAPACA	C100038-MM	334810.0	8206357.0		sm	ja			Argilica int
CHUCAPACA	334661E	334661	8205558		al	sm			Argilica avz
CHUCAPACA	TE-1	335247	8206777		ka				Argilica
CHUCAPACA	TE-2	335296	8206764		ka				Argilica
CHUCAPACA	TE-3	335314	8206825		ka				Argilica
CHUCAPACA	TE-4	335315	8206845		ka				Argilica
CHUCAPACA	TE-5	335425	8206929		ka	al			Argilica avz
CHUCAPACA	TE-6	335436	8206980		ka				Argilica
CHUCAPACA	TE-7	335539	8206915		ka	al			Argilica avz
CHUCAPACA	TE-8	335599	8206923		ka	al			Argilica avz
CHUCAPACA	TE-9	335690	8206955		sm	si			Argilica int
CHUCAPACA	TE-10	335068	8206248		it	sm			Argilica int
CHUCAPACA	TE-11	334912	8206255		sm	ka	al		Argilica avz

**Apéndice VII.-** Tratamiento estadístico de los datos geoquímicos para cálculo del threshold.

A.- Threshold del Au: 1041 datos.

Clase	Frecuencia	% Acumulada
0.6	118	11.3
0.8	313	41.4
1.1	160	56.8
1.3	107	67.1
1.5	89	75.6
1.7	68	82.1
1.9	75	89.3
2.2	40	93.2
2.4	36	96.6
2.6	23	98.8
2.8	12	100.0
<b>Total</b>	<b>1041</b>	

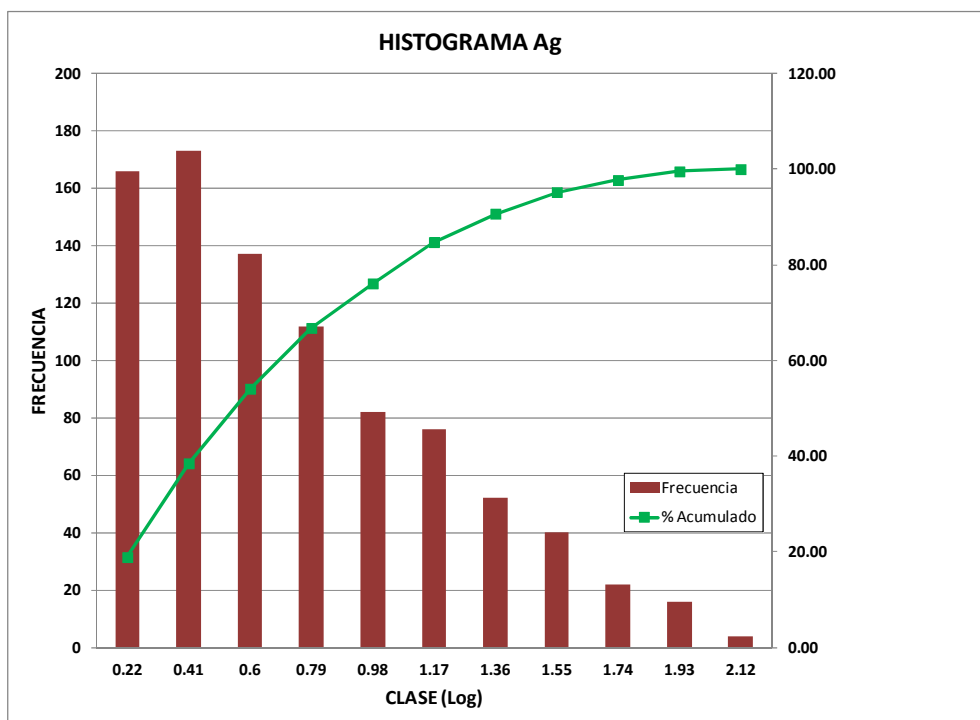
Valor max	2.8
Valor min	0.5
Diferencia (max-min)	2.3
Log (n datos)	3.0
Sturges	11.0
Número de clase	11
Ancho de clase	0.2
Percentil95	2.2
Threshold	178



B.- Threshold del Ag: 880 datos.

Clase	Frecuencia	% Acumulado
0.22	166	18.86
0.41	173	38.52
0.6	137	54.09
0.79	112	66.82
0.98	82	76.14
1.17	76	84.77
1.36	52	90.68
1.55	40	95.23
1.74	22	97.73
1.93	16	99.55
2.12	4	100.00
<b>Total</b>	<b>880</b>	

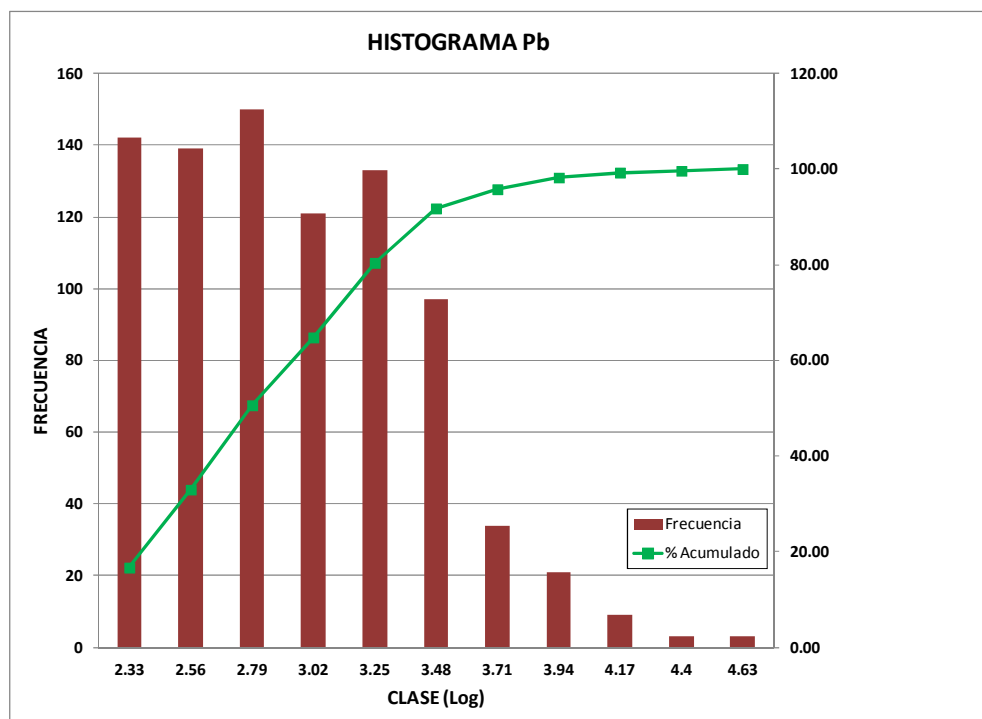
Valor max	2.0
Valor min	0.0
Diferencia (max-min)	1.9
Log (n datos)	2.9
Sturges	10.7
Número de clase	11
Ancho de clase	0.2
Percentil95	1.5
Threshold	35



C.- Threshold del Pb: 852 datos.

Clase	Frecuencia	% Acumulado
2.33	142	16.67
2.56	139	32.98
2.79	150	50.59
3.02	121	64.79
3.25	133	80.40
3.48	97	91.78
3.71	34	95.77
3.94	21	98.24
4.17	9	99.30
4.4	3	99.65
4.63	3	100.00
<b>Total</b>	<b>852</b>	

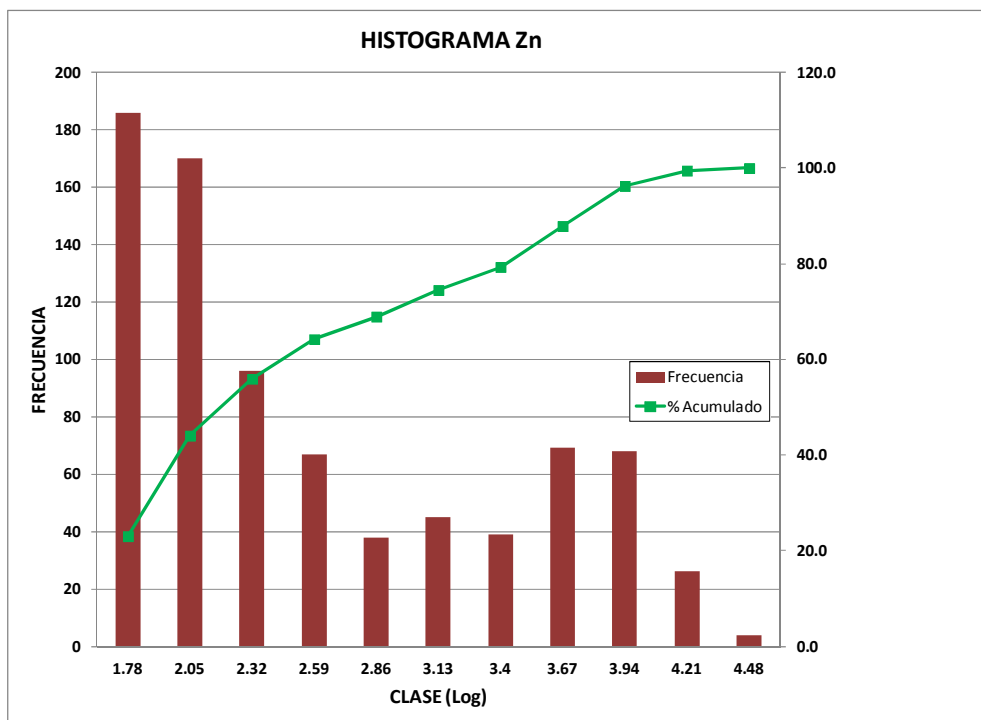
Valor max	4.5
Valor min	2.1
Diferencia (max-min)	2.3
Log (n datos)	2.9
Sturges	10.7
Número de clase	11
Ancho de clase	0.2
Percentil95	3.6
Threshold	3977



D.- Threshold del Zn: 808 datos.

Clase	Frecuencia	% Acumulado
1.78	186	23.0
2.05	170	44.1
2.32	96	55.9
2.59	67	64.2
2.86	38	68.9
3.13	45	74.5
3.4	39	79.3
3.67	69	87.9
3.94	68	96.3
4.21	26	99.5
4.48	4	100.0
<b>Total</b>	<b>808</b>	

Valor max	4.4
Valor min	1.5
Diferencia (max-min)	2.9
Log (n datos)	2.9
Sturges	10.6
Número de clase	11
Ancho de clase	0.3
Percentil95	3.9
Threshold	7500

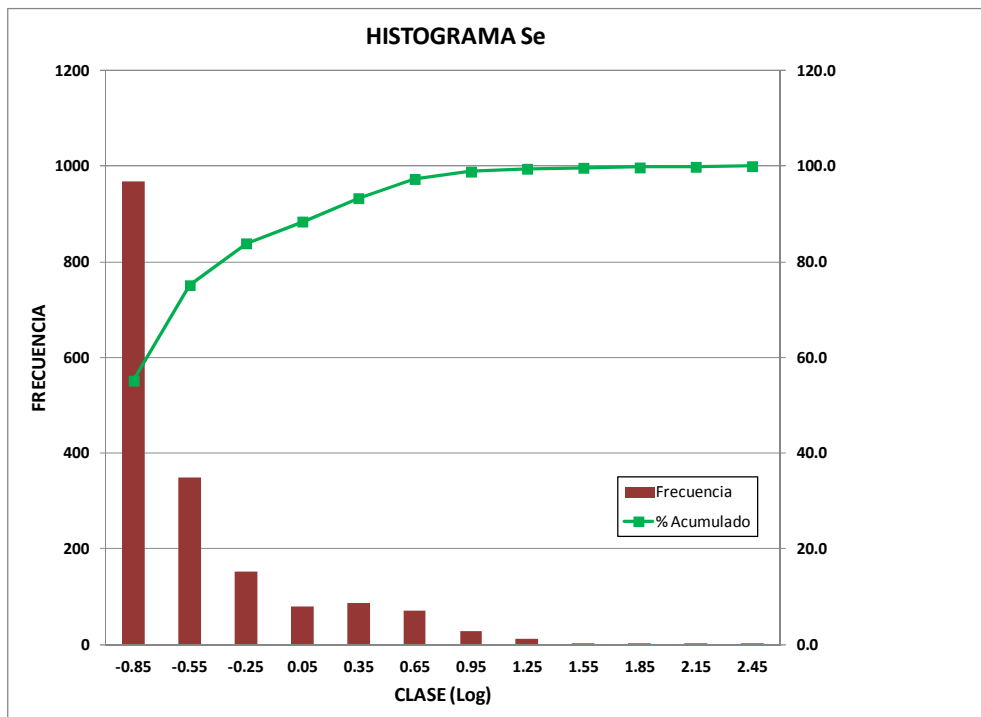




E.- Threshold del Se: 1754 datos.

Clase	Frecuencia	% Acumulado
-0.85	968	55.2
-0.55	350	75.1
-0.25	153	83.9
0.05	80	88.4
0.35	86	93.3
0.65	70	97.3
0.95	27	98.9
1.25	11	99.5
1.55	3	99.7
1.85	2	99.8
2.15	2	99.9
2.45	2	100.0
<b>Total</b>	<b>1754</b>	

Valor max	2.4
Valor min	-1.1
Diferencia (max-min)	3.5
Log (n datos)	3.2
Sturges	11.7
Número de clase	12
Ancho de clase	0.3
Percentil95	0.6
Threshold	4



F.- Threshold del Te: 769 datos.

Clase	Frecuencia	% Acumulado
-1.4	185	24.1
-1.1	127	40.6
-0.7	107	54.5
-0.4	112	69.1
-0.1	70	78.2
0.2	47	84.3
0.5	45	90.1
0.9	33	94.4
1.2	24	97.5
1.5	18	99.9
1.8	1	100.0
<b>Total</b>	<b>769</b>	

Valor max	1.7
Valor min	-1.6
Diferencia (max-min)	3.4
Log (n datos)	2.9
Sturges	10.5
Número de clase	11
Ancho de clase	0.3
Percentil95	0.9
Threshold	9

