

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y  
METALURGICA**



**"OCURRENCIA DE ORO EN ARENISCAS EN UN AMBIENTE  
DE ALTERACIÓN EPITERMAL, CONTROLES DE  
MINERALIZACIÓN Y MODELO GEOLÓGICO EN EL  
PROYECTO CORISONCO"-CAJAMARCA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEOLOGO**

**ELABORADO POR**

**RAUL BENJAMIN URIARTE BERRIOS**

**ASESOR:**

**ING. NORA NELLY REVOLLE ALVAREZ**

**LIMA-PERU**

**2013**

## **CONTENIDO**

<b>CAPÍTULO I GENERALIDADES</b>	<b>14</b>
1.1 Introducción	14
1.2 Ubicación del área de estudio	15
1.3 Conocimientos previos	16
1.4 Planteamiento del trabajo	18
1.5 Objetivo del estudio	19
1.6 Metodología del trabajo	20
1.7 Estudios anteriores	21
<b>CAPITULO II CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL</b>	<b>22</b>
2.1 Unidades Morfoestructurales	22
2.2 Estratigrafía	24
2.2. 1 Mesozoico	25
2.2. 2 Cenozoico	27
2.3 Rocas Intrusivas	29
2.4 Tectónica	32
2.4. 1 Ciclo Orogénico Andino	34
2.5 Geología Estructural	40
2.6 Geología Económica	43
<b>CAPITULO III CONTEXTO GEOLOGICO LOCAL</b>	<b>47</b>
3.1 Estratigrafía del Área	47
3.1. 1 Mesozoico	47
3.1. 2 Cenozoico	51
3.2 Rocas Intrusivas	53
3.3 Brechas	56
3.4 Tectónica Local	58
3.5 Geología Estructural	62
3.6 Alteración y Mineralización	71
3.6. 1 Mecanismo de Transporte de Fluidos	71
3.6. 2 Mineralización	72
3.6. 3 Controles de Mineralización	78

3.6. 4 Alteración Hidrotermal	81
<b>CAPITULO IV ANALISIS DE LABORATORIO</b>	<b>84</b>
4.1 Métodos Analíticos Usados	84
4.1. 1 Geoquímica	84
4.1. 2 Geofísica	93
4.1. 3 Terraspec	99
4.1. 4 Coeficientes de Correlación y Paragénesis	106
4.1. 5 Inclusiones Fluidas	108
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>121</b>

Este trabajo se lo dedico a Dios y mis padres Raúl y Victoria, esta Tesis es la realización del apoyo constante de ellos, a ellos agradezco Mi vida, gracias a ellos aprendí que el camino que uno elige jamás se debe cambiar, que la vida siempre dará oportunidades para los que sepan aprovecharlas, para los que estén preparados, para los que siempre avancen.

Un agradecimiento a la empresa Minera Yanacocha por la oportunidad de presentar la tesis, que fue realizada con el apoyo del Director de Geología Carlos Loayza T., el gerente de geología de exploraciones José Trujillo, el ingeniero Jaime Gómez, Alfredo Cuzco y de mis compañeros y amigos los ingenieros Freddy Gómez, Henry M. Víctor R, Víctor S. a Ely V. Frank y Rodomiro y a todos los compañeros que trabajan en las oficinas del 24km.

## Lista de Figuras

Figura 1.- Ubicación del proyecto Corisonco	17
Figura 2.- Unidades Morfo estructurales	23
Figura 3.- Afloramiento Formación Carhuaz	24
Figura 4.- Afloramiento Formación Farrat-Inca	25
Figura 5.- Columna estratigráfica esquemática de Cajamarca	26
Figura 6.- Distribución del Grupo Calipuy en el Norte del Perú	28
Figura 7.- Principales cuerpos intrusivos del Terciario	30
Figura 8.- Columna estratigráfica-Yacimientos	31
Figura 9.- Mapa mostrando anomalías de Bouguer	33
Figura 10.- Resumen de contexto tectónico	38
Figura 11.- Mapa Metalogénico del Norte del Perú	41
Figura 12.- Mapa estructural regional	42
Figura 13.- Distribución espacial y temporal de la producción y recursos de oro, plata y cobre en el Perú-XV	46
Figura 14.- Columna estratigráfica local	48
Figura 15.- Fracturamiento-Formación Chimú	49
Figura 16.- Canal fluvial Formación Chimú	49
Figura 17.- Facies Finas-Formación Carhuaz	50
Figura 18.- Laminaciones oblicuas-Formación Carhuaz	51

Figura 19.- Contacto Formación Chimú-Formación Llama	52
Figura 20.- Nivel basal-Formación Llama	52
Figura 21.- Intrusivo Dacítico-venillas de sílice magnetita	54
Figura 22.- Distribución de Intrusivos-sector Sur	55
Figura 23.- Brecha Tectónica relleno de óxidos	56
Figura 24.- Brecha sedimentaria	57
Figura 25.- Sección esquemática Norte-Sur	59
Figura 26.- Mapa mostrando la dirección de esfuerzos	61
Figura 27.- Diagrama mostrando esfuerzos-cronología	63
Figura 28.- Tipos de tectoglifos	64
Figura 29.- Cristalización al abrigo en pared de falla	65
Figura 30.- Escama en pared de falla	66
Figura 31.- Modelo de fracturación de Riedel	67
Figura 32.- Sistema de fallas en el proyecto	68
Figura 33.- Desarrollo de estructuras sinextrales	68
Figura 34.- Sistema de fallas sinextrales	69
Figura 35.- Fracturas verticales-Formación Chimú	70
Figura 36.- Mapa estructural	71
Figura 37.- Muestra de mano de endoskarn	72
Figura 38.- Muestra de mano de mármol	73
Figura 39.- Pseudomorfo de pirita	74
Figura 40.- Geoda de Cuarzo-óxidos	75
Figura 41.- Brecha Craquel	75
Figura 42.- Brecha Hidrotermal	76

Figura 43.- Fotomicrografías	76
Figura 44.- Fotomicrografías	77
Figura 45.- Brecha rompecabeza con relleno óxidos	79
Figura 46.- Estructura de hidrofracturamineto	79
Figura 47.- Brecha Hidrotermal con cristales de cuarzo	80
Figura 48.- Contacto de limolita-arenisca	80
Figura 49.- Control de mineralización	81
Figura 50.- Ubicación de zonas de interés	82
Figura 51.- Fotomicrografías	83
Figura 52.-Distribución del oro	86
Figura 53.- Distribución de plata	87
Figura 54.- Distribución de molibdeno	88
Figura 55.- Manganeso en arenisca	89
Figura 56.- Distribución del manganeso	89
Figura 57.- Leyes selectivas de oro vs cota	90
Figura 58.- Leyes de canales de oro vs cota	91
Figura 59.- Leyes de chip de oro vs cota	92
Figura 60.- Mapa de magnetometría	94
Figura 61.- Mapa de magnetometría-oro	95
Figura 62.- Mapa de cargabilidad	96
Figura 63.- Mapa de cargabilidad-oro	97
Figura 64.- Mapa de resistividad	98
Figura 65.- Muestra de mano sílice-dikita	99
Figura 66.- Principales minerales de alteración	100

Figura 67.- Cuadro de estabilidad hidrotermal, mineral para depósitos tipo pórfido	101
Figura 68.- Cuadro realizado por, G.Corbett& T.Leach.	102
Figura 69.- Box Plot alteración vs oro	103
Figura 70.- Mapa de alteraciones	104
Figura 71.- Mapa de alteraciones vs oro	105
Figura 72.- Diagrama temperatura de homogeneización vs. Salinidad	110
Figura 73.- Diagrama temperatura de homogeneización vs. Salinidad	110
Figura 74.- Mapa de inclusiones fluidas-Salinidad	111
Figura 75.- Mapa de inclusiones fluidas-Profundidad	112
Figura 76.- Diagrama oro uranio	121
Figura 77.- Diagrama oro torio	121
Figura 78.- Diagrama oro ratio uranio/torio	122
Figura 79.- Alcances de Terraspec	122
Figura 80.- Rangos de Terraspec	123
Figura 81.- Taladros perforados durante el año 2012	128

### **Lista de tablas**

Tabla N° 1.- Distancias y Tiempo al proyecto	15
Tabla N° 2.- Cronología de intrusivos del Norte del Perú	39
Tabla N° 3.- Depósito de oro en areniscas	45
Tabla N° 4.- Características del sector Norte del Perú	60
Tabla N° 5.- Matriz de correlación geoquímica	107
Tabla N° 6.- Datos Microtermométricos parte Sur	108
Tabla N° 7.- Datos Microtermométricos parte Norte	109
Tabla N° 8a.- 128 datos estructurales	124
Tabla N° 8b.- 128 datos estructurales	125
Tabla N° 8c.- 319 datos estructurales	126
Tabla N° 9.- Minerales de alteración que se obtuvieron con el Terraspec	127

## LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Nombre	Composición química
cv	Covelita	CuS
cz	Cuarzo	SiO <sub>2</sub>
Dik	Dikita	Al <sub>4</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
Dp	Diáspora	α-AlO(OH)
Hm	Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Hu	Hübnerita	MnWO <sub>4</sub>
LMS-goet	Goethita	FeOOH
Py	Pirita	FeS <sub>2</sub>
Rt	Rutilo	TiO <sub>2</sub>
Ser	Sericita	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>
Sm	Esmectita	((Na,Ca) <sub>0.3</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O)
To	Topacio	Al <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (F,OH) <sub>2</sub>
W	Wolframita	(Mn, Fe) (WO <sub>4</sub> ),
Zun	Zunyita	Al <sub>13</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>18</sub> Cl

## **RESUMEN**

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes del Norte del Perú, enmarcado entre el Batolito de la Costa y el macizo del Marañón, en areniscas y cuarcitas de la Formación Chimú (Cretácico Inferior). A fines del Cretácico Superior estas rocas fueron sometidas a un fuerte plegamiento y levantamiento cortical originado por fuerzas compresivas, denominado Ciclo Andino. Durante el Mioceno estas rocas fueron sometidas a una mayor deformación y a una fuerte actividad hidrotermal, los cuales mineralizaron y lograron formar depósitos mineros de interés económico.

Los diferentes trabajos de prospección y exploración efectuados por el equipo de geología de exploraciones de minera Yanacocha en la región de Cajamarca y a los alrededores de la mina Yanacocha, han logrado reconocer zonas con gran potencial minero.

A partir del año 2009 se hicieron trabajos de exploración, realizando cartografiado geológico y un muestreo sistemático, pasando luego a trabajos de geofísica. Para la siguiente etapa se realizará taladros de perforación para cuantificar y validar las anomalías en superficie.

## **ABSTRACT**

The study area is located in the western range of the Andes of northern Peru framed between the Coastal Batholith and the massif of Marañón, in sandstone and quartzite of the Chimu Formation (Lower Cretaceous). Late Cretaceous these rocks were subjected to strong cortical folding and lifting caused by compressive forces, called Cycle Andino. During the Miocene these rocks were subjected to greater deformation and strong hydrothermal activity, which were able to form mineralized and mineral deposits of economic interest.

The various prospecting and exploration projects, incurred by the geology team Yanacocha mining exploration in the region of Cajamarca and around the Yanacocha mine, have been able to recognize areas of high mineral potential.

From 2009 exploration work were completed, conducting geological mapping and systematic sampling, followed up by geophysical work. For the next stage, drilling holes will be made to quantify and validate the anomalies in surface.

## **CAPÍTULO I GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

Las rocas sedimentarias, principalmente las pertenecientes a la Formación Goyllarisquizga, han despertado un gran interés exploratorio, ya que se han descubierto depósitos económicos de oro, además en la actualidad se tiene una coyuntura de bonanza por el precio de los metales, especialmente el oro.

Es así, que nace la necesidad de buscar nuevas zonas y técnicas para encontrar recursos de mayor valor económico. Una de estas nuevas zonas aprovechando la exposición del metalotecto que es el Grupo Goyllarisquizga, es el proyecto Corisonco. Se realizaron estudios de exploración en el sector Norte de la ciudad de Cajamarca, dentro de las concesiones de Minera Yanacocha; las técnicas utilizadas fueron mapeo a escala 1:5000, muestreo sistemático y luego con herramientas como la geofísica, terraspec e inclusiones fluidas; obteniéndose evidencias de mineralización en estas formaciones litológicas, como: mineralización de oro, plata y cobre en brechas hidrotermales, brechas craquel hidrotermal y geodas de cuarzo-goethita.

La presente tesis se inicia enfatizando los rasgos geológicos propios del proyecto, como son geología regional y local, características litológicas y estructurales, se continuará mostrando la geoquímica y alteración, así mismo la relación de la geofísica, con litología y mineralización.

Todos estos estudios han permitido obtener un modelo geológico que será una herramienta de uso exploratorio y académico.

## 1.2 Ubicación del área de Estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la provincia y distrito de San Pablo (Cuadro1), región Cajamarca, a unos 45 km, al Norte de la ciudad de Cajamarca a una altitud promedio de 3550msnm.

A la zona de estudio se puede acceder desde Lima a Cajamarca por vía aérea, o por la carretera Panamericana Norte, continuando por la carretera Cajamarca-Bambamarca hasta el 24.5Km, siguiendo luego por la carretera Kunturwuasi hasta el km 55 de la ruta a la provincia de San Pablo.

**Tabla 1.-** Distancias y tiempos al proyecto Corisonco.

TRAMO	KM	TIPO DE VIA	TIEMPO
Lima – Cajamarca	870	Asfaltado	14 horas
Cajamarca – San Pablo	45	Asfaltado	2 horas

### **1.3 Conocimientos Previos**

Todos los eventos geológicos se conocen por descripciones de campo, que se han compilado en folios y mapas digitalizados; en la presente tesis se describirán los movimientos tectónicos ocurridos en el proyecto así como la petrología, alteración hidrotermal y mineralización, las cuales son muy importantes para entender el origen de la mineralización de oro en areniscas.

La mayor parte de los temas que se tratan a continuación pretenden responder, la presencia del oro en las areniscas de la Formación Goyllarisquizga.

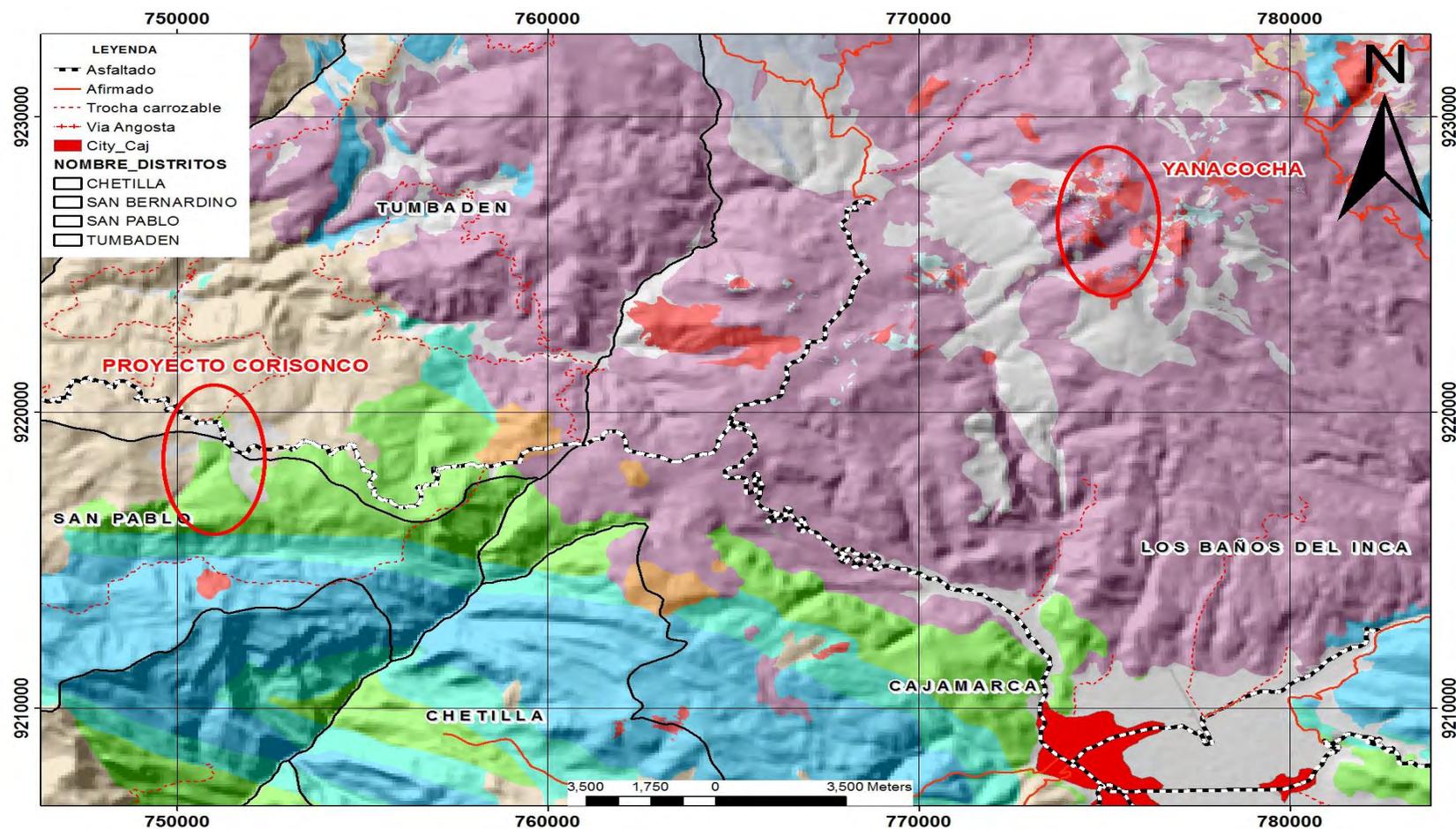


Figura 1.- Ubicación del proyecto Corisonco. Mapa realizado por el área de geología de minera Yanacocha.

#### **1.4 Planteamiento del Trabajo**

La etapa de exploración en superficie que se está desarrollando, en la zona de estudio demanda cierto grado de conocimiento de la geología local, estratigrafía, tectónica y procesos hidrotermales, en tal sentido se planteará definir el origen y los procesos tectónicos e hidrotermales así como los magmáticos, es importante señalar que la zona de trabajo está dentro del gran metalotecto del Grupo Goyllarisquizga que aloja a los yacimientos mineros como Alto Chicama, La Arena, La Virgen; de manera que se desea obtener elementos de juicio para una adecuada toma de decisiones en futuras exploraciones y etapas de perforación en el sector.

La secuencia de trabajo es como sigue:

1. Cartografiado en campo para realizar un plano geológico-estructural, escala 1:5000.
2. Cartografiado en campo para realizar un mapa de alteraciones.
3. Recolección de muestras de roca en campo para su análisis geoquímico, por lectura de terraspec y de secciones delgadas.
4. Análisis e interpretación geoquímica, diagramas de barras y matriz de correlación.

5. Se realizará algunas secciones geofísicas con el apoyo del grupo de geofísica.
6. Análisis espacial de los resultados de las muestras en un mapa (GIS), para determinar las mejores zonas de mineralización con fines de perforación.

Se concluirá con la interpretación de todos los datos para obtener un modelo geológico conceptual, teniendo como guía de trabajos previos, los ensambles de alteración hidrotermal y modelos estructurales.

### **1.5 Objetivo del Estudio**

Con la información obtenida en campo, sobre la litología, alteración hidrotermal, geología estructural y la toma de muestras para su análisis geoquímico, mineralógico junto a los estudios previos, se realizara la caracterización del proyecto Corisonco elaborando un modelo geológico conceptual, así como la distribución de minerales económicos e interpretación de la profundidad de formación del depósito.

Así mismo, se citarán depósitos con características similares, en el Perú, como son: Alto Chicama, La Virgen y La Arena, que ayudarán a entender la importancia de la caracterización del proyecto Corisonco.

Otro objetivo importante, es que la caracterización definida sirva de guía en futuras exploraciones, debido a que la mineralización de oro en el área se aloja en rocas sedimentarias del Grupo Goyllarisquizga.

Finalmente, el principal objetivo de la tesis va a ser obtener el título profesional de “Ingeniero Geólogo”, a través del desarrollo del presente estudio.

## **1.6 Metodología del Trabajo**

La información fue recolectada por el suscrito en el año 2009 y 2011, durante una campaña de muestreo superficial y mapeo, reconociéndose la presencia de minerales como oro, plata y plomo.

Los trabajos realizados en el campo, gabinete y laboratorio se resumen de la siguiente manera:

- Área de trabajo 1900 hectáreas.
- Mapeo a escala local (1:5000) y secciones geológicas locales.
- Recolección de datos en el campo como estructurales, contactos litológicos, muestras petroquímicas, dataciones, secciones delgadas.
- Interpretación de los resultados de campo y gabinete.
- Redacción de monografía.
- Revisión de monografía por asesores.
- Aprobación de monografías.

## **1.7 Estudios Anteriores**

Los primeros estudios realizados en los alrededores de la mina Yanacocha, fueron realizados por BISA en el año 1991 en el proyecto Huayquisongo fue donde se determinaron 3423 hectáreas, como potencial exploratorio, dentro del cual se encuentra el proyecto Corisonco de 1900 hectáreas. Los trabajos a detalle en el proyecto Huayquisongo se realizaron en el año 1992 en un joint venture Newmont-Buenaventura, que consistió en mapeo a escala 1:5000 y muestreo sistemático. Con este trabajo se reconocieron tobos de composición dacíticas, riolíticas y domos dioríticos con alteraciones hidrotermales de sílice pirofilita, sílice alunita. En el sector Este se reconoció la Formación Chimú.

Este programa de exploración culminó con cuatro perforaciones diamantinas, los resultados evidenciaron algunos intervalos con anomalías de oro ( $Au > 0.03\text{ppm}$ ).

## **CAPITULO II CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL**

### **2.1 Unidades morfo-estructurales**

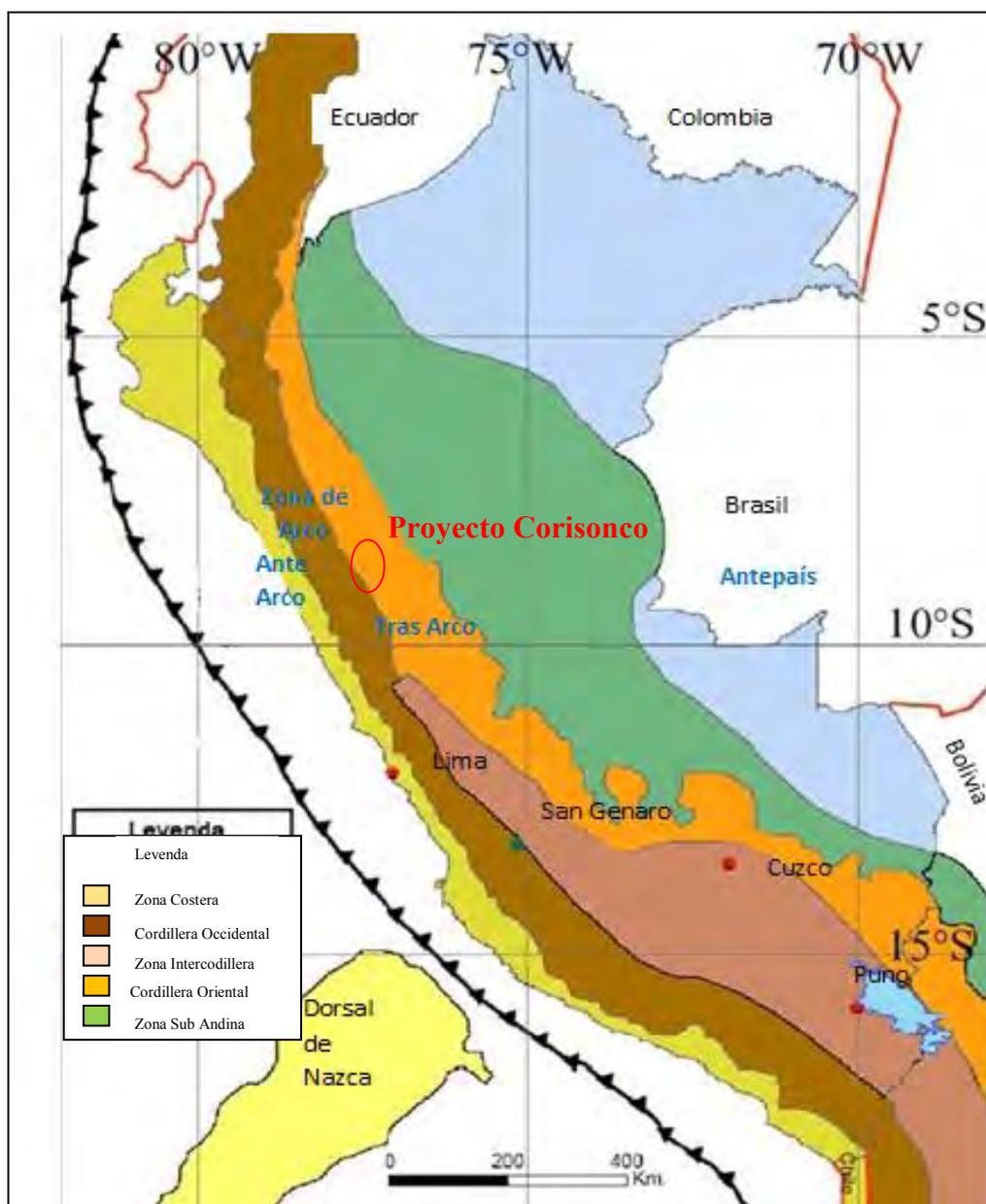
Las unidades morfoestructurales son las formas (morfos) y la disposición interna (estructura) que adopta el relieve.

Las estructuras son resultados de la geodinámica interna de la tierra (orogénesis, seísmos y volcanes), que originan desplazamientos, levantamientos y hundimientos de la corteza terrestre y crean la disposición básica del relieve. La forma del relieve se debe al producto de la geodinámica externa de la tierra (deslizamientos por gravedad), a los factores antrópicos ayudados por la dinámica del agua, hielo y animales, que erosionan, mueven y transportan materiales.

La cadena andina es un ejemplo de la orogenia continental, como resultado de la subducción de una placa oceánica (placa de Nazca), debajo de la placa continental (placa Sudamericana).

La interacción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana originó el desarrollo de la cadena andina, y se reconoce en los Andes (Dalmayrac *et al.*, 1988) las siguientes unidades morfoestructurales fundamentales en forma de franjas paralelas al litoral de la costa peruana de Oeste a Este

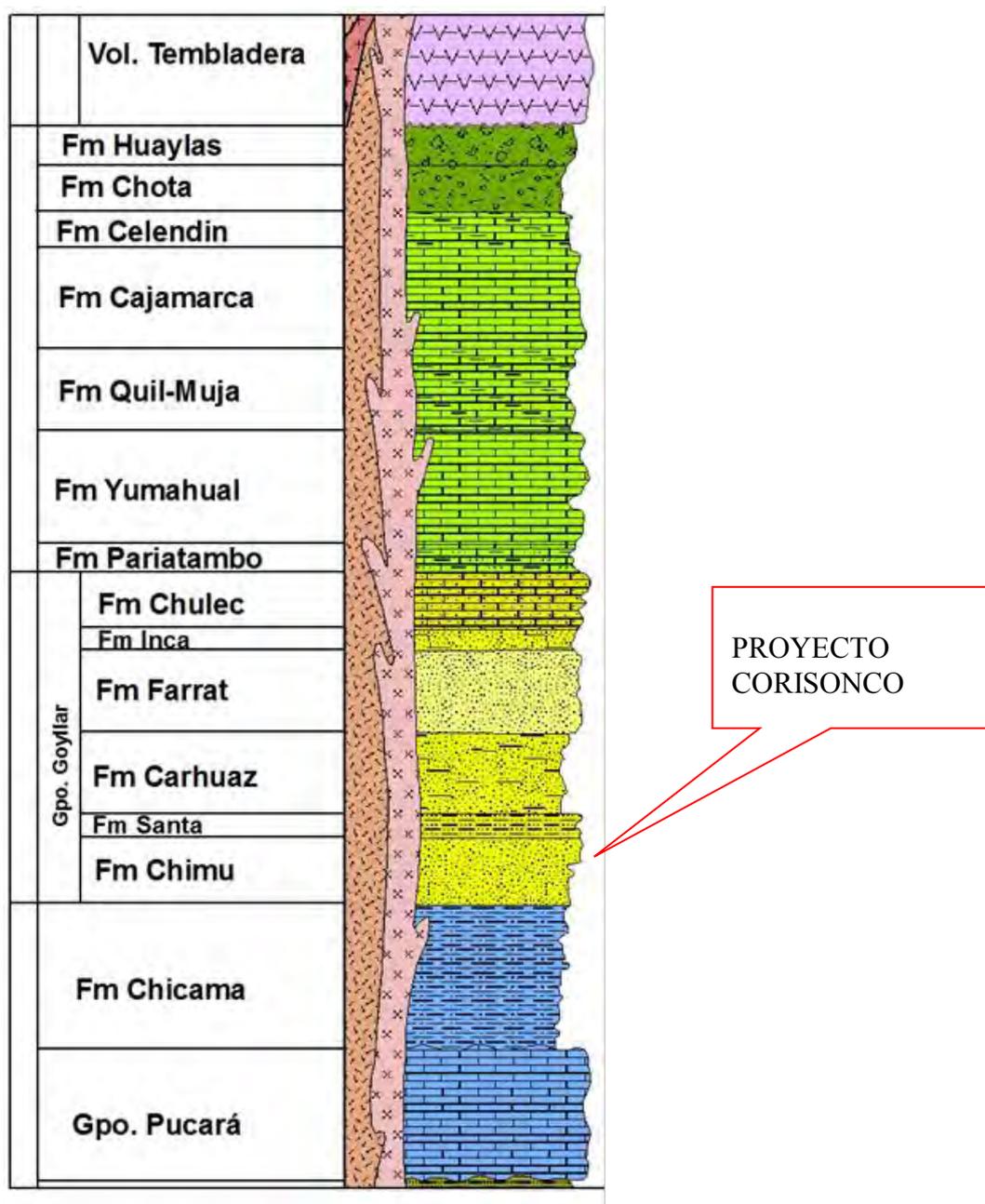
(Figura 2): La zona de subducción, la zona costanera, la Cordillera Occidental, la zona Intercordillerana, la Cordillera Oriental y la zona Subandina.



**Figura 2.-** Zona de subducción, zona Ante Arco, que corresponde al talud pacífico y áreas costaneras, zona de arco representado por la Cordillera Occidental y el altiplano, área Tras Arco que incluye la Cordillera Oriental, la llanura amazónica y terrenos bajos hacia el oriente subyacentes a la cuenca antepaís. (Jaillard *et al.*, 2002)

## 2.2 Estratigrafía

En la zona de estudio afloran las siguientes unidades. (Ver columna estratigráfica Figura 3).



**Figura 3.-** En la imagen se muestra la columna esquemática de Cajamarca. (J. Gómez 2011)

### 2.2. 1 Mesozoico

Las rocas más antiguas expuestas en superficie, en la zona de estudio son rocas de origen sedimentario de plataforma silico-clásticas denominada Grupo Goyllarisquizga (Figura 4).

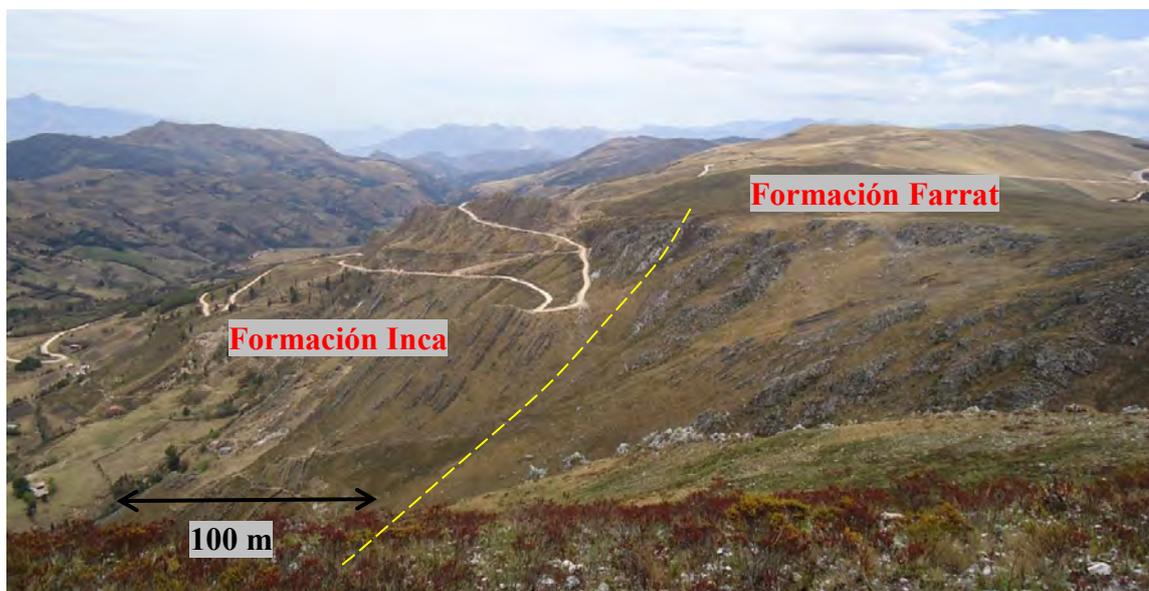


**Figura 4.-** En la fotografía, mirando al Este, se muestran los afloramientos de la Formación Carhuaz del Grupo Goyllarisquizga.

Las referencias para la estratigrafía incluyen trabajos realizados por Benavides-Cáceres (1956, 1999), Mégard (1987, 1984), Cobbing (1985) y Noble *et al.*, 1990. El Grupo Goyllarisquizga infrayace a las calizas arenosas Albeanas de la Formación Inca (Figura 5 se observa el contacto y potencia presentes en la zona de estudio). Así mismo a la Formación Chulec (Albeano Medio Superior), Formación Pariatambo, Yumagual, Mujarrún y finalizando con la Formación Cajamarca y Celendín (Benavides-Cáceres, 1956; Wilson, 1998). Estas Formaciones tiene orientaciones de Nor-Oeste

en los alrededores de la ciudad de Cajamarca y dirección Este a Oeste en las cercanías del proyecto Corisonco.

Las rocas, desde la Formación Inca hasta la Formación Cajamarca, son de origen marino, en el Norte del Perú fueron depositadas en la cuenca Oeste peruana (Wilson, 2000), en un régimen de subducción tipo mariana (Megard, 1984). Es ahora claro que los sedimentos han sido depositados en una serie de depresiones (subcuencas) interconectadas, cada una de las cuales fueron caracterizadas por el desarrollo de facies propias para luego ser plegada y subsecuentemente levantada.



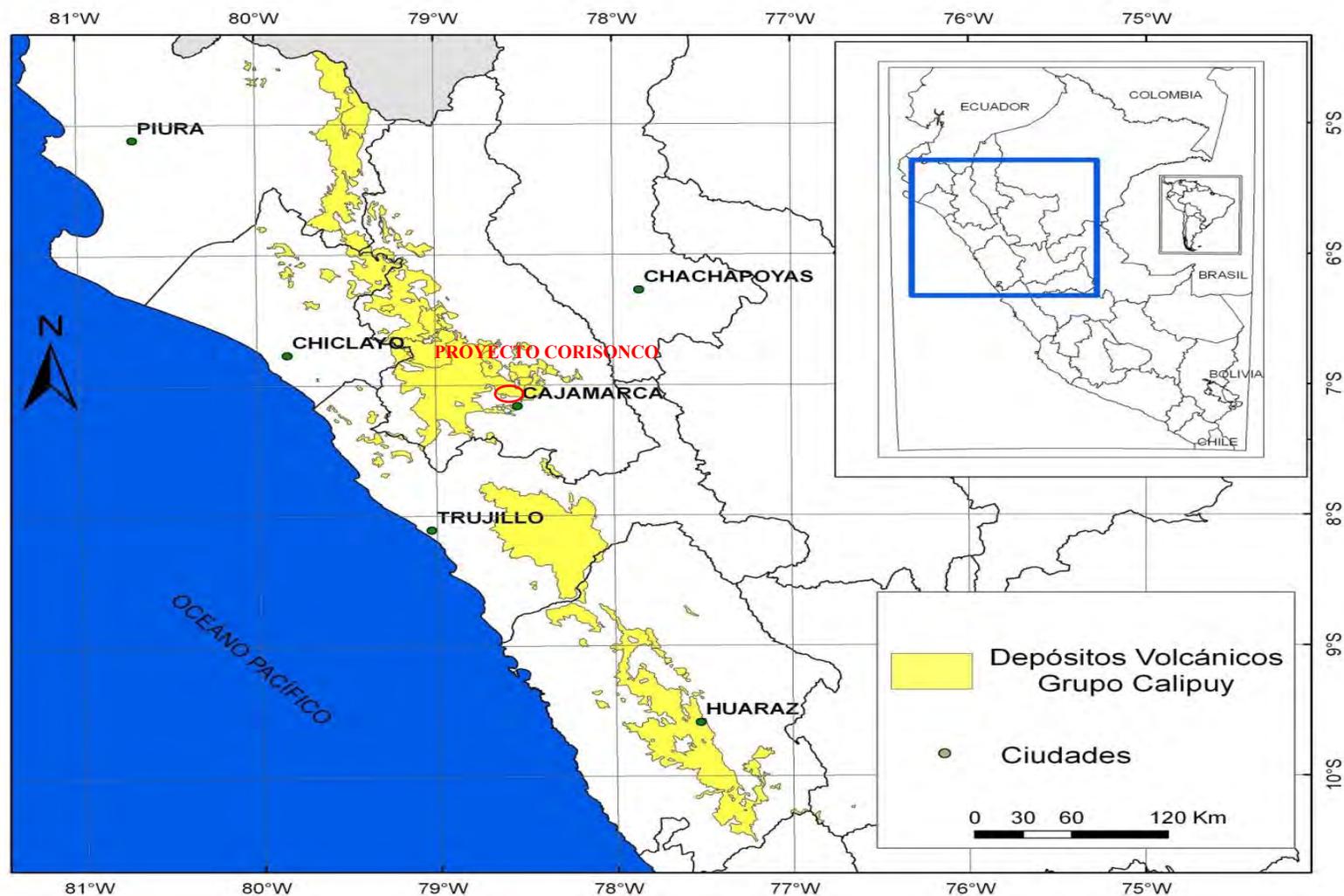
**Figura 5.-** La fotografía, mirando al Oeste, muestra el contacto entre la Formación Farrat (80-100m espesor) y Formación Inca (50m de espesor).

Desde el Cenozoico temprano, ocurrió un cambio en la subducción tipo Andina, siendo marcada desde este tiempo por repetidos episodios de compresión con diferentes intensidades, conocidas como las fase Inca (I-IV) y las fase Quechua (I-IV) (Ramón Riveyra 2008).

### **2.2. 2 Cenozoico**

Las rocas del Cenozoico expuestas, corresponden a rocas volcánicas del Grupo Calipuy (Eoceno-Mioceno) y al Volcánico Huambos (Mioceno Superior-Plioceno Inferior) (Figura 6, se observa la distribución de las rocas del Cenozoico en el Norte del Perú). El Grupo Calipuy ha sido descrito en su parte inferior como los Volcánicos Llama (54.8 +/- 1.8 Ma), definida por Noble *et al.*, 1990 y Turner (1997). Noble *et al.*, (1990) describe la Formación Llama como un tufo de flujo de ceniza riolítico y secuencias volcánicas dacíticas que es equivalente con la Formación Tembladera y Chilete. En la parte superior de este grupo se encuentra el Volcánico Porculla (~25-9 Ma; H. Montano 2012), que es equivalente con la Formación San Pablo (Reyes, 1980) la cual comprende secuencias de flujos lávicos y tobas andesíticas y dacíticas, que generalmente muestran poca inclinación de pseudoestratos respecto a las secuencias del Llama. A esta unidad pertenecen las rocas del Complejo Yanacocha (9-19 Ma; Longo 2005).

Las rocas de la Formación Huambos (8.8-8.2 Ma, Noble *et al.*, 1990; Turner, 1997) son tufos de flujos de ceniza andesíticas a dacíticas con plagioclasa, horblenda, cuarzo, biotita, magnetita y fenocristales de piroxeno.



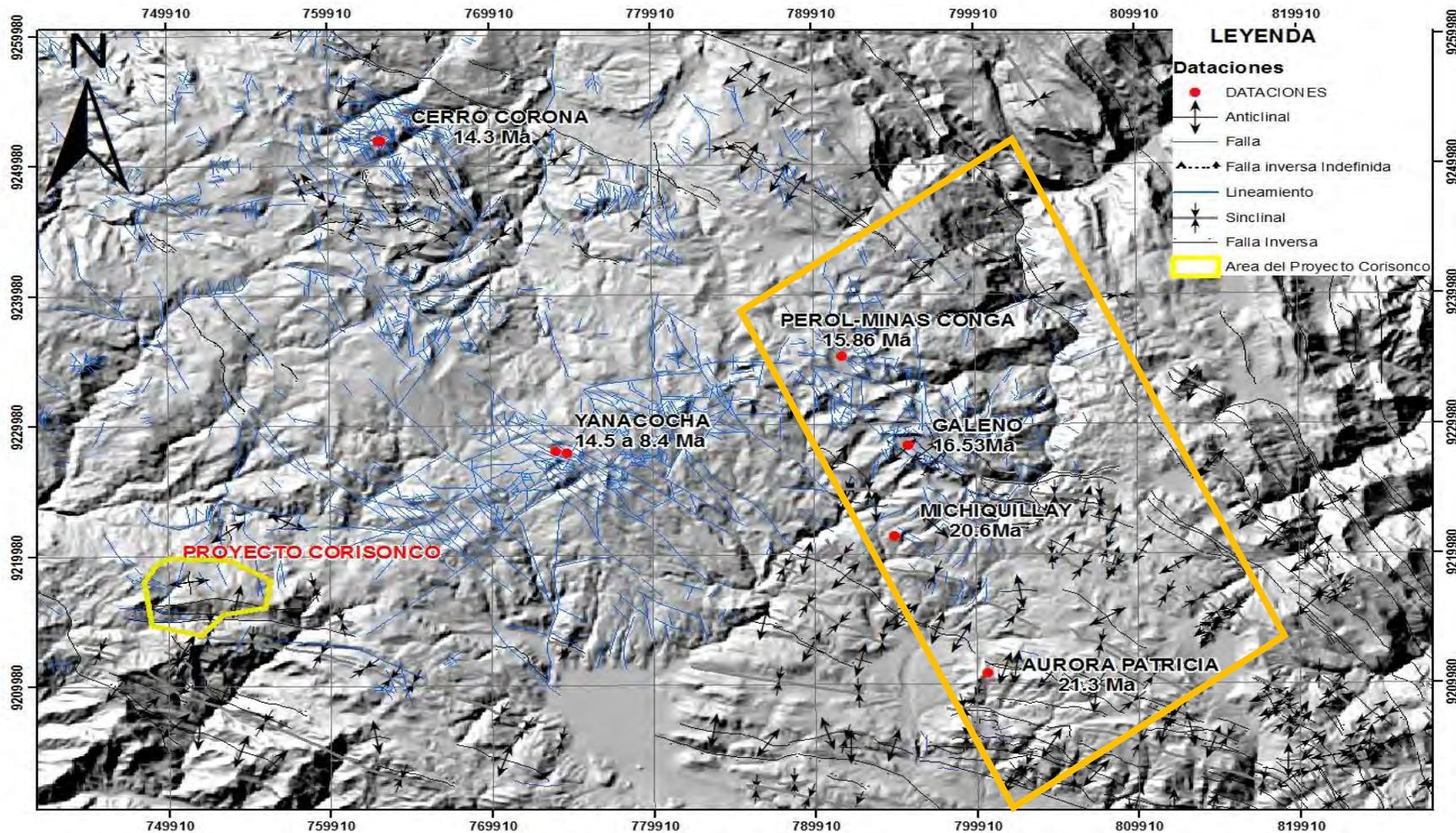
**Figura 6.-** Se observa la distribución del Grupo Calipuy. (Pedro Navarro, Víctor Carlotto- Curso de metalogena Perú 2011) (Proyecto elipse roja).

### 2.3 Rocas Intrusivas

Los principales cuerpos intrusivos, empiezan su emplazamiento entre 57.0 Ma y 42.0 Ma (Llosa *et al.*, 1996; Davies, 2002), siendo los últimos pulsos del Batolito de la Costa; el intrusivo cerro Perol, se emplaza entre 23.2Ma-15.8 Ma (Llosa *et al.*, 2000); (Gustafson *et al.*, 2004); Michiquillay se emplaza aproximadamente a 20.61 Ma. El emplazamiento de Aurora Patricia, estimada en 21.3 +/- 0.8 Ma (Davis 2002); La Carpa (17.8 Ma, Davies, 2002) y El Galeno (17.5-16.5 Ma, Davies, 2002). Otros intrusivos se formaron en el Mioceno Tardío, hacia el NW como por ejemplo Cañariaco (16 Ma), Cerro Corona (14.4-13.4 Ma; James, 1998). Todos estos intrusivos, tienen una orientación N-NO, y son emplazados en la Falla Punre. En el sector Sur-Este de la zona de estudio se han identificado intrusivos como el pórfido Colpayoc e intrusivos de orientación E-O, los cuales se encuentran en el corredor estructural de los pórfidos reconocidos en el proyecto Corisonco. Esta orientación es debida a la deflexión de Cajamarca.

En el distrito de Hualgayoc, ocurren intrusivos entre los 14.4 Ma y 10.3 Ma (Macfarlane *et al.*, 1994; James, 1998). El último evento magmático podría corresponder a los intrusivos de la Granja (13.8-10 Ma, Noble y McKee, 1999; Cooke *et al.*, 2005).

En la Figura 7, se muestra el emplazamiento de los principales intrusivos asociados a sus depósitos característicos. En las proximidades de la zona de estudio aún no se han realizado dataciones.



**Figura 7.-**En la Figura se observa los principales cuerpos intrusivos terciarios, con una tendencia de emplazamiento NO y sus edades geocronológicas (Ar/Ar). Estructuras mapeadas por área de geología de exploraciones de minera Yanacocha.

EON	ERA	SISTEMA	SERIE	POT m.	UNIDAD		DEPOSITOS	EDAD (Ma)		
					Oeste	Este				
Fanerozoico	Cenozoico	Neógeno	Holoceno		Depositos Cuaternarios		Yanacocha (AS) La Granja (P) Cerro Corona (P) Minas Conga (P) Michiquillay (P)	5		
			Pleistoceno	500		Fm. Tamborapa				
			Plioceno							
				100		Volc. Huambos				
				1000		Volc. Porculla				
		Paleógeno	Oligoceno							
			Eoceno	1200	Volc. Llama			Fm. Chota		
			Paleoceno							
		Mesozoico	Cretácico	Superior	300			Fm. Celendin		65.5
					700			Fm. Cajamarca		
	300					Grupo Quilquiñan				
	1100					Grupo Pullucana				
	Inferior			200		Fm. Pariatambo				
				250		Fm. Chulec				
				100		Fm. Inca				
				300		Fm. Farrat				
				500		Fm. Carhuaz	Grupo Gollarisquizga			
	100				Fm. Santa					
	600				Fm. Chimú					
	Jurásico			Superior	600		Fm. Tinajones	Proyecto Corisonco		
					1500		Fm. Chicama			
			Medio							
				Inferior	500	Volc. Oyotun				
	Triásico		Superior	1200		Fm. La leche				
			Medio							
			Inferior	500			Grupo Mitu			
	Paleozoico		Pérmico							
		Carbonífero								
		Devónica								
		Silúrico								
Ordovícico		?			Grupo Salas					
Cambrico										
Proterozoico	Neo									
	Meso		?	Complejo Olmos	Complejo Marañón					
	Paleo									
						542				

**Figura 8.-** Se muestra la columna estratigráfica del Norte del Perú, mostrando la ubicación en el tiempo de los yacimientos. Tipo AS: Alta Sulfuración; P: Pórfidos. Celdas grises: No deposición (H. Montano 2010, modificado de Davies 2002).

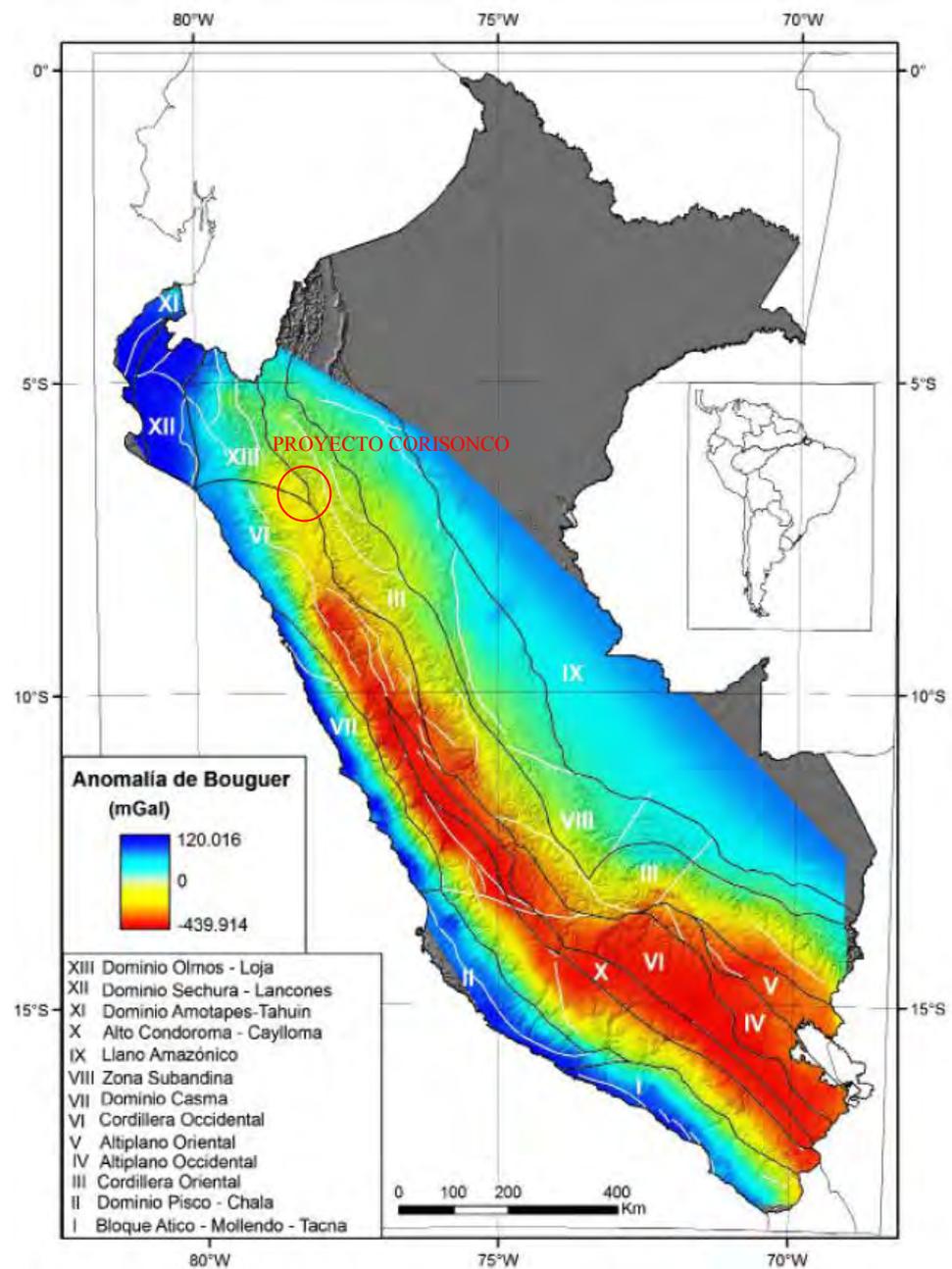
## 2.4 Tectónica

El área de estudio, está ubicada morfológicamente en la Cordillera Occidental del Norte de los Andes Peruanos, cerca de la deflexión de Cajamarca, pertenece a la zona de subducción plana y actualmente con ausencia de actividad volcánica, cabe destacar que en el distrito de Baños del Inca-Cajamarca existe actividad hidrotermal. Actualmente el espesor de la corteza en el Norte del Perú es de 45 km (80MGal) según estudios gravimétricos (Fukao *et al.*, 1989; Tassara *et al.*, 2006).

La zona Sur ha experimentado un excepcional engrosamiento cortical (~70 km) (-4.39MGal) y un alzamiento (*uplift*) de la superficie de hasta 4000 metros sobre el nivel del mar, como resultado de un acortamiento tectónico de la Placa Sudamericana durante el Neógeno (Benavides, 1999; Mamani *et al.*, 2009). (En la Figura 9, en circunferencia de color rojo, las zonas de mayor corteza continental)

Las zonas con un ambiente compresivo, muestran un engrosamiento cortical, es decir un levantamiento y subsecuente erosión, como se aprecia en la Figura 9; la zona Norte del Perú presenta mayores probabilidades de encontrar depósitos preservados (H. Montano 2010). Con lo que se interpreta que la zona Norte del Perú presenta potencial de depósitos hidrotermales.

El ciclo orogénico que ha afectado la evolución de la zona de estudio es el ciclo Andino (Fase Peruana, Inca I, II, III, IV y Quechua I, II).



**Figura 9.-** Mapa de las anomalías Bouguer y los dominios geotectónicos del Perú, mostrando el área de estudio que contiene a los dominios Olmos y Cordillera Occidental. Tomado de Mamani *et al.*, (2009) y Carlotto *et al.*, 2009.

### 2.4. 1 Ciclo Orogénico Andino

El término Tectónica (del griego *tektos*, constructor, arquitecto), fue definido por Nauman (1850). La Tectónica trata de la arquitectura global de la Tierra, sobre todo de su parte superior y necesita de los métodos propios de otras Ciencias de la Tierra además de los de la Geología Estructural, como pueden ser la Geofísica o la Geodesia.

Un objetivo, consiste en la elaboración de modelos que expliquen las estructuras descritas en el capítulo 2.5. Estos modelos son:

- De tipo geométrico: cuando interpretan la orientación y distribución tridimensional de las estructuras dentro de la Tierra.
- De tipo cinemático: cuando explican la evolución específica de una estructura a lo largo del tiempo, desde el estado no deformado hasta la configuración actual de la estructura.
- De tipo mecánico: cuando se utilizan los conocimientos de la física del medio continuo para explicar el comportamiento de las rocas en respuesta a determinadas fuerzas aplicadas sobre ellas.

El ciclo orogénico Andino se divide en:

- Fase Peruana (Santoniano – Cretácico Superior) (84-79Ma) la fase tectónica denominada fase Peruana, se desarrolló en el Cretácico Superior, es la fase que ha causado mayor deformación en la parte nor occidental de los Andes (Jaillard *et al.*, 1996; McLaughlin, 1929;

Megard, 1978, 1984). Con esta fase empieza la subducción del tipo mariana al tipo andino, deformando rocas del Mesozoico.

- Fase Inca I (57.0-55.0Ma; Davies 2002) corresponde a un régimen de subducción de baja velocidad, posiblemente se debe al cambio de dirección de la convergencia de N-NE a N-E (Pardocosas and Molnar, 1987). Como resultado de esta reducción en la velocidad de convergencia, discordantemente a las rocas mesozoicas, se inicia una deposición de los volcánicos Llama y Calipuy (~55 Ma; Benavides, 1999; Noble *et al.*, 1990). ) y se presenta la deflexión de Cajamarca (E-O).
- Fase Inca II (43.0-42.0 Ma) es el resultado de un intenso tectonismo compresional (Farrar *et al.*, 1988; Horton *et al.*, 2001;) que evidencia un aumento de la velocidad de convergencia de la Placa Farallones contra la Placa Sudamericana; empezando a plegarse las rocas sedimentarias del Grupo Goyllarisquizga, generándose fallas inversas, estas fallas inversas son el control estructural para el emplazamiento de los intrusivos de orientación E-O.
- 
- Fase Inca III (30.0-27.0 Ma; Camus 2007), durante el Oligoceno nuevamente baja la velocidad de convergencia, dando como resultado una disminución y hasta inactividad en el vulcanismo (entre

26.0-31.0 Ma, M. Mamani 2009), los pocos intrusivos corresponden a diques gabroícos en El Galeno.

- Fase Inca IV (23.0-22.0 Ma), se reinicia la alta velocidad de convergencia de las placas. Se produce el magmatismo que se asocia al primer evento de emplazamiento de sistemas porfíricos (Camus, 2007) en Cajamarca, que se hospedan en rocas mesozoicas deformadas.
- Fase Quechua I (17.0 Ma, según Noble *et al.*, 1990), parece haber marcado el fin del magmatismo de la fase Inca IV, pero aun manteniéndose la alta velocidad de convergencia de placas. Este es el inicio de los primeros eventos de mineralización en el área de estudio.
- Fase Quechua II (12.0-9.0 Ma), del Mioceno Medio al Superior culmina el engrosamiento y mayor alzamiento cortical en los Andes Peruanos (Noble *et al.*, 1990) y dicha edad corresponde a la fase principal de alteración en el distrito Yanacocha y del Proyecto Corisonco.

La última actividad magmática en la región de Cajamarca, corresponde a la deposición de tufos riodacíticos, denominados ingnimbritas Negritos y que coincide con la fase Quechua II (9.0 Ma) y termina con las secuencias

ignimbríticas del Volcánico Huambos. En la Figura10, se presenta un cuadro resumen del contexto tectónico.

En base a la información recopilada, se realizó una tabla donde se muestra las principales fases tectónicas en relación con emplazamiento de intrusivos y épocas mineralizadoras (Tabla 2), nótese que las principales cuerpos y épocas mineralizadoras ocurrieron después de la fase tectónica Quechua.

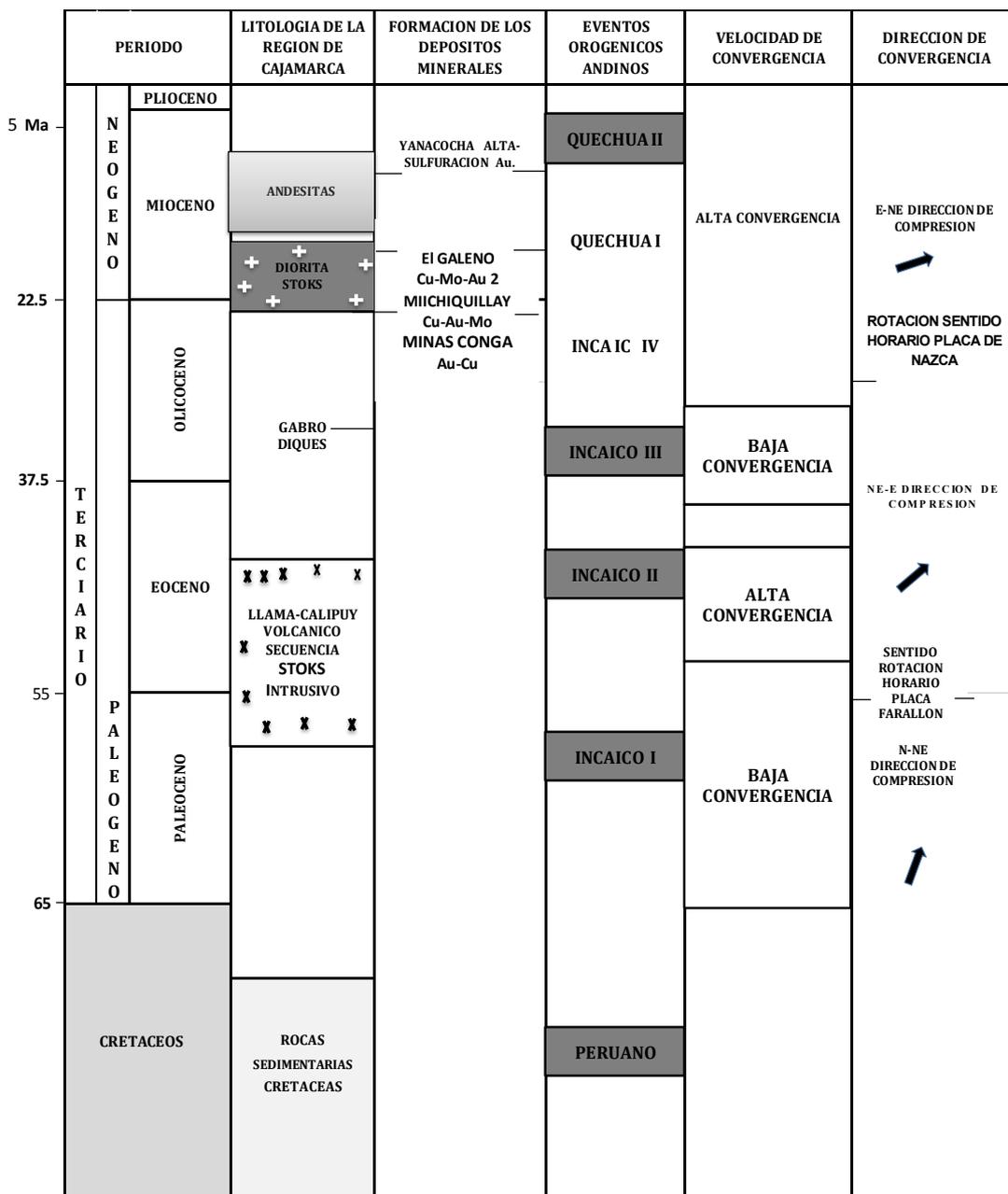


Figura 10.- Resumen del contexto tectónico de la zona de estudio (Davies 2002).



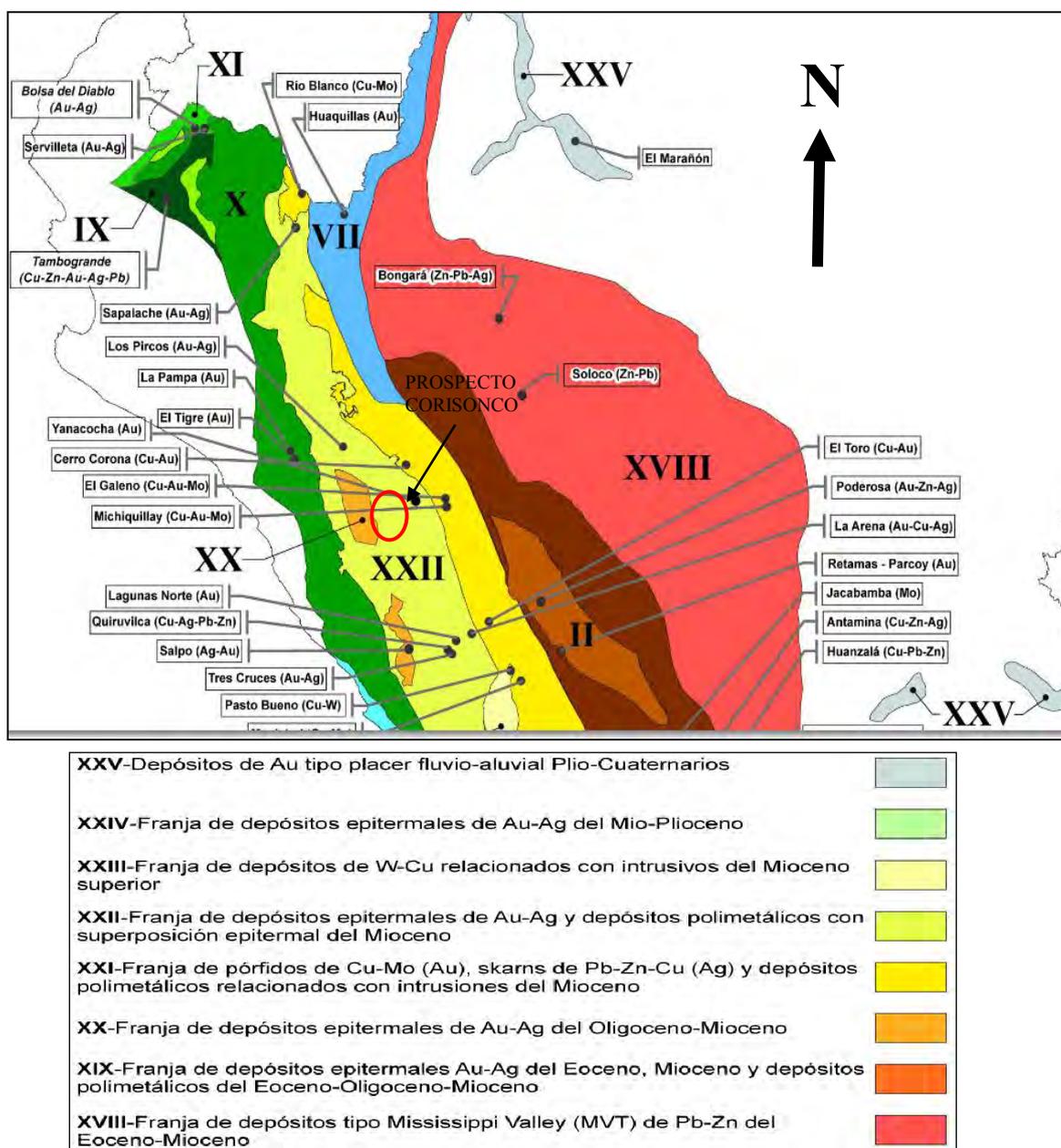
## 2.5 Geología Estructural

De acuerdo al mapa metalogénico regional el proyecto Corisonco se encuentra dentro de la Franja de depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno (Figura 11). Hacia el Sur también se puede encontrar minas importantes, en actual operación, como Alto Chicama y La Arena.

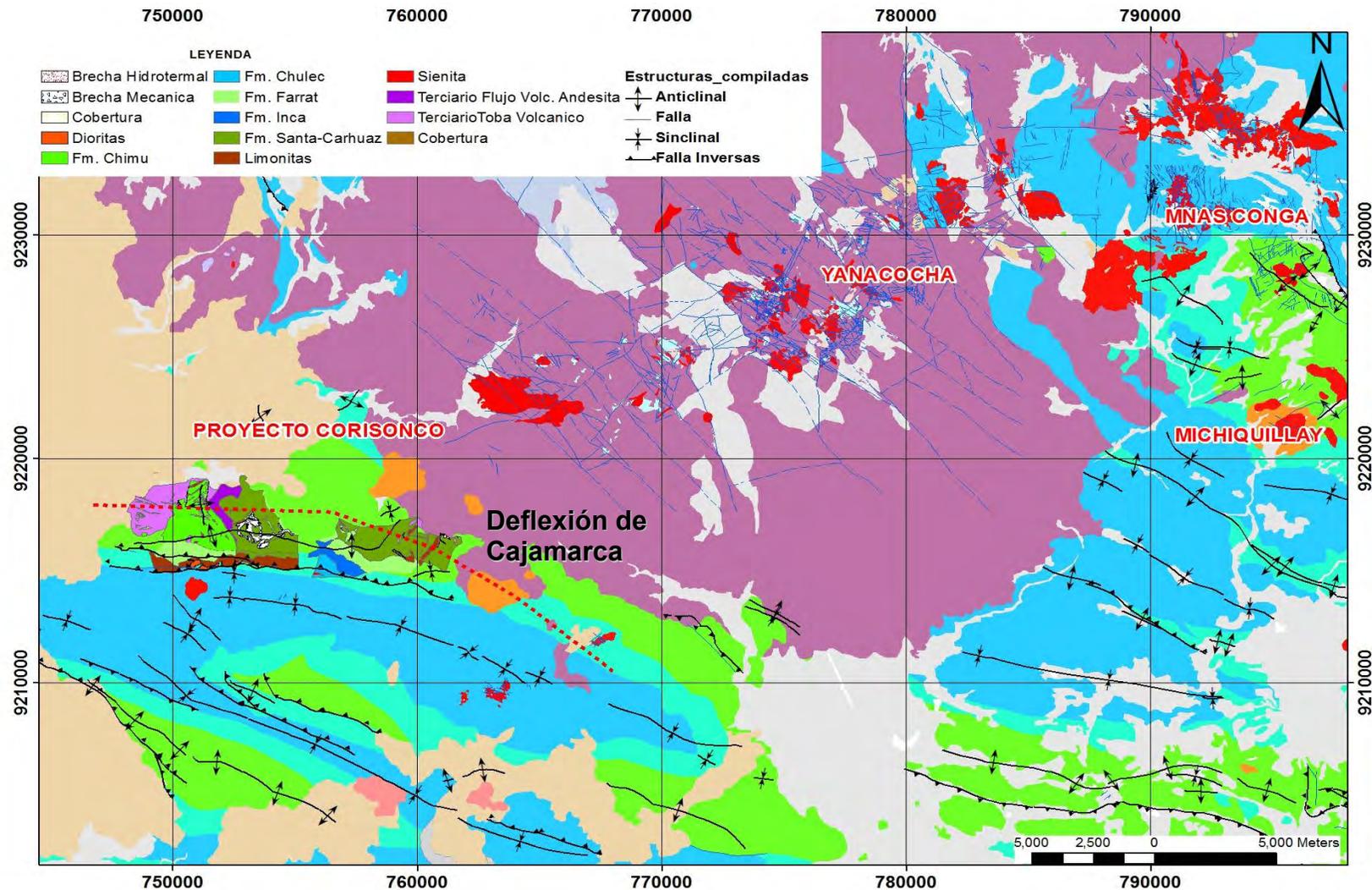
Debido al ciclo orogénico en el Perú, se forma la faja plegada y corrida de la Cordillera Occidental, originando un patrón estructural característico. En esta parte Norte del Perú, el sistema de pliegues y fallas NO-SE cambia a ONO-ESE, conocido como la Deflexión de Cajamarca (Mourier 1988), es precisamente donde se encuentra la zona de estudio (Figura 12). Las estructuras mencionadas están afectadas por fallas NE-SO, algunas con movimiento sinextral (Vidal y Noble (1994); Petersen y Vidal (1996)). Una zona de 200 km de largo y 30 a 40 km de ancho, donde se localizan los principales yacimientos y algunos de clase mundial, como Yanacocha y Sipan, es conocida como corredor Chicama-Yanacocha (Quiroz, 1997). La intersección de los sistemas de fallas, en este caso ONO-ESE y NE-SO, son trampas estructurales favorables para la mineralización, como es el caso de Yanacocha.

Durante el periodo de la orogenia andina (periodo de inversión tectónica y estructuración del sistema andino), las cuarcitas y areniscas de la Formación Chimú, las cuales poseen un comportamiento de material competente, se

fracturaron y los esfuerzos compresivos migraron hacia niveles superiores configurando estructuras tectónicas con un alto grado de fracturación de carácter compresivo y extensivo en las zonas de charnela de los anticlinales y sinclinales adyacentes a una rampa de falla inversa.



**Figura 11.-** La imagen muestra la ubicación del proyecto en base al mapa metalogénico del sector Norte del Perú. (Dominios Geotectónicos y Metalogénesis del Perú-Carlotto 2009)



## 2.6 Geología Económica

En el sector Norte del Perú, existen diferentes depósitos metálicos, con diferentes estilos de mineralización, como Pórfidos de Cobre (Cu)-Molibdeno (Mo) y Cobre enriquecido en Au, depósitos epitermales de alta y baja sulfuración de oro (Au), depósitos de oro en rocas sedimentarias, principalmente.

Por lo mencionado en el párrafo anterior, el principal objetivo de exploración en la parte Norte del Perú es oro (Au) y se le ha denominado como la franja XXII en trabajos de Dominios Geotectónicos y Metalogénesis del Perú-2009. En esta franja se localizan los yacimientos epitermales de clase mundial como Yanacocha (>47 M oz Au), Lagunas Norte (Alto Chicama 9.1 M oz Au) y Pierina (7.0 M oz Au) (Figura 13).

Los yacimientos de Yanacocha (14.5-8.4 Ma), Sipán, Pierina (14.5 Ma), Tantahuatay (13.5 Ma), Quiruvilca, entre otros, se encuentran relacionados a centros eruptivos tales como volcanes, calderas y domos (Vidal y Cabos (1983); Candiotti y Guerrero (1997); Noble *et al.*, (1997); Navarro (2007)). Los yacimientos se han desarrollado generalmente en las intersecciones de fallas y fracturas con direcciones NO-SE y NE-SO.

Estos yacimientos se caracterizan por tener bajas leyes, las cuales en promedio oscilan entre 0.1- 0.3g/t Au, albergadas en rocas piroclásticas y

lávicas. Los mayores valores de Au se hallan asociados a zonas silicificadas con texturas vuggy, masiva y granular.

La mineralización epitermal de alta sulfuración en Yanacocha, está asociada a eventos hidrotermales (Brechas) que podrían estar asociada a pórfidos, en prospectos tales como Yanacocha Sur, Kupfertal (Pinto, 2002), Maqui Maqui y también depósitos tipo pórfido que presentan vetillas tipo A; con alteración asociada de feldespato potásico y biotita secundaria, con diseminaciones de calcopirita-magnetita y con bornita o pirita dentro o alrededor de intrusivos múltiples y coetáneos de edad Miocena (Gustafson *et al.*, 2004).

Los yacimientos epitermales de alta sulfuración, desarrollados en ambiente sedimentario, principalmente ubicados en las capas de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú constituyen un buen huésped de minerales auríferos diseminados, debido al alto grado de fracturación, siendo el principal receptor de los fluidos mineralizantes. Es el caso del depósito de Alto Chicama (Lagunas Norte), La Arena, La Virgen, Santa Rosa, Shahuindo, Igor, Algamarca, entre los más importantes (Tabla 3).

En **Alto Chicama**, el control estructural corresponde a sistemas de pliegues y fallas NO-SE convergencia Este, desarrollados por la orogenia andina en las secuencias silicoclásticas de la Formación Chicama y Chimú y que en parte controlaron la mineralización.

El yacimiento **La Arena** se ubica en la base de las rocas sedimentarias de la Formación Chimú y el yacimiento La Virgen se ubica en un nivel superior, y en la misma Formación Chimú. En La Arena se ha reconocido un pórfido de cobre-oro en profundidad dentro de los primeros 350 metros, que no ha sido explorado en su integridad.

### Estructuras

Genéticamente, los yacimientos de la Arena y La Virgen son de tipo hidrotermal de oro diseminado en cuarcitas en contacto con cuerpos intrusivos, emplazados en la intersección de fallas regionales NW-SE, con fallas locales de rumbo NE-SW, E-W y N-S.

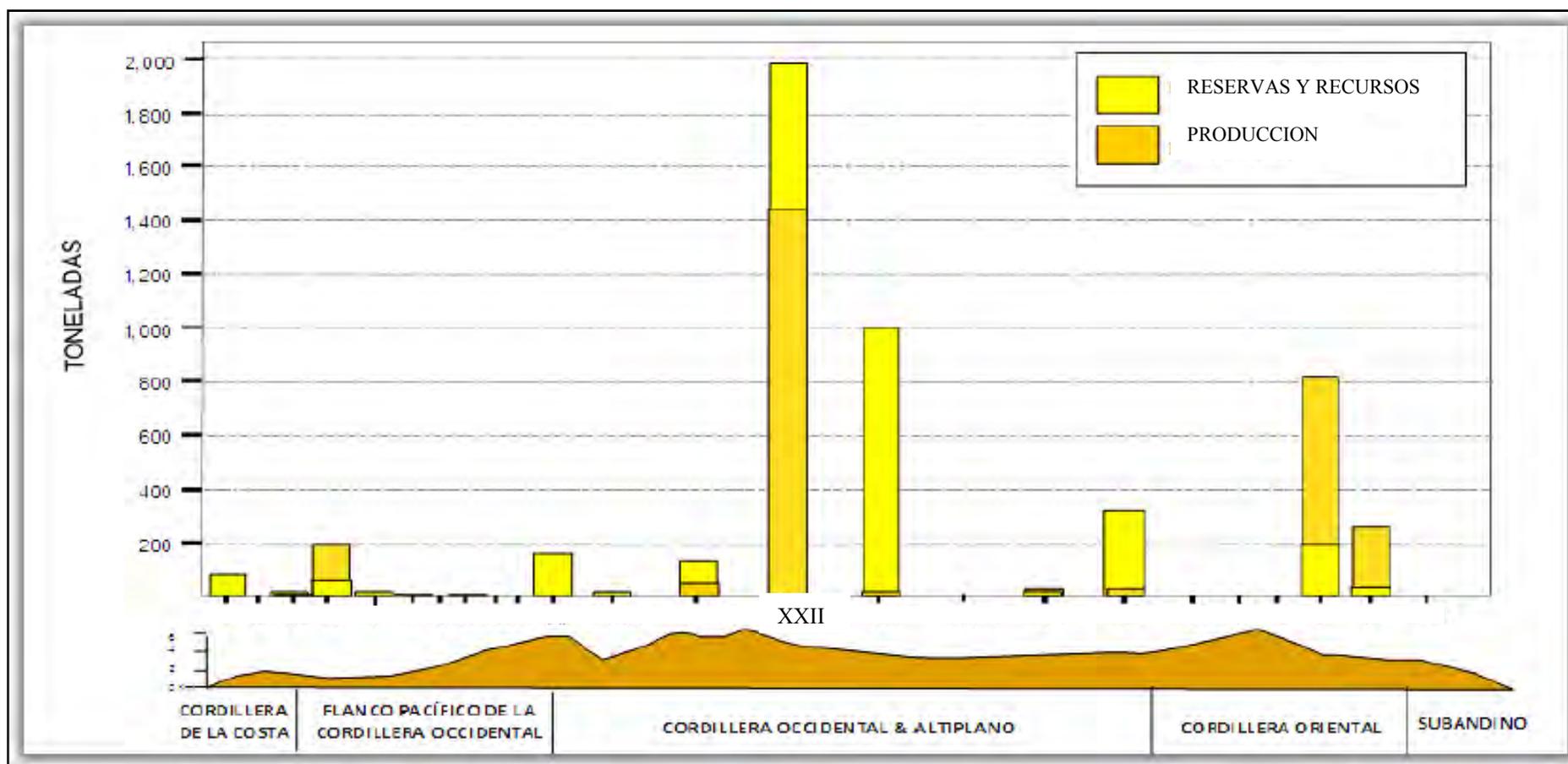
### Alteración

De mayor a menor intensidad, éstos son:

- Silicificación (pervasiva y cavernosa o vuggy, lixiviación y alunita).
- Argílica avanzada (silicificación, pirofilita-dickita-alunita).
- Argílica (illita-esmectita-alunita).
- Propilitización (carbonatización-epídota-clorita-pirita) (Foster, 1998).

**Tabla 3.-** En la Tabla se muestra los depósitos de oro en areniscas de la zona Norte del Perú

Depósito	Dimensiones	Roca Huésped	Mineralización	edad(Ma)
Alto Chicama	9.1 Moz Au	Arenisca cuarzosa y tobas	Diseminación en arenisca y fracturas y tobas	17+/- 0.4
La Virgen- La Arena	12.1@1.22g/Tn Au	Arenisca cuarzosa	Diseminación en arenisca y fracturas y tobas	Mioceno



**Figura 13.-** En la Figura se muestra como la franja metalogenetica XXII, es la más importante en producción de oro. (Modificado de Distribución espacial y temporal de la producción y recursos de oro, plata y cobre en el Perú- XV Congreso Peruano de Geología 2010- Jorge Acosta, Jorge Quispe)

### **CAPITULO III CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL**

El proyecto Corisonco, se encuentra alojado en del Grupo Goyllarisquizga, en la Formación Chimú, dentro de niveles finos y brechas tectónicas (en la Figura 14 se observa la columna genérica de la zona de estudio), en contacto como el Grupo Calipuy; a consecuencia de una falla inversa con movimiento sinextral de dirección Norte Sur (Véase Figura 19).

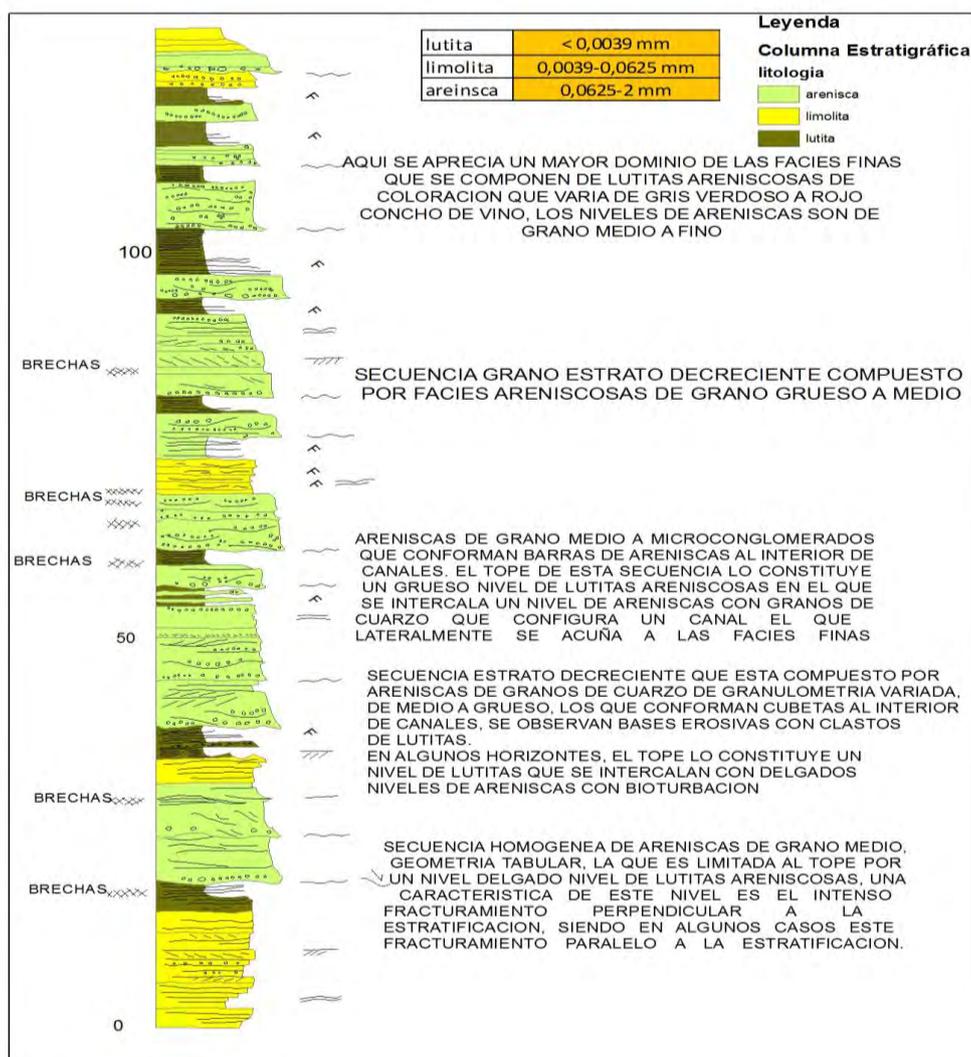
#### **3.1 Estratigrafía del área**

##### **3.1. 1 Mesozoico**

**Formación Chimú** (Valanginiano 140 Ma).- En el área de estudio, se observa alrededor de 153 m de espesor de la Formación Chimú (en superficie), la cual se compone esencialmente de bancos compuesto por areniscas cuarzosas (ortocuarzita), brechas tectónicas, las que se intercalan en diferentes niveles con horizontes de lutitas areniscosas. Cabe resaltar que estas brechas tectónicas presentan oxidación no relacionada con a la presencia de oro.

La secuencia inferior reconocida, presenta niveles de estratificación delgada (20 cm a 30 cm de espesor. Este sector se encuentra en la parte central del

área de estudio, los estratos presentan un fracturamiento perpendicular a la estratificación (Figura 15), este fracturamiento indica la tectónica en el sector central (léase capítulo 4). El tope de esta secuencia lo constituye un grueso nivel de lutitas areniscosas que se intercala con un nivel de areniscas cuarzosas que configura un canal que lateralmente se acuña hacia el Este a facies finas (Figura 16), que indican un ambiente fluviátil continental. (Informe J. Jacay 2009)



**Figura 14.-** Se muestran las muestras de la columna (Grupo Goyllarisquizga) estratigráfica del proyecto Corisonco, nótese los niveles gruesos intercalados entre niveles finos y brechas tectónicas (Jacay 2009).



**Figura 15.-** Se observa la Formación Chimú, en un nivel inferior delgado con fracturamiento perpendicular a los estratos.



**Figura 16.-** Se puede observar en la Formación Chimú, una estructura sedimentaria de base erosiva, de grano decreciente, que se acuña hacia el Este (canal fluvial).

**Formación Carhuaz** (Hauteriviano 136.4 Ma), hacia el sector Este del proyecto aflora esta secuencia sedimentaria perteneciente al grupo Goyllarisquizga. En los niveles inferiores se puede apreciar secuencias finas, con ligeras ondulaciones, laminaciones cruzadas, lo que sugiere que el medio de depósito es de origen fluvial (Figura 17).



**Figura 17-** Fotografía de dirección Este Oeste, se puede apreciar la secuencia de facies finas (nivel lutáceo). Formación Carhuaz.

La secuencia superior se encuentra en varios sectores cubiertos por materiales cuaternarios (suelos y morrenas laterales). Niveles de lutitas que se intercalan con delgados niveles de areniscas con rizaduras de corrientes, características que corresponden a depósitos de desborde en una amplia llanura de inundación, al tope de esta sucesión sedimentaria se puede distinguir gruesos bancos de areniscas de granulometría media a gruesa que

presentan amplias laminaciones oblicuas (Figura 18), característica que corresponden a depósitos de dunas eólicas.

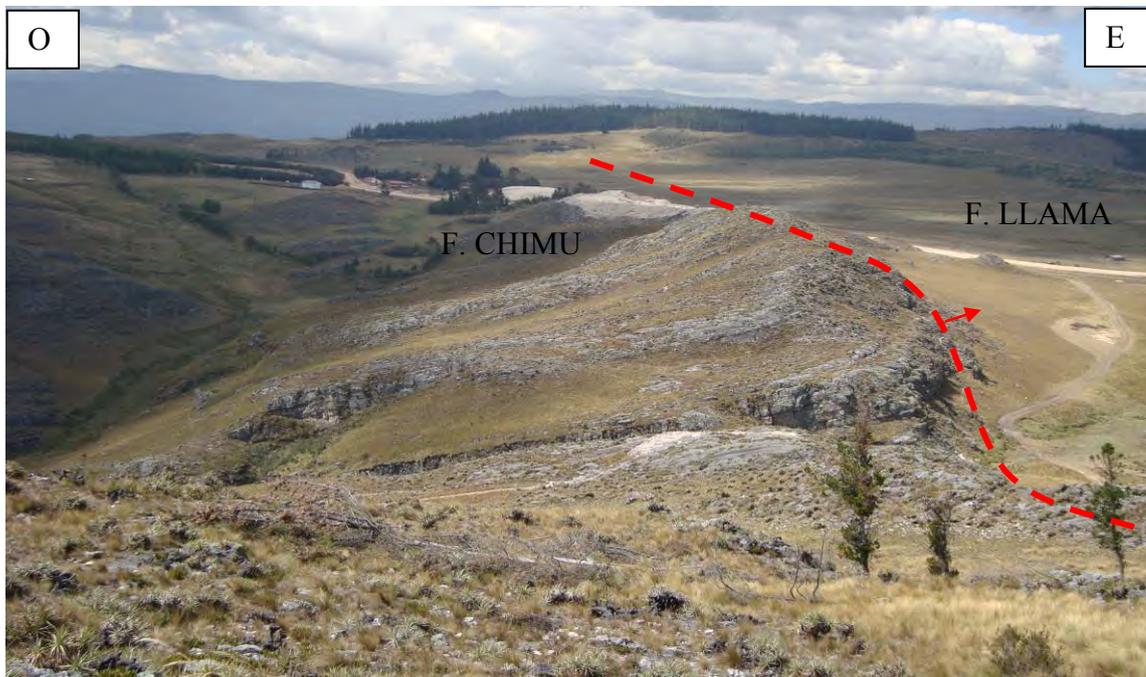


**Figura 18.-** Formación Carhuaz, se puede apreciar laminaciones oblicuas (J. Jacay informe a minera Yanacocha 2009).

### 3.1. 2 Cenozoico

Los volcánicos del Grupo Calipuy, de edad Eoceno-Mioceno, sobreyace a las rocas sedimentarias del Grupo Goyllarisquizga del Cretácico. Los volcánicos, en el área de estudio, se encuentran en contacto con la Formación Chimú debido a levantamiento de la falla inversa de dirección Norte-Sur (Figura19). Estos volcánicos son de composición ácida, con presencia de algunos cristales rotos de cuarzo y plagioclasas; en el sector Oeste, la base de la secuencia volcánica, presenta evidencia de material conglomerádico de cuarcitas y tobas (Figura 20), lo que indica que los volcánicos de este sector pertenecerían a la parte inferior del Grupo Calipuy

(Formación Llama). Las rocas volcánicas no presentan evidencia de mineralización.



**Figura 19.-** Se muestra el contacto de la Formación Chimú y la Formación Llama. En líneas segmentadas una falla que permite el contacto.



**Figura 20.-** En la imagen se aprecia el nivel basal del Grupo Calipuy, con clastos de cuarcita.

### **3.2 Rocas Intrusivas**

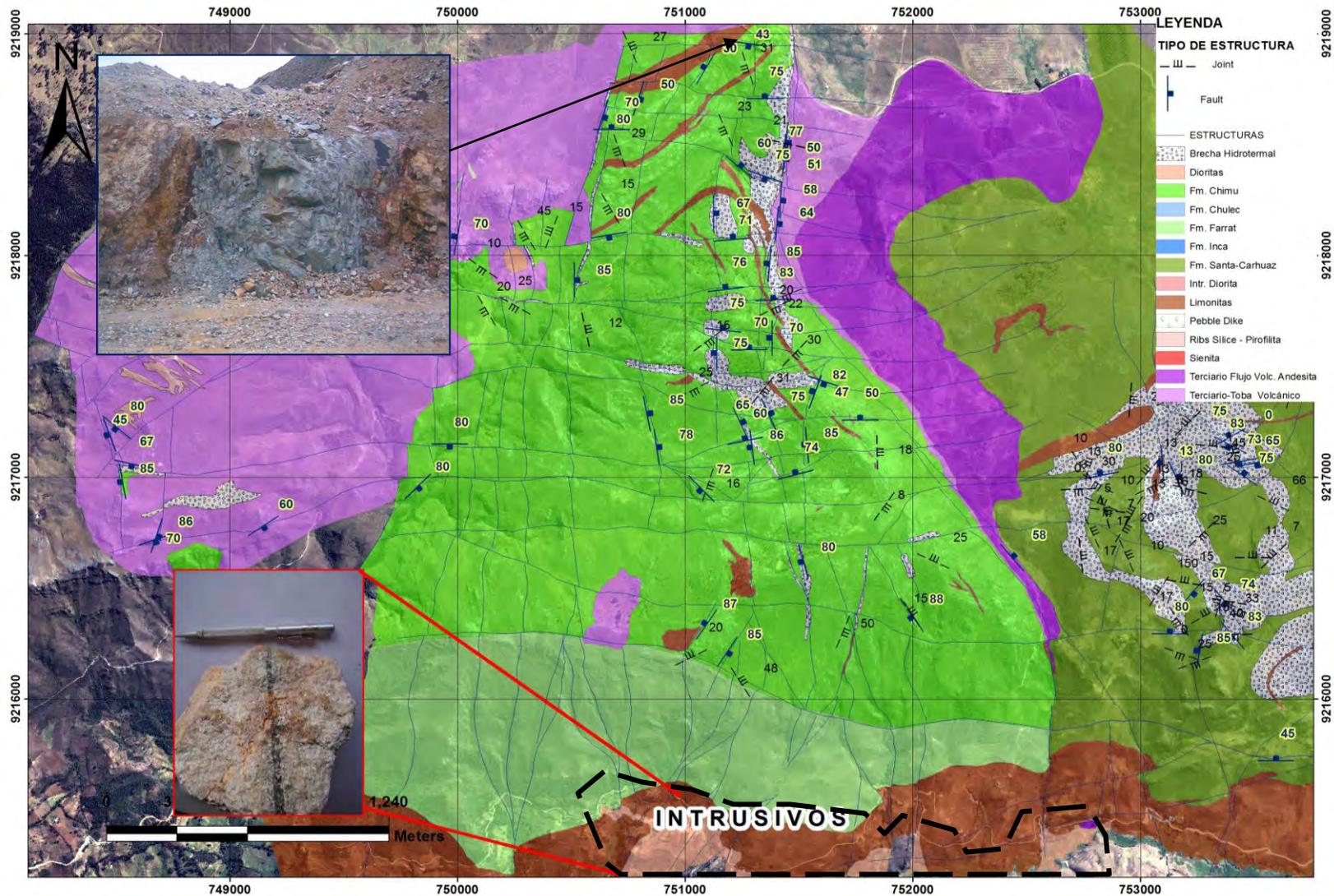
En el sector Sur del proyecto, se ha logrado reconocer intrusivos dispuestos con una tendencia Este-Oeste, de dos composiciones diferentes, un domo sin alteración diorítico y un pórfido dacítico; el pórfido dacítico presenta venillas de sílice con sutura de magnetita al centro (Figura 21), las venillas de sílice magnetita corresponden a una etapa posterior al emplazamiento del intrusivo, debido a que la roca no presenta evidencia de alteración hipógena, la presencia de estas venillas de sílice-magnetita sería evidencia de un pórfido mineralizado en profundidad.

La evidencia de intrusivos de composiciones diferentes, indican la actividad y evolución de la cámara magmática, la cual posiblemente aportó fluidos que mineralizaron las rocas circundantes del proyecto Corisonco; además de evidenciar sistemas estructurales que controlan sus emplazamientos y posterior alteración hidrotermal.

En el sector Norte se ha reconocido un dique que se presenta discordante a las areniscas de la Formación Chimú, este dique andesítico evidencia un sistema estructural de extensión; en la Figura 22, se aprecia la ubicación de los intrusivos presentes en el proyecto Corisonco, nótese su orientación Este-Oeste.



**Figura 21.-** En la Figura se puede apreciar una roca de textura porfirítica, de composición dacítica. En marco azul venillas de sílice-magnetita.



**Figura 22.-** En la Figura se muestra la ubicación de los intrusivos presentes en el sector Sur del Proyecto Corisonco (Líneas negras). En marco rojo venillas de sílice-magnetita. En marco azul, dique discordante a las areniscas (Interpretación geológica minera Yanacochoa).

### 3.3 Brechas

En el proyecto, se han reconocido brechas de diferentes tipos, algunas formadas por estructuras tectónicas y por fluidos hidrotermales.

**Brecha tectónica.-** Las brechas tectónicas, se encuentran asociadas a estructuras que pueden presentar óxidos en la matriz, los fragmentos presentan son subredondeados. Este tipo de brecha no presenta interés económico (Figura 23).



**Figura 23.-** Brecha tectónica, en una falla con relleno de óxidos, clastos de cuarcita.

**Brecha sedimentaria.-** En algunos sectores del proyecto Corisonco, se han reconocido brechas sedimentarias, que se formaron al sepultar fragmentos de areniscas en sedimentos (interpretación de ambientes sedimentarios C. Bianchi), estas brechas no son reconocidas como brechas de interés económico por no presentar mineralización (Figura 24).



**Figura 24.-** Brecha sedimentaria presente entre estratos de areniscas.

**Brecha cráquel o rompecabezas.-** Es aquella donde los fragmentos se pueden “armar” nuevamente al remover la matriz. Se ha reconocido brechas cráquel, en rocas sedimentarias, formado por procesos tectónicos que no ha generado mayor transporte en los fragmentos arrancados de la roca caja, siendo estos fragmentos angulosos. Existen un tipo de brecha diferenciados como brechas cráquel hidrotermal, las cuales presentan mineralización.

**Brecha hidrotermal.-** Las brechas hidrotermales, se caracterizan por presentar relleno de óxidos y cristales de cuarzo, además puede presentar mineralización de oro u otros minerales (Figura 42)

### **3.4 Tectónica Local**

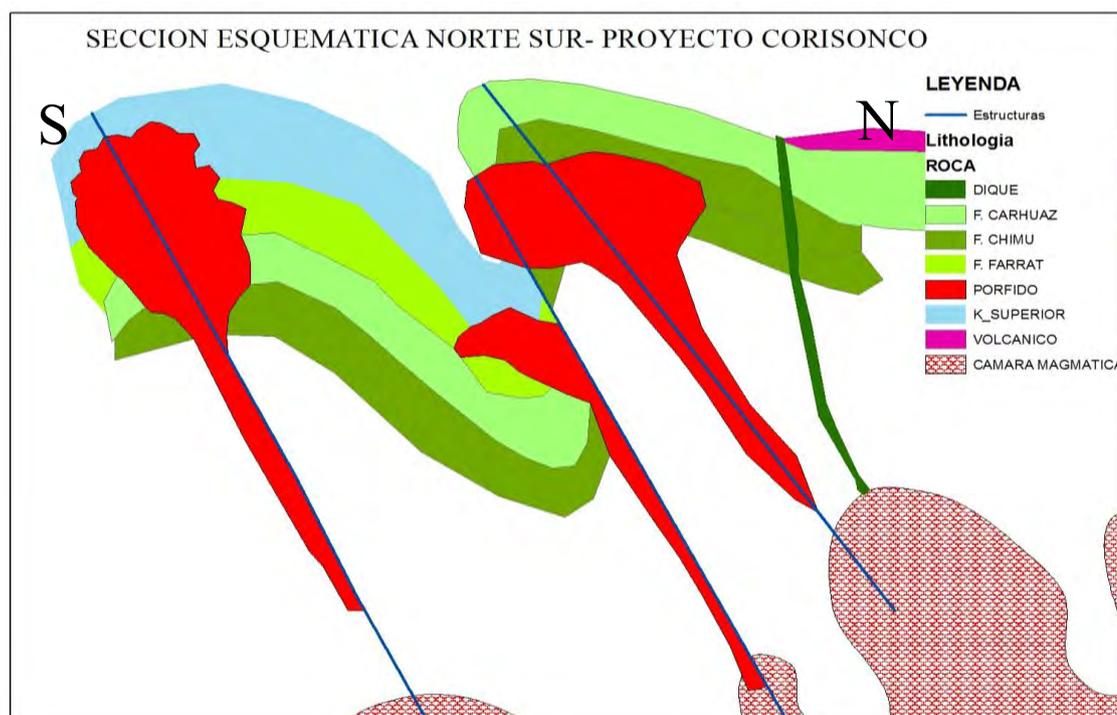
El área en estudio, se encuentra en la Deflexión de Cajamarca (Mourier, 1988). Los esfuerzos tectónicos que posiblemente originan el plegamiento de dirección NO y EO (Figura 26), son esfuerzos que migran de NE-SO a N-S y corresponden a la fase Inca I.

Los rasgos morfoestructurales indican que el yacimiento se formó durante un régimen sismogénico activo, que previamente había deformado fuertemente las secuencias cretácicas que antecedieron al periodo de mineralización, razón por la que se pueden encontrar marcados plegamientos y otros signos de deformación cortical subyaciendo a las secuencias volcánicas miocénicas bastante más conservadas.

En el periodo Orogénico Andino (periodo de inversión tectónica y estructuración del Sistema Andino), las cuarcitas y areniscas de la Formación Chimú que poseen un comportamiento de material competente, se fracturaron y los esfuerzos compresivos migraron hacia niveles superiores configurando estructuras tectónicas con un alto grado de fracturación de carácter compresivo y extensivo, logrando formar anticlinales y sinclinales de orientación E-O; estos esfuerzos generaron sistemas de fallas inversas importantes, que pone en contacto a la Formación Chimú (Cretácico Inferior) y la Formación Chulec (Cretácico Superior), así mismo permitieron el emplazamiento y posterior levantamientos de intrusivos de diferentes composiciones durante la fase tectónica Inca IV (23-22Ma, según Camus,

2007), estos eventos tectónicos han sido de gran relevancia en la formación del proyecto Corisonco. La fase Inca IV genera esfuerzos de orientación NO-SE, que fracturan a la Formación Farrat con fallas de orientación ENE (Pre-mineral). En el proyecto se encuentran estructuras mineralizadas con anomalías de plata, con azimut  $330^\circ$  y buzamientos  $80^\circ$  correspondientes a la fase Quechua I. Estos eventos persisten en la fase Quechua II, en el cual presenta la mayor actividad mineralizadora de la zona de estudio. Una de las últimas estructuras presentes en el sector son movimientos dextrales de orientación EO, que fallan todo el sector.

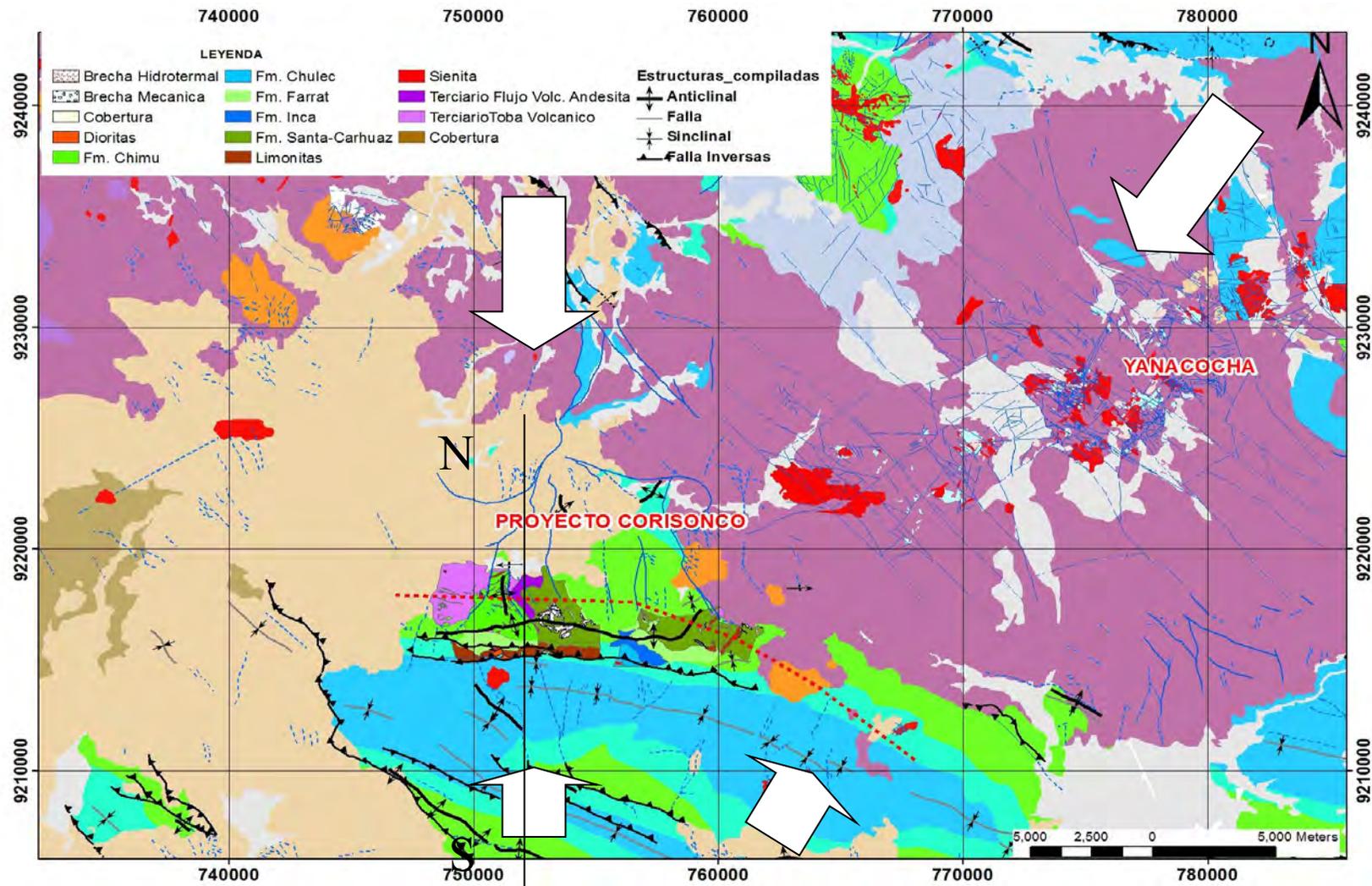
Se realizó una sección esquemática que representa el modelo geológico del proyecto Corisonco de Norte a Sur (Figura 25).



**Figura 25.-** En la sección esquemática Norte-Sur, se presenta la morfología interpretada, mostrándose los cuerpos intrusivos presentes e interpretados. (Ubicación de la sección presente en la Figura 26).

**Tabla 4.-** Evolución de la tectónica en el proyecto (V. Sanchez).

FASE TECTÓNICA	EDAD (M.a.)	SERIE	FASE	DIRECCIÓN DE ESFUERZOS	CINEMÁTICA	SISTEMA DE FALLAS	EVENTO
Cuaternaria	4 - 2	Plioceno	Tensional	N 130°	Normal	--	
Quechua 3	6 - 4	Mioceno - Plioceno	Cizallante	E - O	Dextral	Dextrales E - O	VI Tectonismo.
Quechua 2	9	Mioceno	Cizallante	N - S	Sinextral	Sinextrales N - S	V Tectonismo.
	12 - 10	Mioceno	Tensional	E - O	Normal	Normales NNO	IV Tectonismo, Magmatismo y Mineralización.
Quechua 1	17	Mioceno	Cizallante	NO - SE	Sinextral	Sinextrales NNO	III Tectonismo.
Inca 4	23 - 22	Oligoceno - Mioceno	Cizallante	NO - SE	Dextral	Dextrales ENE	II Tectonismo.
Inca 3	30 - 27	Eoceno - Oligoceno					
Inca 2	43 - 42	Paleoceno - Eoceno					
Inca 1	57 - 55	Senoniense - Paleoceno	Compresiva	N - S	Inversa	Inversas E - O	I Tectonismo que origina sobreescurremientos y Magmatismo pre-mineral.
Peruana	84-79	Dogger - Cretáceo Superior	Compresiva	N - S	Inversa		



**Figura 26.-** Se aprecia los esfuerzos principales en el área, los esfuerzos migran de NE-SO a N-S. Mapeo interpretado por el departamento de Geología de minera Yanacocha.

### 3.5 Geología Estructural

#### Análisis cinemático de fallas

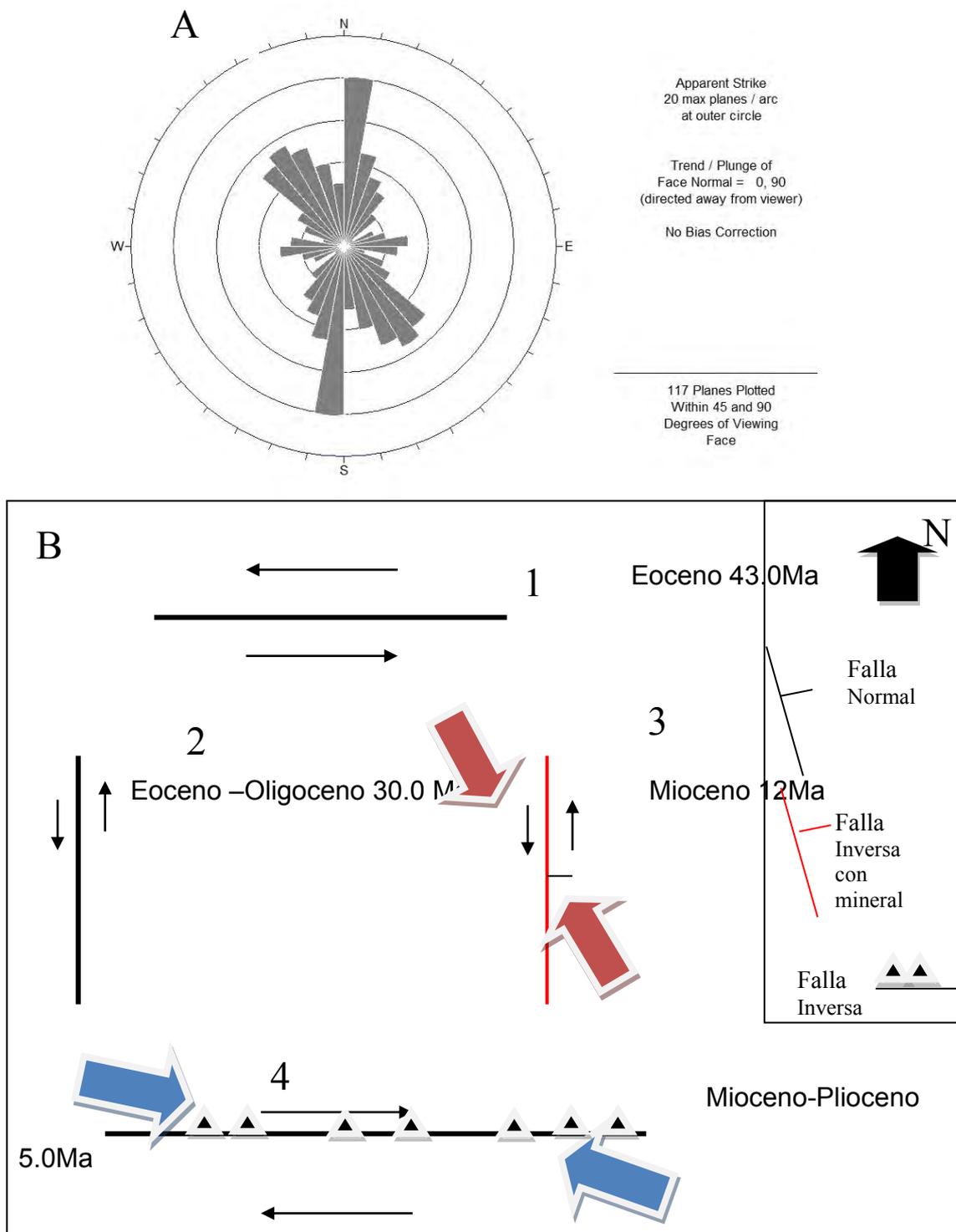
La Geología Estructural (del latín *structuram*, construir) por Geikie (1905) tiene la misma raíz, indicando que su objetivo, es común con el término Tectónica. Constituye uno de los pilares del conocimiento geológico y nace de la Geodinámica. Se puede decir que la Geología Estructural trata de la forma, distribución y estructura interna de las rocas, haciendo especial énfasis en los procesos que intervienen en su deformación tanto a pequeña como a mediana escala. Se puede decir por ende que la Geología Estructural trata de la descripción de las rocas y los procesos que tienen lugar en la corteza terrestre.

Las mediciones de campo que se realizaron para el análisis cinemático de fallas son las siguientes:

- Rumbo y buzamiento del plano de falla principal.
- Sentido de movimiento de la falla.
- Pitch y dirección de inclinación de las estrías de falla.

Estos datos estructurales son plasmados en proyecciones estereográficas que permiten determinar la dirección e inclinación de los esfuerzos principales  $\sigma_1$  (compresivo),  $\sigma_2$  (intermedio) y  $\sigma_3$  (tensional), responsables de la deformación.

Se ha recolectado 319 datos entre datos de fallas (*fault*) fracturas (*joint*) y estratos (*bedding*) (Tabla 8). En la Figura 27, se muestra gráficamente los diferentes esfuerzos que se presentaron en la zona de estudio.



**Figura 27.-** A) El diagrama de rosas de las tres principales familias de fallas presentes en el proyecto Corisonco. B) Se observa las principales fallas y su cronología.

Se han identificado familias de estructuras importantes en la zona de estudio, la familia de fallas principales presentes en el proyecto Corisonco:

- Estructuras de movimiento normal-sinextral, de sentido N-S. La presencia de estas fallas son evidenciadas en el sector Norte del proyecto por la presencia de brechas tectónicas e hidrotermales rellenas de goethita y arcillas blanquecinas, en la Figura 28 y 29 se muestra la cinemática de la falla. Los esfuerzos determinados para esta familia de fallas son NNE-SSO. Las fallas Norte Sur, fueron emplazadas durante el Eoceno-Oligoceno (30.0 Ma), y reactivadas en el Mioceno (12Ma), correspondiendo con el mayor alzamiento cortical en los Andes Peruanos (Noble *et al.*, 1990).



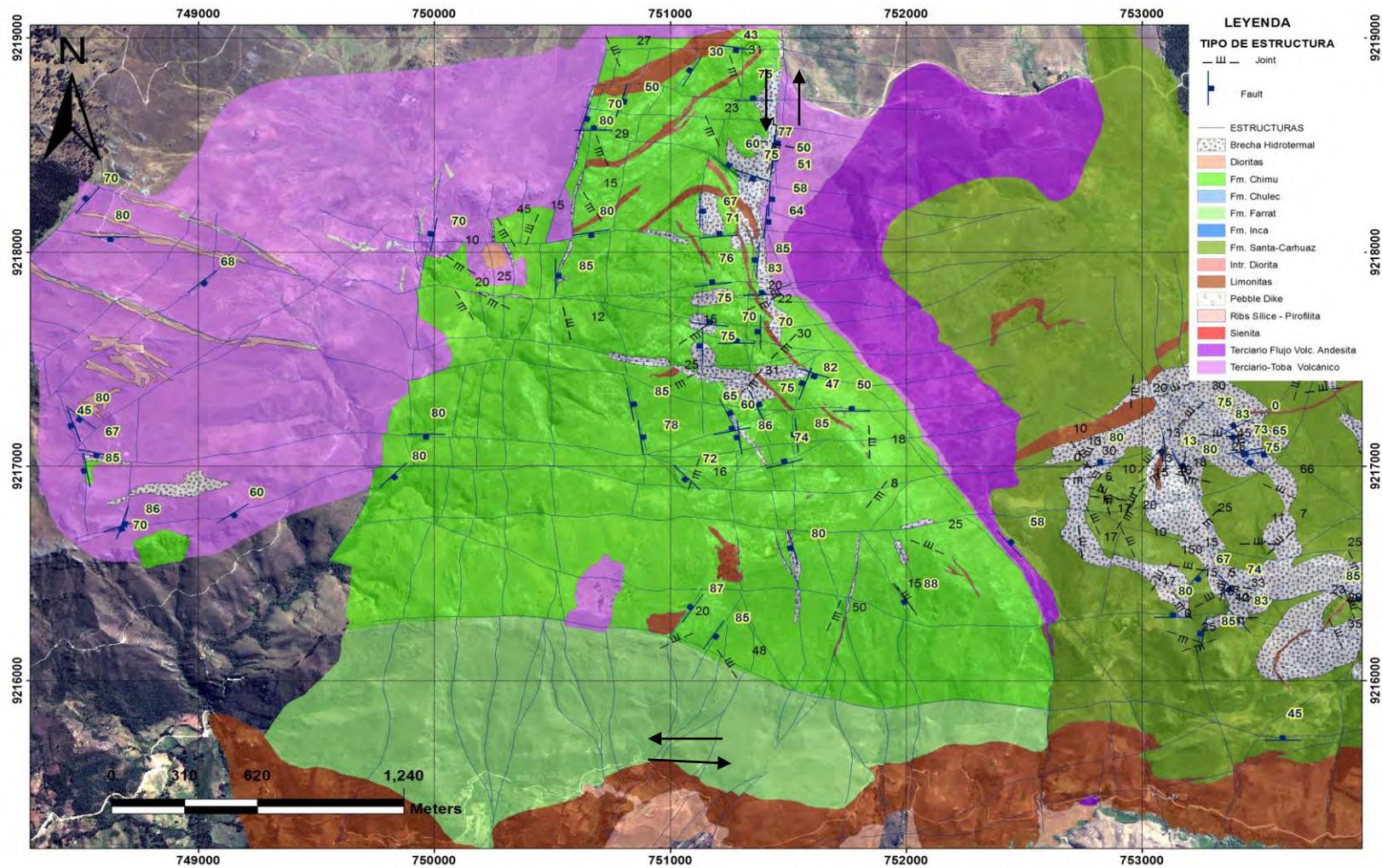
**Figura 28.-** Se muestra el desarrollo de estructuras sinextrales, las cuales forman fracturas transtensionales (parte Sur del proyecto Corisonco)



**Figura 29.-** En la fotografía se aprecia el sistema característico sinextral de fallas Norte Sur.

- Las fallas Norte-Sur son cortadas por otras estructuras de rumbo NE, las cuales han sido rellenadas con óxidos y cristales de cuarzo hialino, las fallas de rumbo NE en algunos casos han reportado anomalías económicas de oro (0.03gr/Tn) y otros metales (Ag, Cu y Pb).
- El levantamiento del Cretácico Superior, durante el Albeano (43.0 Ma), generó un sistema de fallas inversas de rumbo E-O, estas fallas fueron reactivadas durante el Eoceno con movimiento sinextral, la última reactivación se presentó durante el Mioceno–Plioceno (5.0 Ma) con un movimiento dextral.

En la Figura 30 se muestra el mapa estructural de la zona de estudio.

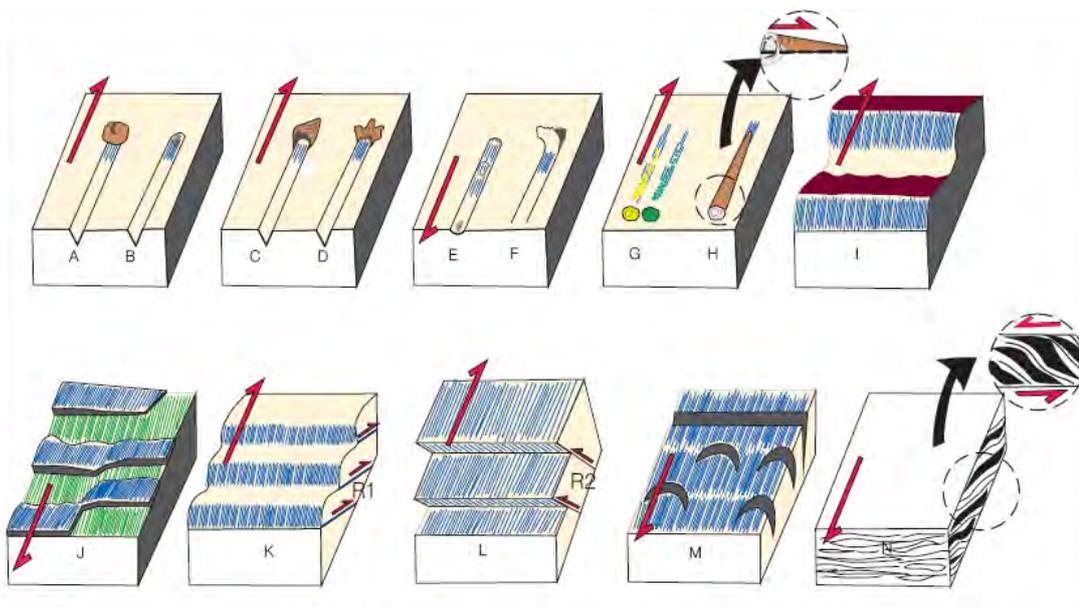


**Figura 30.-** Se observa las principales fallas en el proyecto, nótese que presenta orientación N-S, sinextrales y E-O, dextrales.

### Indicadores Cinemáticos (Tectoglifos)

Los indicadores cinemáticos o tectoglifos son una serie de estructuras (milimétricas a métricas), desarrolladas en medio frágil y asociadas a fallas. Se emplean para determinar la dirección y sentido de desplazamiento del bloque faltante sobre un plano de falla.

En la Figura 31 se muestran los principales tectoglifos empleados para definir el sentido de movimiento del bloque faltante.



**Figura 31:** Tipos de Tectoglifos, modificado de Martínez 2002.

En el sector Norte, en las fallas de sentido N-S y movimiento normal sinextral, se ha identificado cristalización al abrigo de cristales de cuarzo (Figura 32) en las fallas así como fracturas de R1.

En la Figura 33, se muestra la cinemática de la familia de fallas E-O.



**Figura 32.-** Se aprecia en la pared de la falla, sílice, la cristalización al abrigo muestra el desplazamiento relativo, el bloque faltante se movió a la derecha. (V. Sánchez 2012)

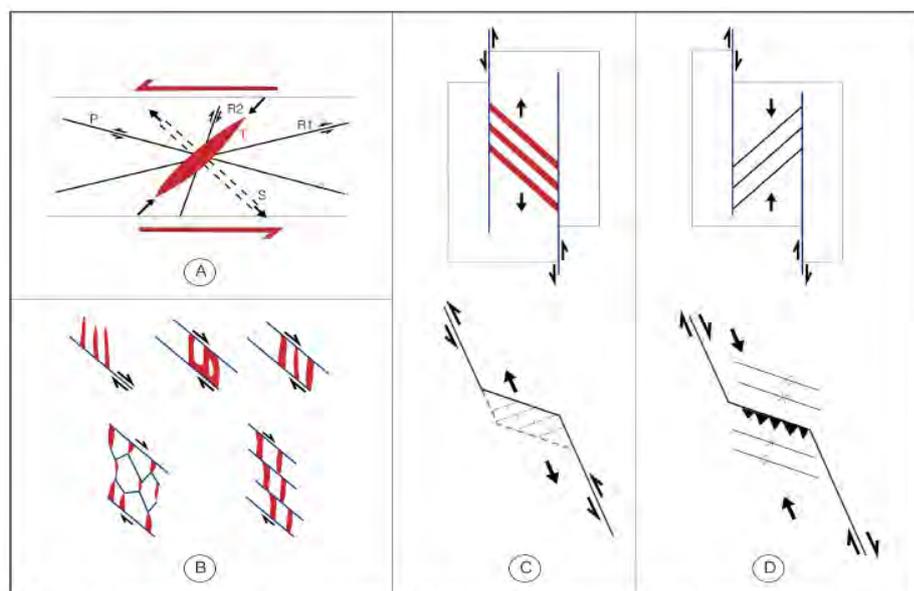


**Figura 33.-** Se muestra escamas en la pared de la falla, indicando que el bloque faltante se movió a la derecha. (Fotografía de V. Sánchez 2012)

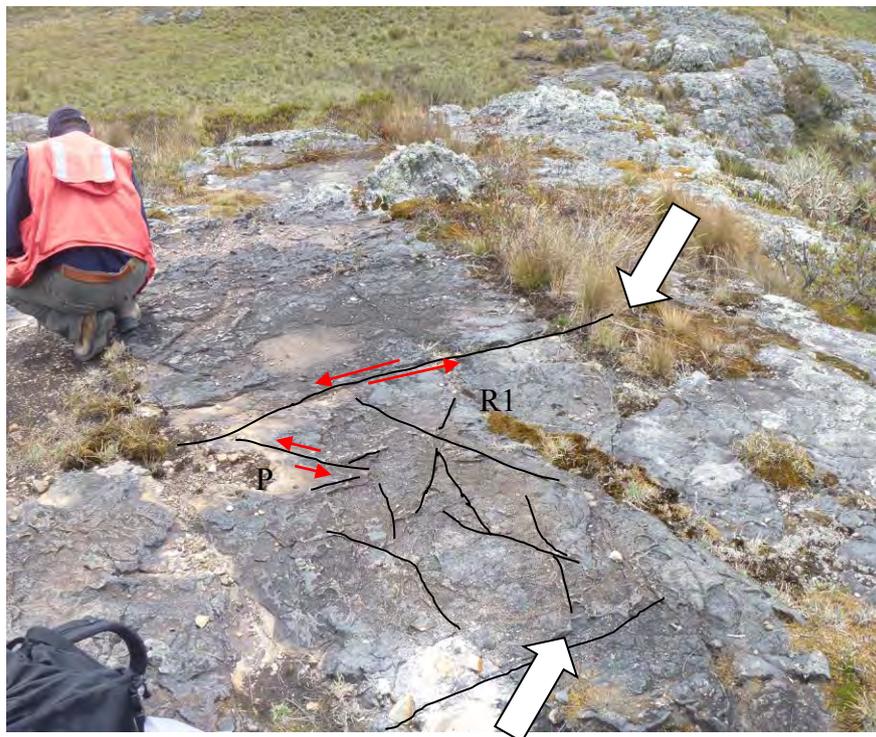
## Modelos de Fracturación

a) Fracturas desarrolladas en una zona de cizallamiento – Modelo de Riedel

H. Cloos y W. Riedel (1928-1929), fueron los pioneros en realizar experimentos de cizallamiento y determinaron dos tipos de fallas a las que denominaron R1 y R2 (Figura 34-A). Estas fallas son importantes debido a que pueden albergar mineralización y ocurren a diferentes escalas y pueden adoptar geometrías complejas. Por ello, entender su génesis y los estilos de deformación asociados son muy importantes, Sibson (1987) y Dubé & Guha (1992); pudieron explicar convenientemente la ocurrencia de dichas fracturas (Figura 34-B), contribuyendo notablemente en la actualidad en la búsqueda y localización de cuerpos mineralizados. En la Figura 35 se observa un sistema compresional que genera fallas sinestrales, y sistemas R1 y P.



**Figura 34.-** A) Modelo de fracturación de Riedel, R1 y R2: fallas de Riedel, P: fallas de Skempton, T: fracturas por tracción y S: esquistosidad. B) Modelos de fracturación tensional en zonas de cizallamiento. C) Zonas de transtensión. D) Zonas de transpresión. (Modificado de Martínez 2002)



**Figura 35.-** Sistemas que muestra el sistema propuesto por W. Riedel.

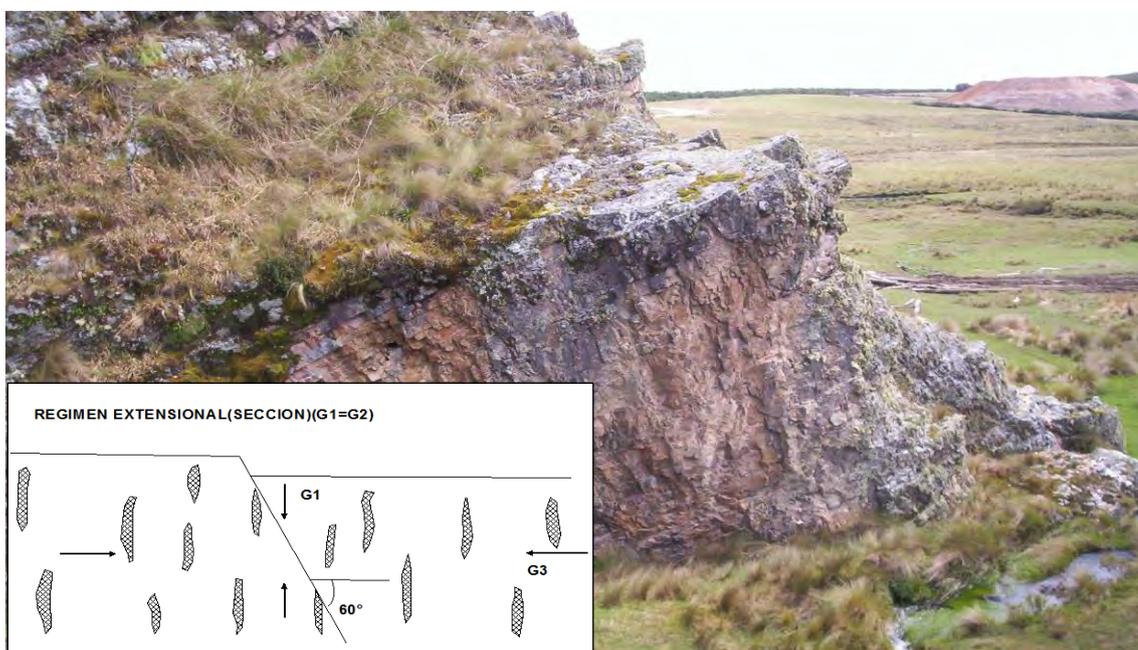
b) Zonas de transtensión o transpresión

Las zonas de transtensión o transpresión, están estrechamente relacionadas a fallas transcurrentes y el origen de las fallas de transtensión o transpresión; va a depender fundamentalmente del sentido de movimiento de la fallas transcurrentes. Por ejemplo, cuando una falla principal NO-SE, de movimiento sinextral y con una inflexión E-O en su parte central, por el movimiento que tiene, produce desplazamientos normales que generan cuencas tipo “pull apart” o fracturas abiertas, denominadas zonas de transtensión (Figura 34-C). Mientras que, si el movimiento fuese dextral se producirían ejes de pliegues y fallas inversas, llamadas zonas de transpresión (Figura 34 D).

### 3.6 Alteración y Mineralización

#### 3.6.1 Mecanismo de Transporte de Fluidos

La mayor parte de yacimientos de origen hidrotermal, formado en márgenes convergentes ocurren como parte de la evolución de los arcos magmáticos, la orientación de los tres ejes de esfuerzo ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ) es obviamente diferente para ambientes compresionales, de rumbo y extensionales. En compresión pura  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  son horizontales y  $\sigma_3$  es vertical, en extensión pura  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  son horizontales y  $\sigma_1$  es vertical, este segundo caso es el que se presenta en la parte central del proyecto Corisonco, donde el fracturamiento es casi vertical y perpendicular a los estratos (Figura 36), este tipo de fracturación permite generar espacio que en presencia de fluidos hidrotermal permiten el paso y posterior alojamiento de minerales.



**Figura 36.-** Fracturamiento vertical en las areniscas de la Formación Chimú, es evidencia de una falla extensional pre mineral.

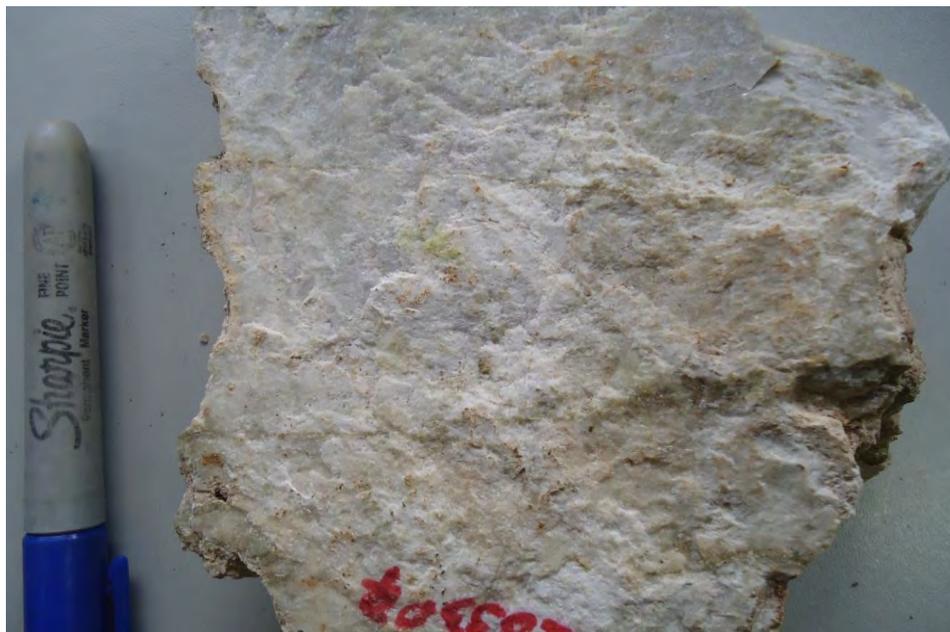
### 3.6. 2 Mineralización

La mineralización en la zona de estudio está dominada por la litología, geoquímica y estructuras, el origen posiblemente esté asociado a sistemas tipo Pórfido; se tiene evidencia de la presencia de intrusivos en la parte Sur del proyecto (Figura 22); que se emplazaron, aproximadamente, a partir de los 23.0 Ma y 8.0 Ma, es decir desde el Mioceno (Cossío, 1964; Wilson, 1975; Farrar y Noble, 1976; Noble *et al.*, 1990; Davies, 2002; Rivera *et al.*, 2005). Este intrusivo presenta venillas de composición sílice-magnetita, posterior al emplazamiento.

En el contacto con las rocas sedimentarias calcáreas del Cretácico Superior, se presenta evidencia de Skarnificación, (Figura 37-38).



**Figura 37.-** Se muestra un fragmento skarnificado con presencia de granates de coloración marrón y verde.



**Figura 38.-** En la fotografía se observa una muestra de mármol.

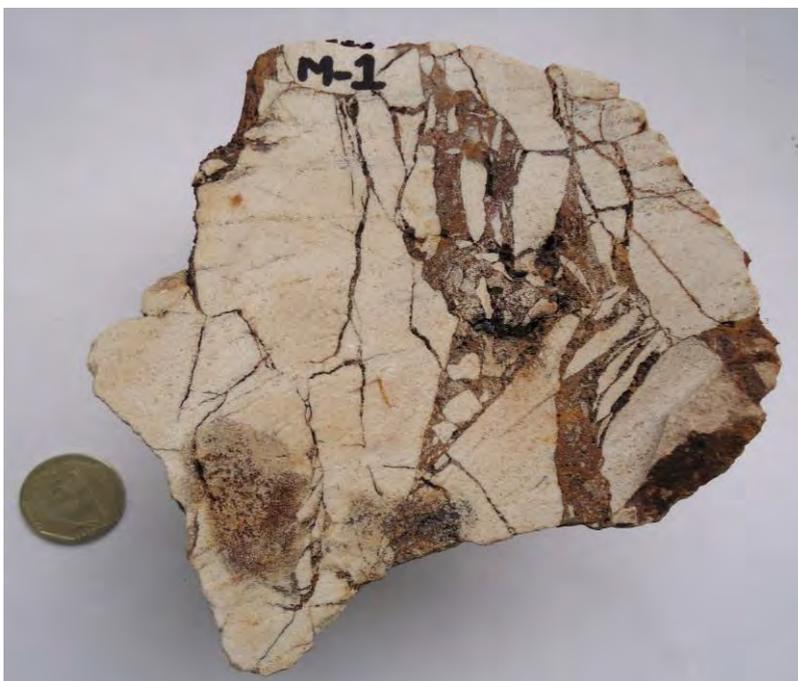
La mineralización en las areniscas, se presenta en vetillas geodas y brechas hidrotermales, rellenas de goethita (Figuras 39-40), pseudomorfo de pirita (Figura 41), las cuales presentan valores económicos de oro (Au) 7.06gr/Tn y plata (Ag) 2037gr/Tn (Figura 42). En las lutitas o areniscas limosas la mineralización se presenta a manera de mantos.

Se prepararon muestras de secciones pulidas, donde se logró identificar principalmente óxidos y sílice, que se encuentran relleno intersticios y zonas favorables como fracturas. Intercrecimiento bandeado, entre limonitas y hematita; las venillas tardías de limonitas cortan a la hematita; parte de las limonitas presentan aspecto terrosa. Se observa fragmentos de arenisca con inclusiones de pirita (Figura 43 A), la pirita se presenta escasa y en minúsculos cristales subhedrales, incluidos preferentemente dentro de

fragmentos de arenisca y presenta limonitas en intersticios; wolframita-hubnerita (Figura 43 B), la wolframita-hubnerita se presenta en intersticios de la cuarcita, presentan borde difuso de contacto con la hematita y en algunos casos reemplazada en su totalidad por hematita junto con menor cantidad de limonitas. Posiblemente el origen de la wolframita sea de origen singenético.

Se observan finas inclusiones de oro nativo dentro de las masas oxidadas (Figura 44 A). Existen, óxidos de hematita-limonitas (Figura 44 B-C) que se presentan estrechamente asociadas en agregados finamente bandeados que rellenan intersticios, cavidades y venillas; una parte se presenta con estructura terrosa y tapizando incluso granos de cuarzo (Figura 44 D),

La ubicación de las muestras se presenta en la Figura 50.



**Figura 39.-** Se observa una brecha craquel hidrotermal, con matriz de goethita, la roca caja es arenisca, la cual no presenta valores económicos.



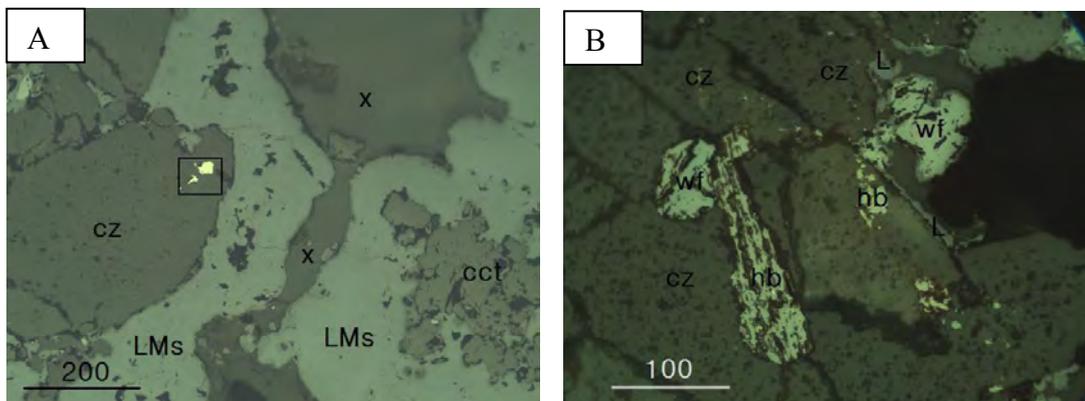
**Figura 40.-** Se observa una brecha hidrotermal, nótese fragmentos subredondeados de arenisca, la matriz de goethita. Esta brecha presenta valores de oro. Au 0.18gr/tn



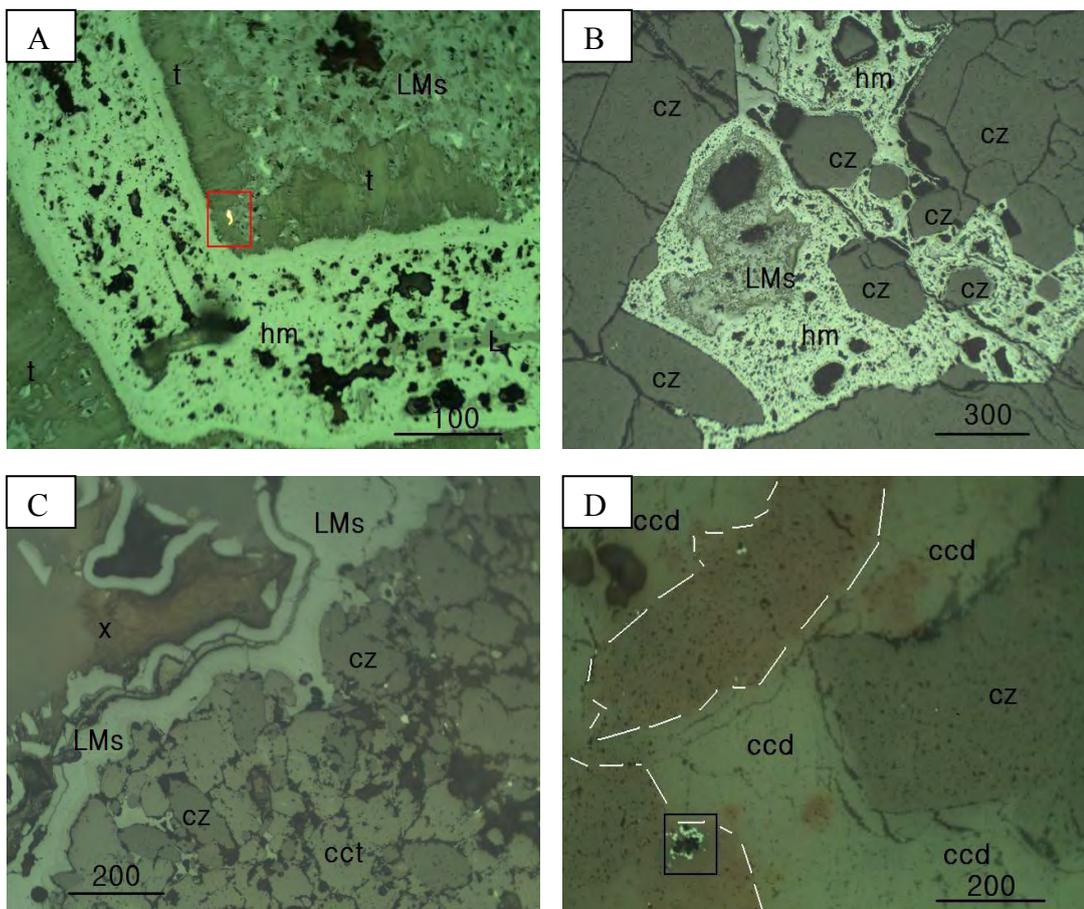
**Figura 41.-** Limonita, con pseudomorfo de pirita.



**Figura 42.-** Geodas de cuarzo rellenos de goethita, reportan valores altos en contenido de Ag 2037gr/tn y Au 7.06gr/tn.



**Foto 43.-** A) Fragmentos de arenisca (cz) con inclusión de pirita (marco negro) y de cuarcita (cct) bordean cavidad (x) rellena de limonitas. B) Cuarcita con cavidades intersticiales rellenas con wolframita parcialmente reemplazada por hubnerita.



**Foto 44.-** Fotomicrografías A) Intercrecimiento bandeado, geoméricamente muy complejo, entre limonitas y hematita; obsérvese las venillas tardías de limonitas que cortan a la hematita; parte de las limonitas se presentan estructura terrosa (t). Pequeña inclusión de oro nativo dentro de las limonitas terrosas (marco rojo). B) Granos de cuarzo de variado tamaño bordean cavidad rellena de limonitas (gris claro) íntimamente amarrada con hematita (color blanco grisáceo). C) Fragmentos de arenisca (CZ) en transición a cuarcita (cct) junto a cavidad (x) tapizada por limonitas bandeadas. Limonitas terrosas rellena parte de la cavidad (tono marrón rojizo). D) Fragmentos de cuarcita, en parte conservados (CZ) y en parte (delineados con segmentos grises) teñidos por hematita y fuertemente reemplazados por calcedonia (ccd). Pequeño nudo de hematita (marco negro).

### 3.6. 3 Controles de Mineralización

En el proyecto Corisonco, el nivel estratigráfico expuesto, con anomalías de oro, esta sobre 3500msnm.

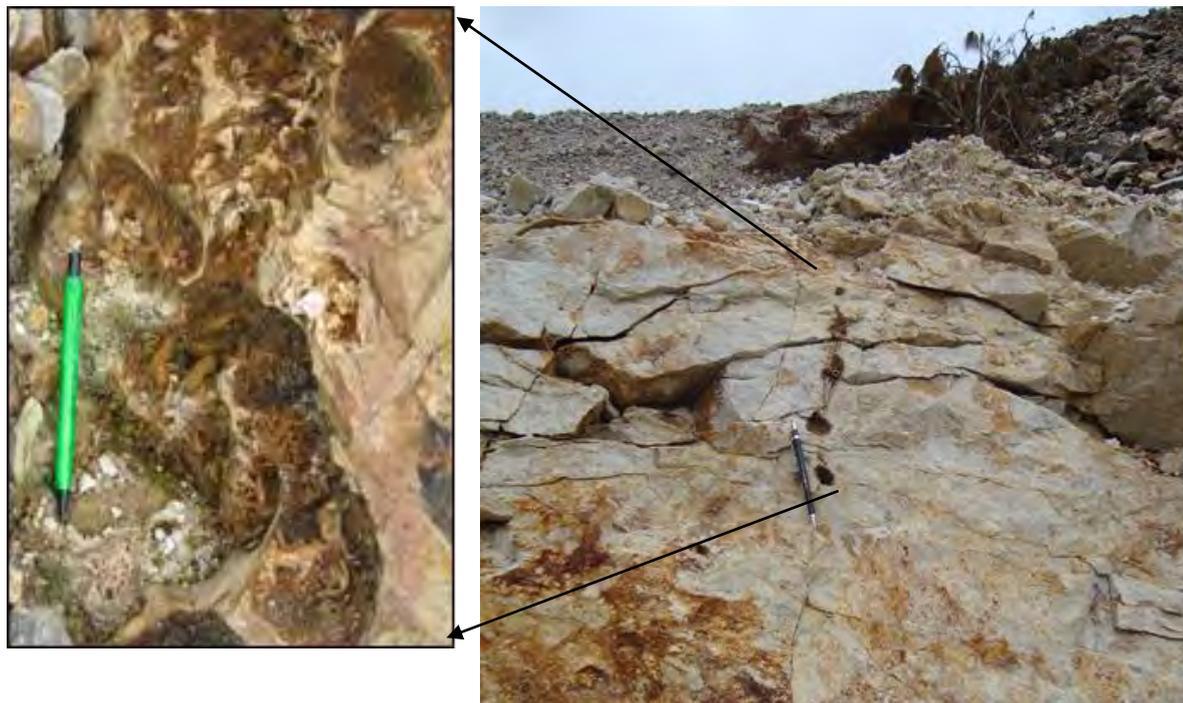
Los controles de mineralización son dos: estructural y litológico.

**El control estructural**, presente en el proyecto se desarrolló desde la Fase Peruana a la actualidad, generándose familias de fallas, diaclasas y brechas pre mineral y post mineral, de manera que en presencia de fluidos hidrotermales jugaron un papel importante para hospedar mineralización, como las brechas rompecabezas con posterior relleno hidrotermal (Figura 45). En algunos casos, la presencia de fluidos hidrotermales logró fracturar la roca; generándose estructuras de hidrofracturamiento (Figura 46), formando geodas con cristales de cuarzo y goethitas y brechas hidrotermales (Figura 47).

**El control litológico**, las estructuras generadas por los esfuerzos tectónicos, fracturaron las secuencias estratigráficas (Figura 48), como las limolitas, estos estratos en presencia de fluidos hidrotermales no permitieron la precipitación de los fluidos hidrotermales, debido a su poca porosidad y permeabilidad. Los fluidos hidrotermales al llegar a zonas con permeabilidad mayor, como las areniscas, mineralizaron formando estructuras tipo manto (Figura 49). Este control es importante debido a que en la repetición de los estratos se esperarían encontrar mineralización en diferentes niveles estratigráficos.



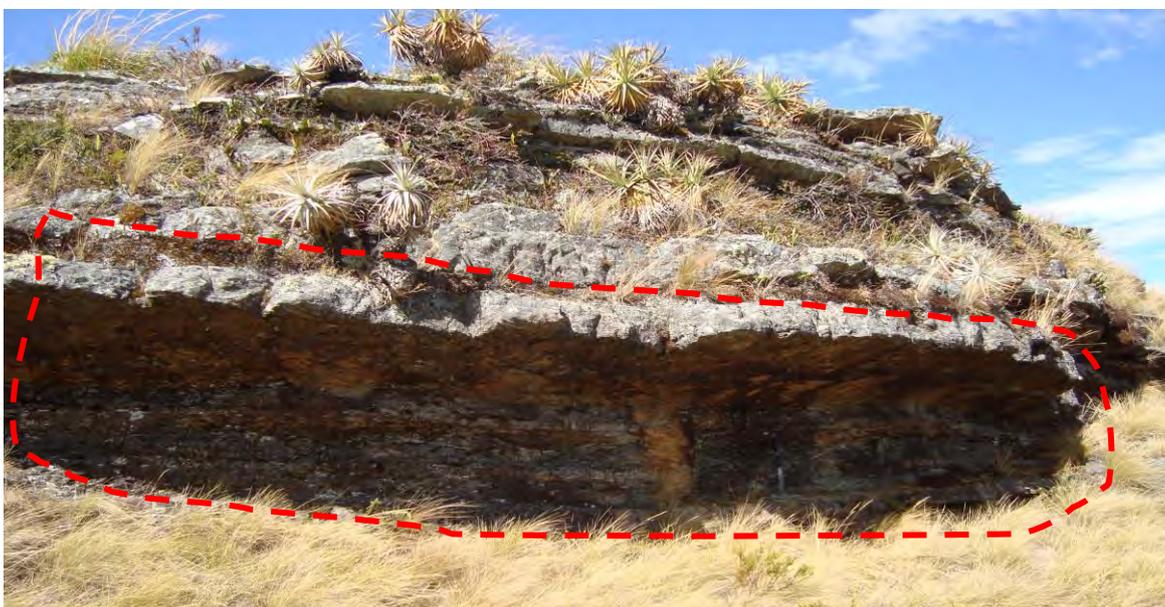
**Figura 45.-** Se observa una brecha de forma rompecabeza, con posterior relleno hidrotermal



**Figura 46.-** En la Figura se muestra una estructuras de hidrofracturamiento con relleno de óxidos, formando en algunos niveles geodas de cuarzo con óxidos de goethita.



**Figura 47.-** En la Figura se aprecia una brecha hidrotermal con presencia de cristales de cuarzo (marco rojo) y goethita.



**Figura 48.-** En la Figura se aprecia un nivel estratigráfico de limolita, en contacto con un nivel de arenisca; este control es importante en el desarrollo de niveles mineralizados.



**Figura 49.-** En la imagen se observa un nivel mineralizado, nótese como las estructuras mineralizan estratos sedimentarios permeables.

#### **3.6. 4 Alteración Hidrotermal**

Para determinar las alteraciones que generaron los fluidos hidrotermales, en las rocas sedimentarias y rocas intrusivas, se usaron descripciones de campo, secciones delgadas-pulidas y Terraspec.

En las rocas intrusivas, se reconocen minerales de alteración como caolín, esmética y sericita además de venillas de sílice.

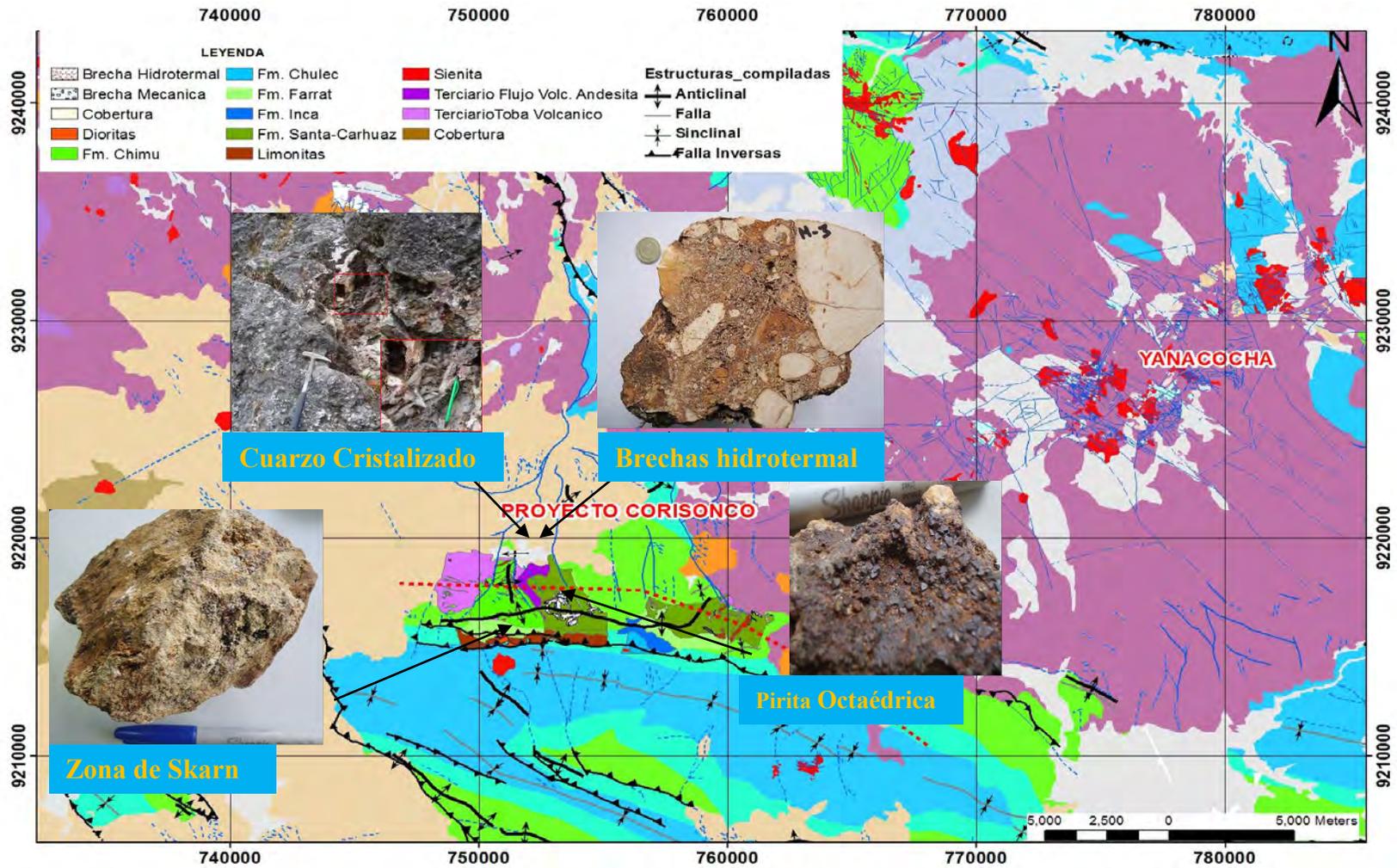
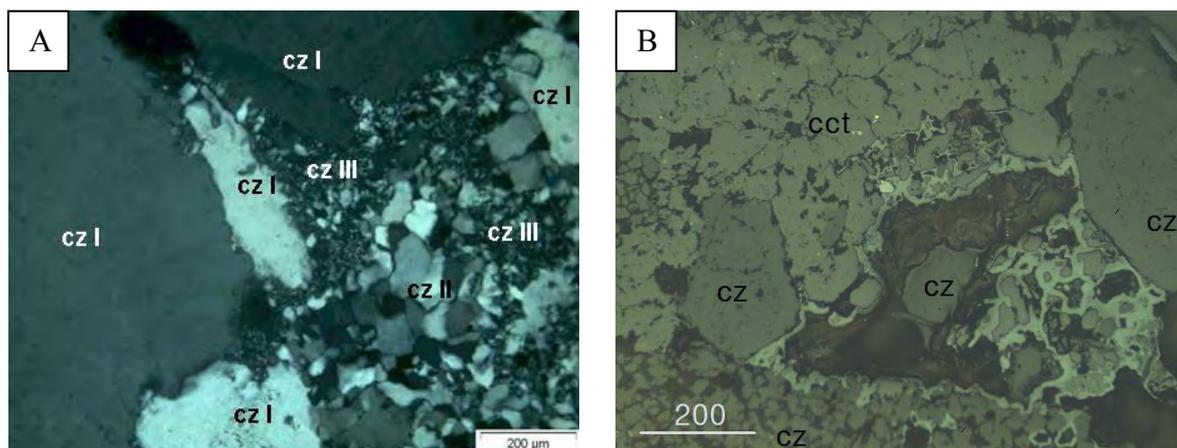


Figura 50.- En la Figura se muestran la ubicación de algunas de las zonas de interés presentes en el proyecto.

En las areniscas, se observó minerales de alteración hidrotermal en intersticios de la las areniscas que fueron reconocidos y confirmados en secciones delgadas, pulidas y con Terraspec. En las secciones delgadas y pulidas, se determinaron sílice Calcedonia, cristales de cuarzo hialino, agregados granulares de cuarzo (Figura 51 A) (Estudio de inclusiones fluidas determinó temperaturas de 280°-350C), los cuales dieron indicios del grado de alteración, en algunos casos se pudo diferenciar grados de metamorfismo (Figura 51 B). En el capítulo 4.1.3 se tratara con más detalle el sistema de alteración.



**Figura 51.-** Fotomicrografías A) Cristales de cuarzo I, agregados granulares de cuarzo II y agregado microgranular de cuarzo III. B) Fragmentos, de variado tamaño de la arenisca (cz) en transición a cuarcita (cct) que se diferencia de la primera porque los bordes intergranulares casi no se notan. Cavidad rellena de limonitas de aspecto coloforme.

## **CAPITULO IV ANALISIS EN LABORATORIO Y GABINETE**

### **4.1 Métodos Analíticos Usados**

#### **4.1. 1 Geoquímica**

##### **Caracterización geoquímica**

Se recolectaron 2159 muestras, por distintos métodos, para el análisis geoquímico (582 por el método de canales, 996 por el método de rock chip y 581 por el método selectivo). Los análisis se realizaron por espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo (ICP), el resultado evidencio zonas anómalas en contenido de Au, Ag, Mo, Bi, Cu, Hg, Cd. Para la caracterización geológica del proyecto solo se tomará en cuenta a Au, Ag y Mo.

En el proyecto Corisonco, el contorneo geoquímico de las zonas anómalas en contenido de oro y plata están en rocas sedimentarias de la Formación Chimú y los volcánicos Llama.

Los valores más altos (mayores a 0.5gr/tn Au) se encuentran asociados a las fallas de dirección Norte Sur, a brechas hidrotermales y a geodas de cuarzo-óxidos (Figura 52).

En la Figura 53, se muestra el contorno de los valores de plata, se observa buena correlación con los valores de oro (Revisar Tabla 5).

En la Figura 54, según el contorneo de los valores de molibdeno, se observa que la mayor anomalía se ubica en el sector Sur, en los intrusivos de composición dacíticos con venillas de sílice magnetita, y en el sector Oeste, en las areniscas de la Formación Chimú en contacto con los volcánicos Llama. La presencia de anomalías de los valores altos de molibdeno, los contornos de Terraspec e inclusiones fluidas, permitió evidenciar la existencia de un sistema de pórfidos.

Es importante reconocer la presencia del manganeso, debido a que este elemento permite la reducción de iones en los fluidos hidrotermales, haciendo que precipiten en las partes superiores y a los bordes de sistemas tipo Pórfidos. En el proyecto, el manganeso se presenta en forma de pirolusita en los bordes del dique de composición andesítica (Figura 55).

Es importante resaltar que la distribución del manganeso en el área de estudio presentan la misma distribución que el molibdeno en la Figura 56 se muestran en rojo los valores mayores a 200gr/tn Mn.

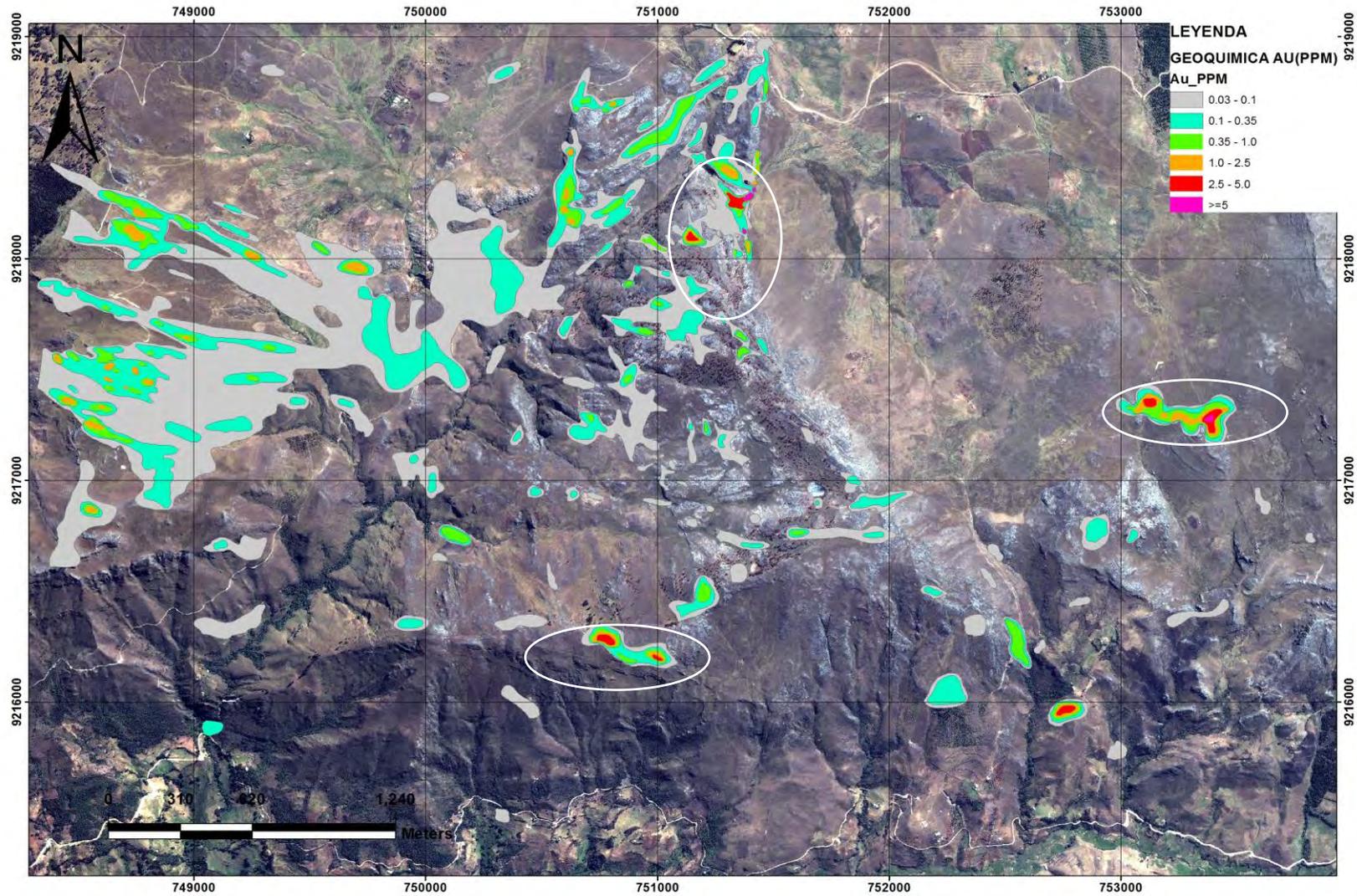


Figura 52.- Proyecto Corisongo. En elipses blancas se muestran las leyes más altas de oro.

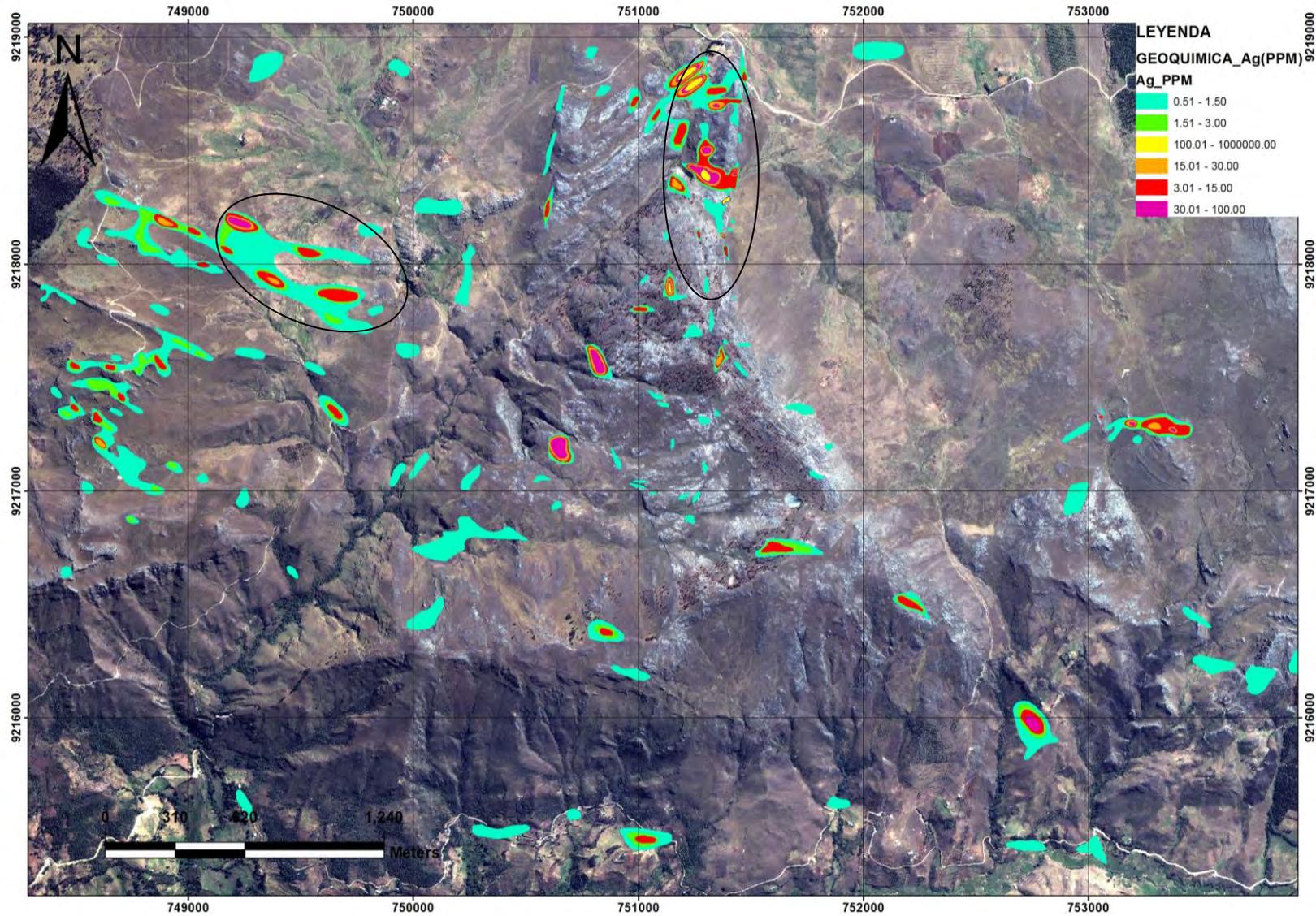


Figura 53.- Proyecto Corisonco. En elipse negra se muestran las leyes más altas de plata.

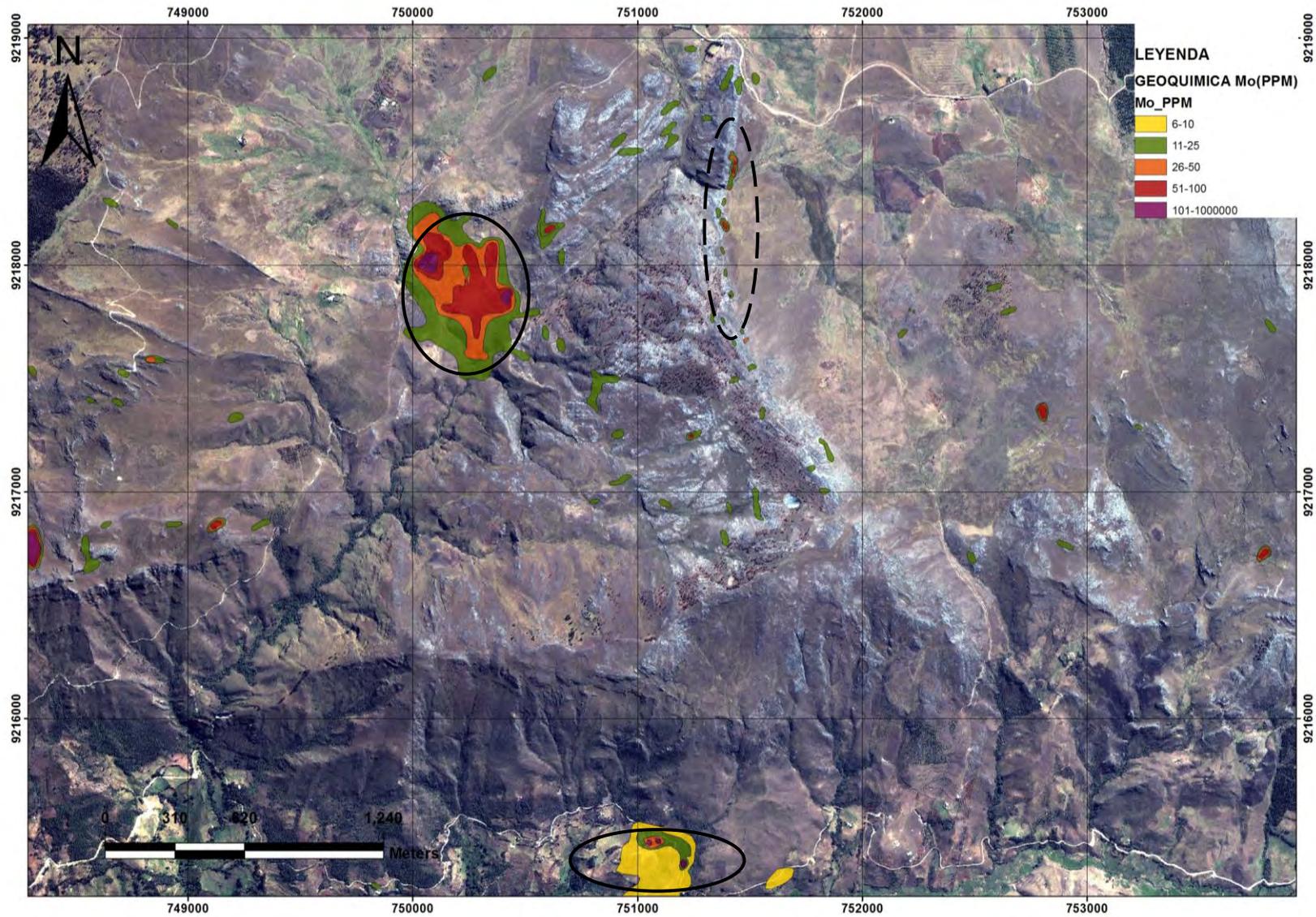
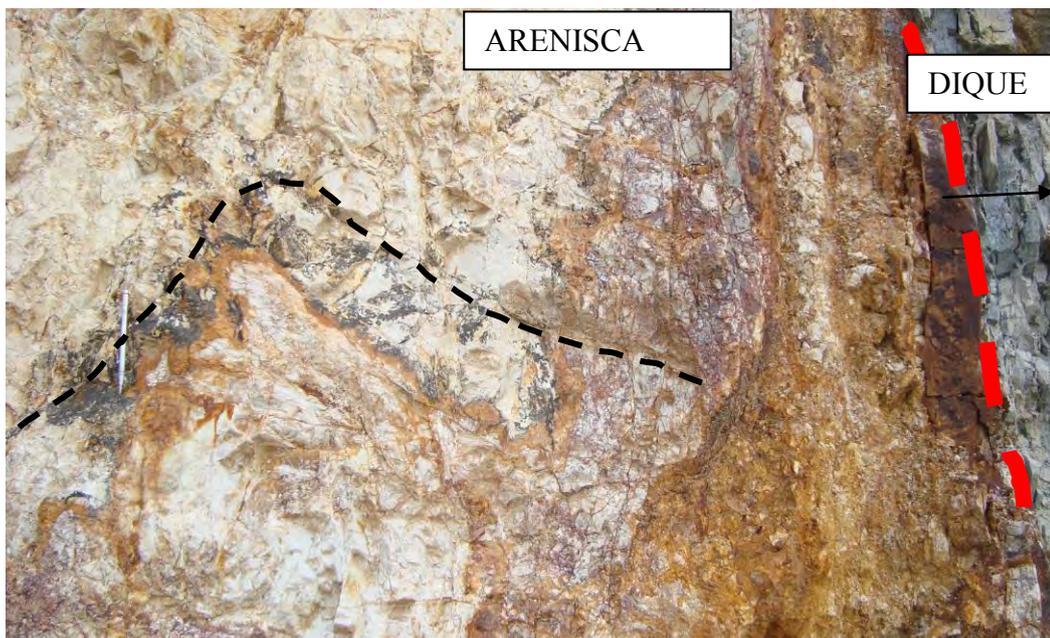
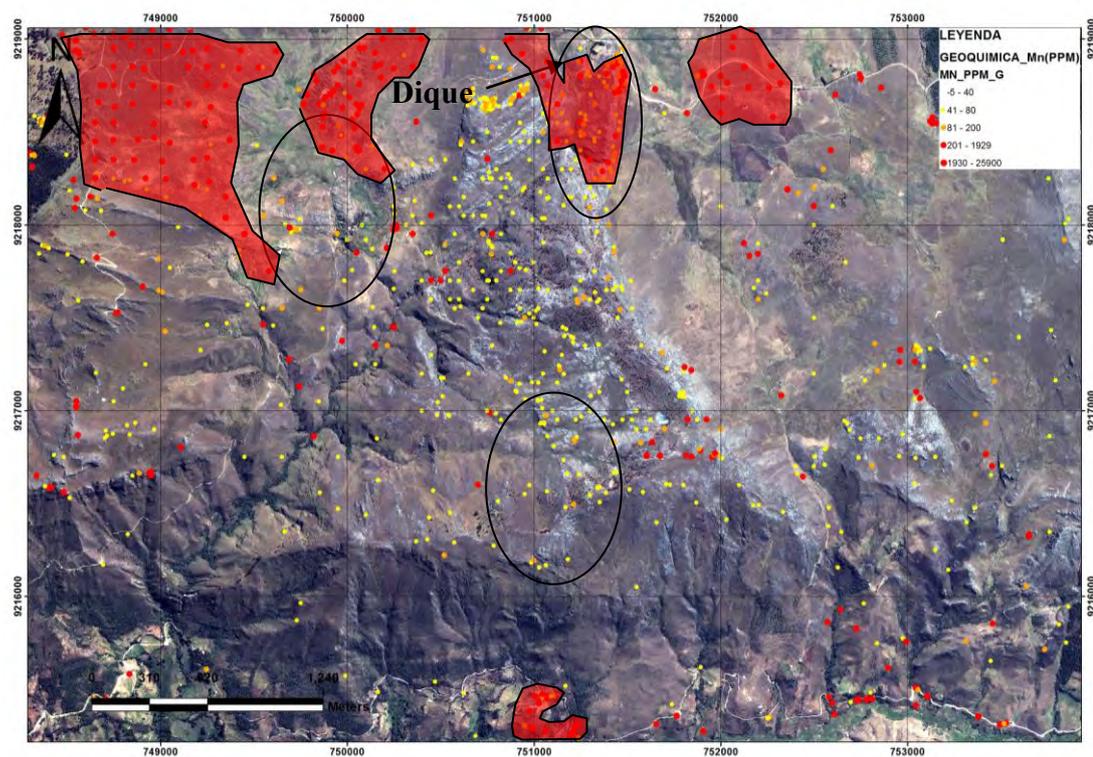


Figura 54.- Proyecto Corisconco. En elipse negra se muestran las leyes más altas de molibdeno.

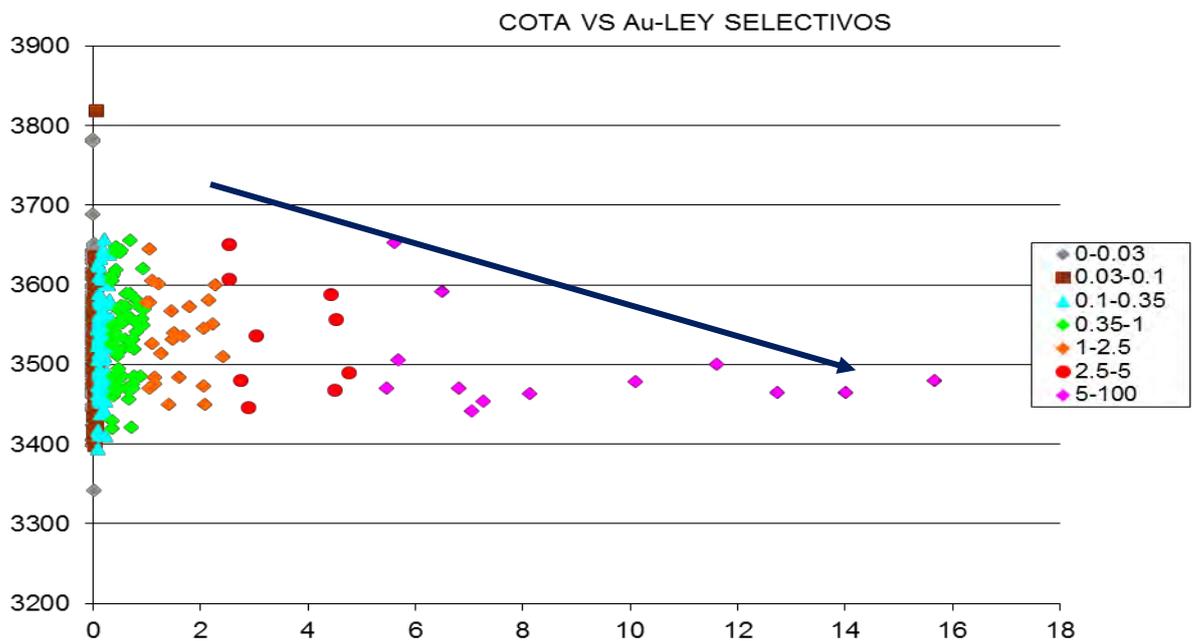


**Figura 55.-** Proyecto Corisonco. Roca caja areniscas. En líneas rojas, dique de andesita y en líneas negras pirolusita. Nótese que la pirolusita se encuentra en una fractura.



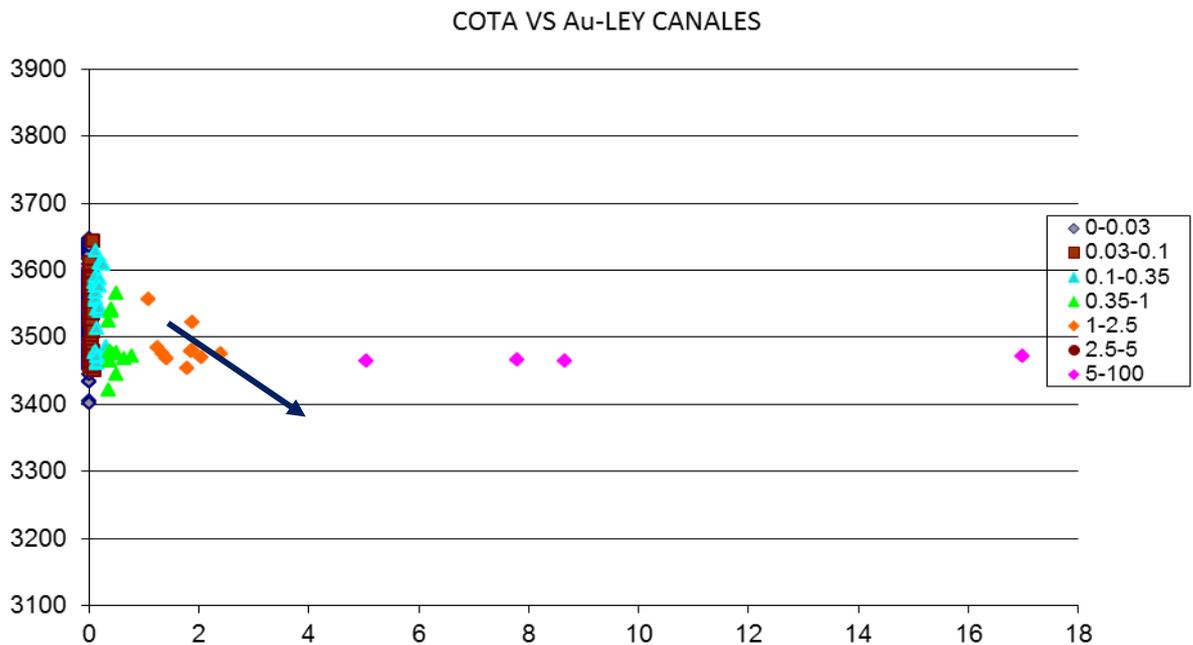
**Figura 56.-** Proyecto Corisonco. Distribución del manganeso en el área de estudio.

Con los resultados del muestro geoquímico, se realizó diagramas donde se muestra las leyes en el eje X y en el eje Y las cota de la muestra, estos diagramas han sido separados en base al tipo de muestreo realizado, en este caso es para muestras tomadas en forma selectivas; se puede reconocer un nivel importante entre los 3400 a 3500msnm, donde se presentan las mejores anomalías de mineralización (Figura 57).



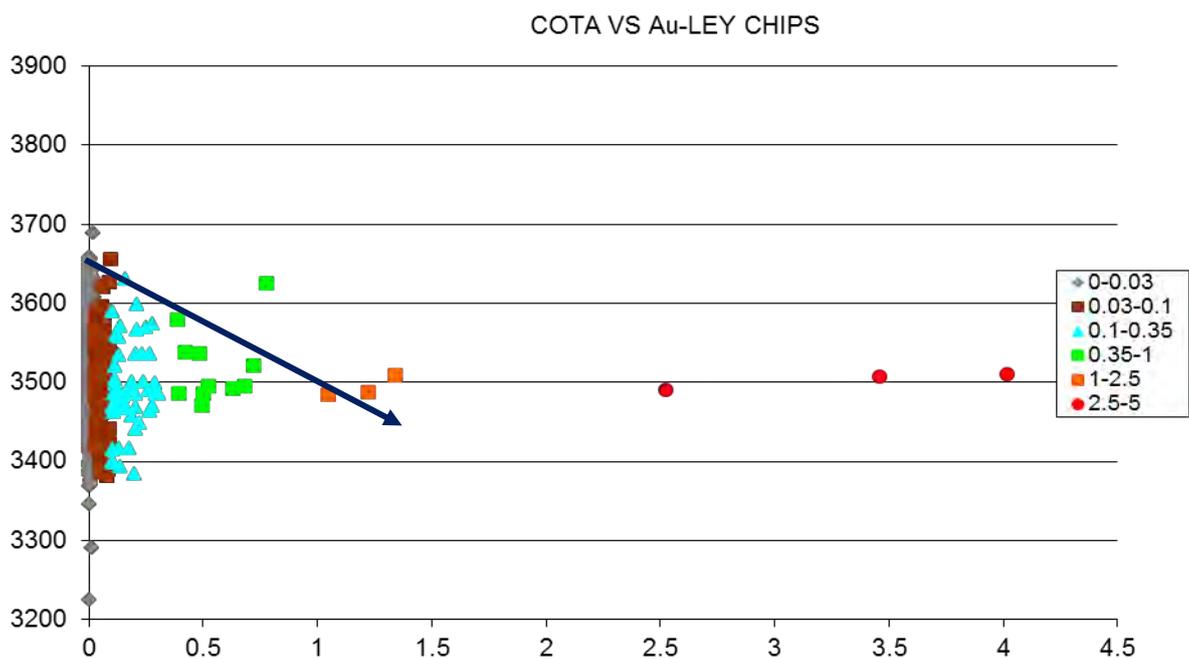
**Figura 57.-** Leyes de muestreo selectivos en oro versus la altitud. Se observa que las mejores leyes están entre la cota 3400 y 3500msnm.

La Figura 58, corresponde a las muestras recolectadas por el método de canales. Obsérvese un nivel con valores más altos alrededor de los 3500msnm.



**Figura 58.-** En esta Figura se muestra las leyes de oro, provenientes de un muestreo por canales versus la altitud. Se observa que las mejores leyes están entre la cota 3400 y 3500msnm.

La Figura 59, corresponde a las muestras recolectadas por el método de rock chip obsérvese un nivel con valores más altos alrededor de los 3500msnm.



**Figura 59.-** En esta Figura se muestra las leyes de muestreo de chips en oro versus la cota o altitud. En la Figura se observa que las mejores leyes están entre la cota 3400 y 3500msnm.

#### **4.1. 2 Geofísica**

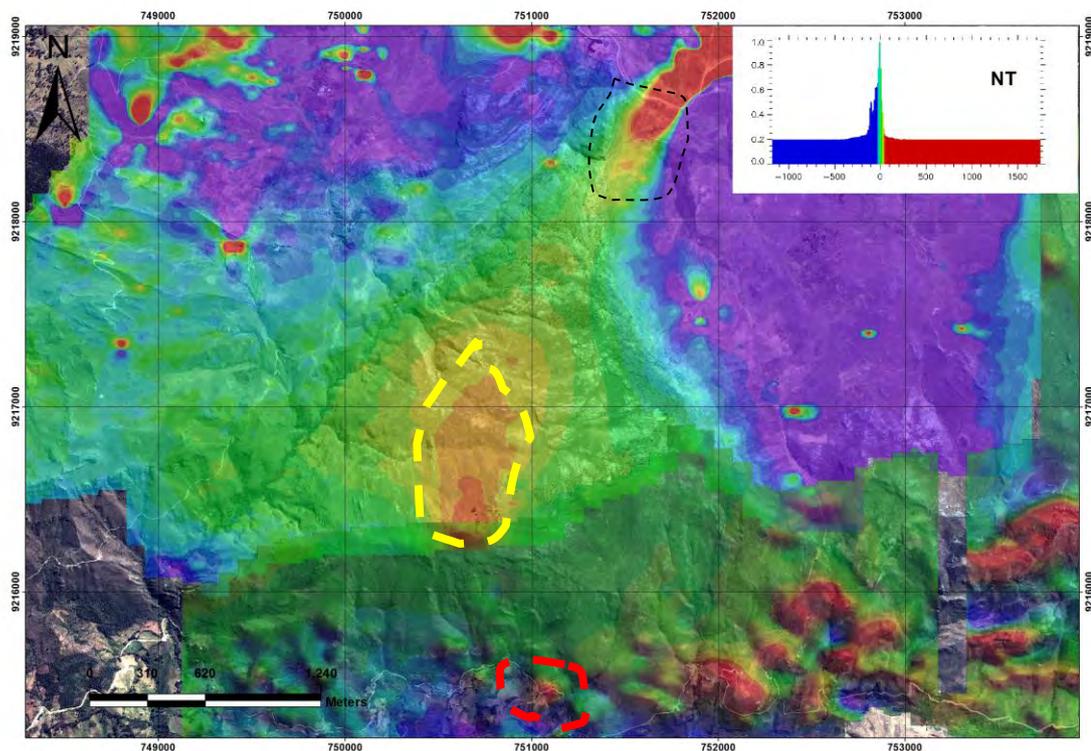
Los métodos geofísicos se usan en la exploración, para la caracterización y delimitación de sistemas hidrotermales y sistemas de tipo pórfidos.

En el proyecto Corisonco se ha realizado estudio geofísico por el método de magnetometría, Inducción Polarizada (Cargabilidad, Resistividad).

#### **Magnetometría**

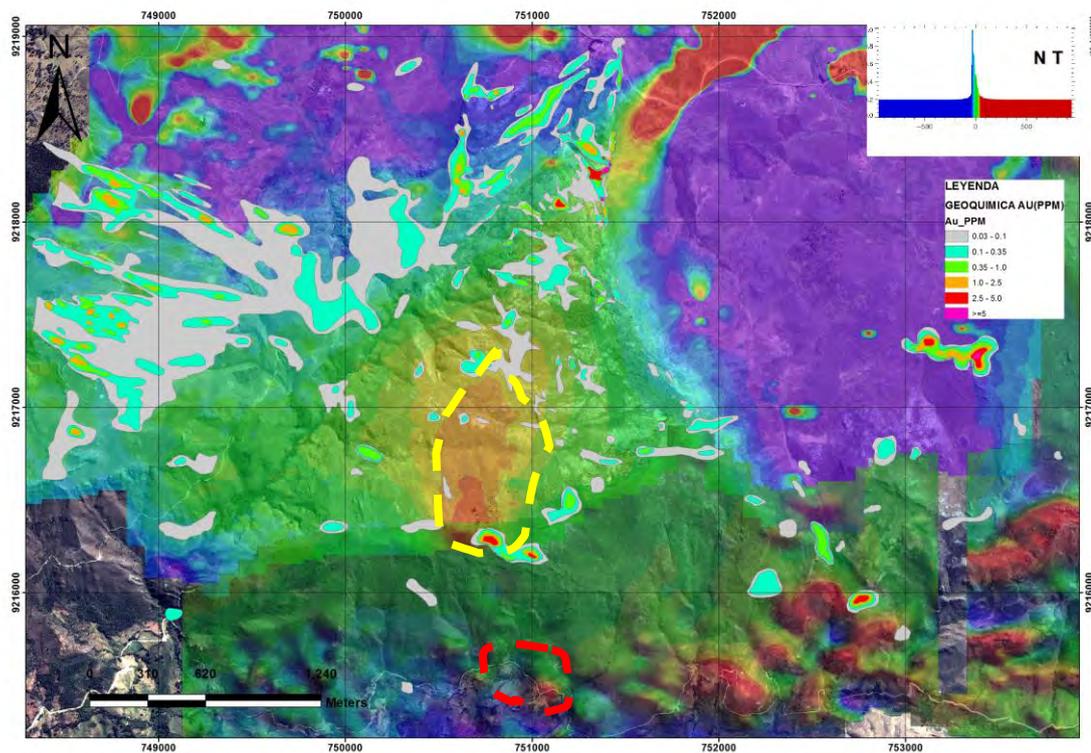
En el proyecto Corisonco se realizó el estudio de magnetometría con la finalidad de encontrar cuerpos intrusivos, este método permite medir el campo magnético total.

En la Figura 60 se muestra el plano geofísico de magnetometría, en la parte Norte y Sur del proyecto, se observa fuerte anomalía sobre los 100NT, sobre el intrusivo con venillas de magnetita (línea segmentada roja).



**Figura 60.-** En la Figura se muestra que existen anomalías magnéticas (mayores a 100NT) en los bordes de las areniscas de la Formación Chimú.

Con la información geofísica de magnetometría y la información geoquímica, se realizó un mapa mostrando las leyes de oro sobre el plano de magnetometría (Figura 61), lográndose identificar que las leyes de oro bordean las anomalías altas de magnetometría que estaría indicando que la fuente que origino la mineralización sea probablemente del sistema pórfido.



**Figura 61.-** En el mapa se observa el plano de anomalías magnéticas, sobre impuesta los contornos geoquímicos de las leyes de oro.

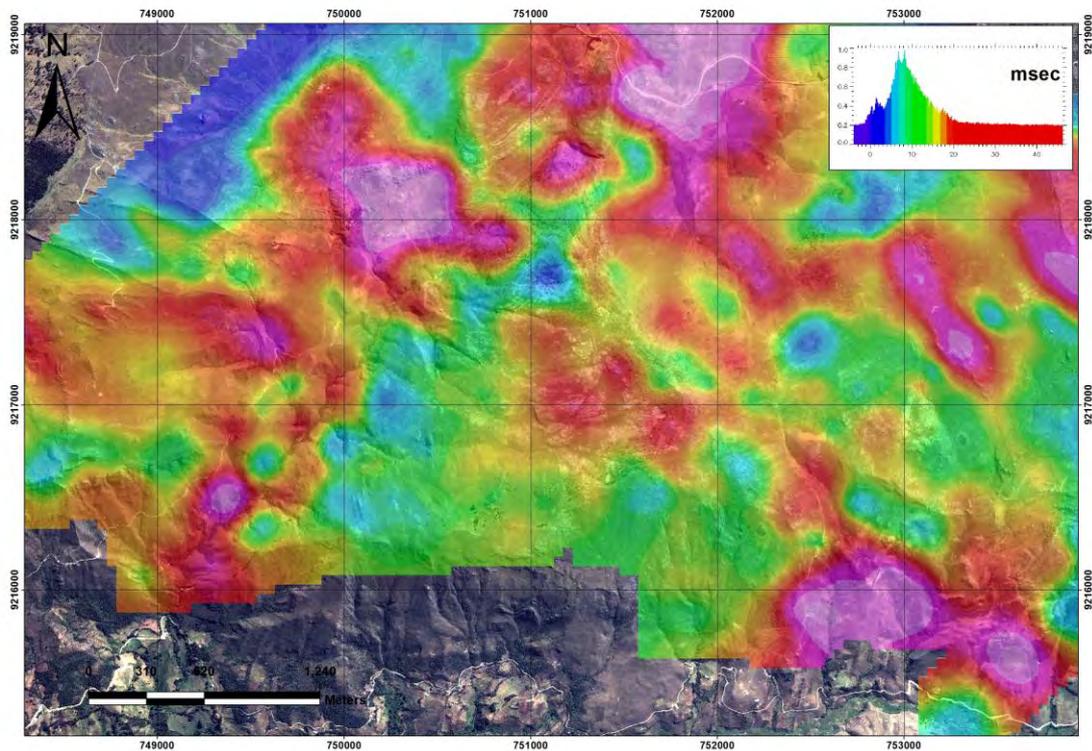
### Cargabilidad

El método geofísico de cargabilidad está orientado en obtener información del subsuelo y cuantificar como los materiales retienen las cargas eléctricas.

Los sulfuros diseminados que caracterizan a los pórfidos cupríferos producen respuestas muy buenas de polarización inducida.

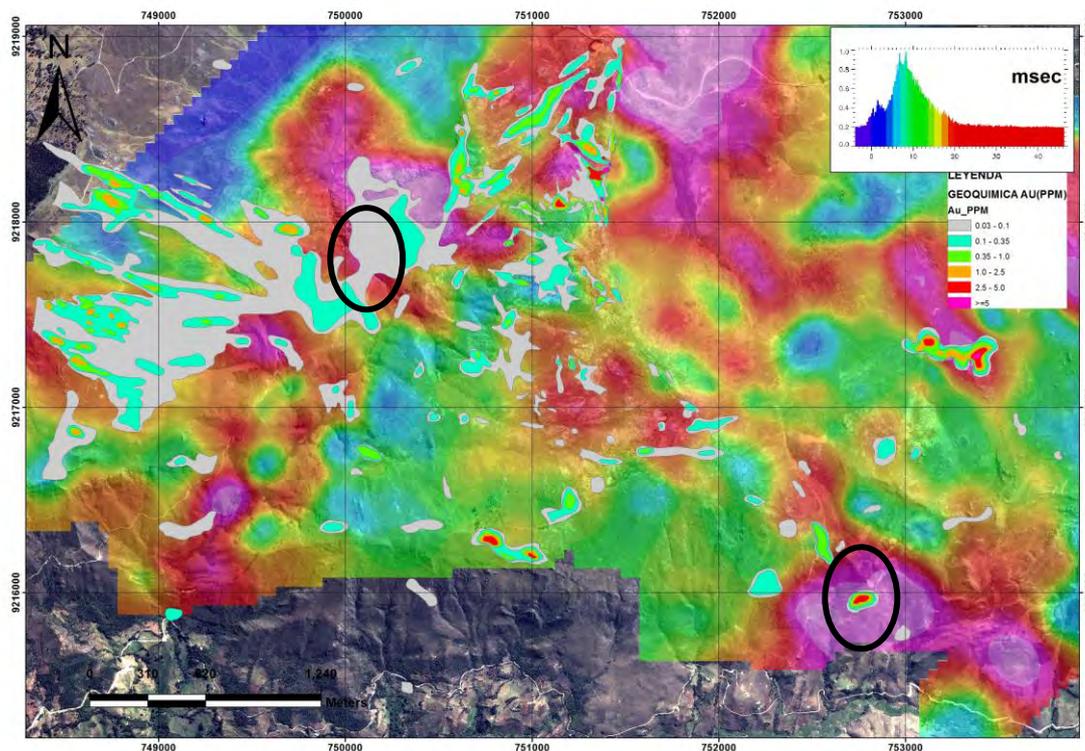
Usualmente no discrimina entre distintos sulfuros (Ej. La pirita diseminada produce una marcada anomalía de IP).

En la Figura 62 se observa que la alta cargabilidad se encuentra a los bordes de la arenisca.



**Figura 62.-** Mapa de cargabilidad, se observa que la alta cargabilidad (>20ms) se encuentra al borde de las areniscas.

Con la información geofísica de cargabilidad y los resultados geoquímicos de las leyes de oro, se realizó un mapa en el cual se pudo notar que existían anomalías de oro asociadas a la cargabilidad altas, sobre los 20mseg, ello podría indicar un cuerpo intrusivo con presencia de sulfuros (Figura 63).



**Figura 63.-** En el mapa se puede observar anomalías de oro en las zonas con alta cargabilidad, elipses negras.

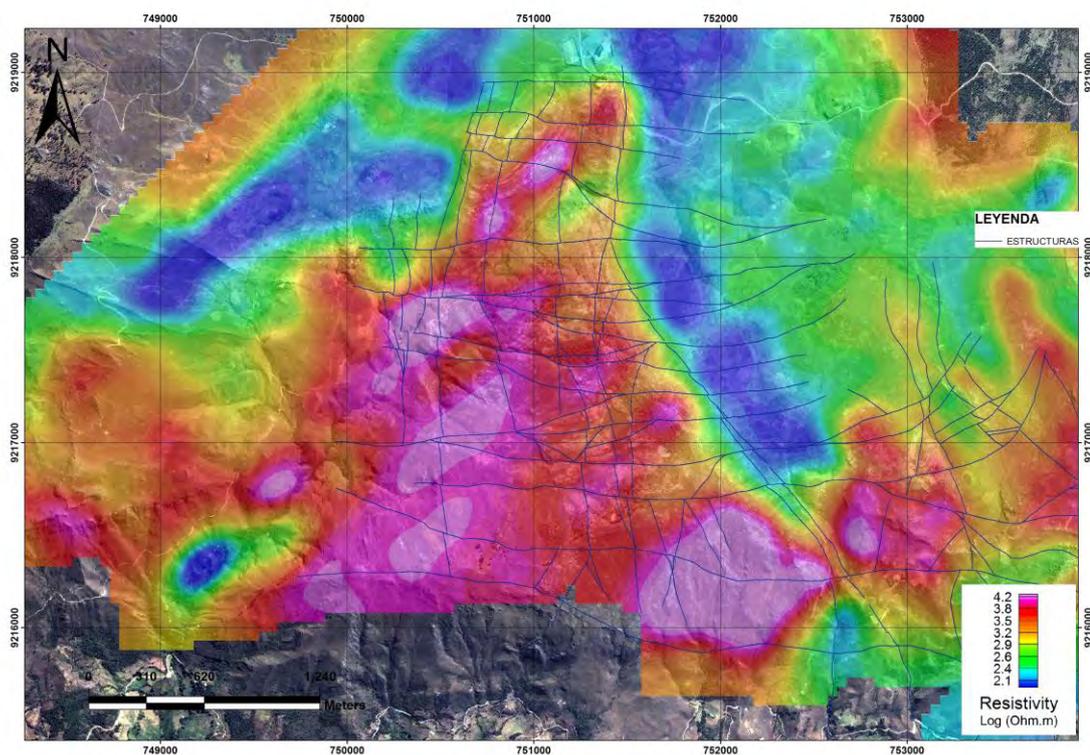
### Resistividad

La medida de resistividad aparente es una de las técnicas más antiguas de prospección geofísica.

Se obtiene mediante la inyección de corriente en el suelo con dos electrodos y la medición de la tensión en otros dos electrodos.

Se pueden usar varias configuraciones de electrodos y es posible calcular la resistividad aparente del subsuelo a varias profundidades y los datos pueden ser utilizados para generar una sección transversal de la resistividad verdadera.

Este método fue utilizado para interpretar la continuidad de las rocas sedimentarias que afloran en el proyecto Corisonco como las areniscas y cuarcitas, este método muestra claramente el borde de las areniscas con las rocas volcánicas en la zona de estudio ( $> 4 \text{ ohm.m}$ )(Figura 64).



**Figura 64.-** En el mapa se muestra la resistividad, se observa que la resistividad alta se encuentra en las areniscas.

### 4.1.3 Terraspec

El Terraspec, es un equipo de difracción de rayos X, que se utiliza para identificar arcillas en las rocas, incluyendo el espectro visible para identificación de óxidos de hierro (Rangos de análisis Figura 80).

Los minerales presentes en la zona de estudio, como caolín y otras arcillas que se encuentran en intersticios de las areniscas y cuarcitas, en cantidades no perceptibles por el ojo humano, a excepción de algunos minerales como la dickita que se presenta asociados a sílice calcedónico (Figura 65).



**Figura 65.-** En la fotografía se observa sílice calcedónica, además de la dickita (marco rojo).

De un total de 907 muestras analizadas se obtuvieron 708 resultados con el terraspec (Tabla 9). El uso del Terraspec ayudo a diferenciar tipos de arcillas

pudiendo reconocer en ellas minerales como diásporo, pirofilita, dickita, zunyita, muscovita.

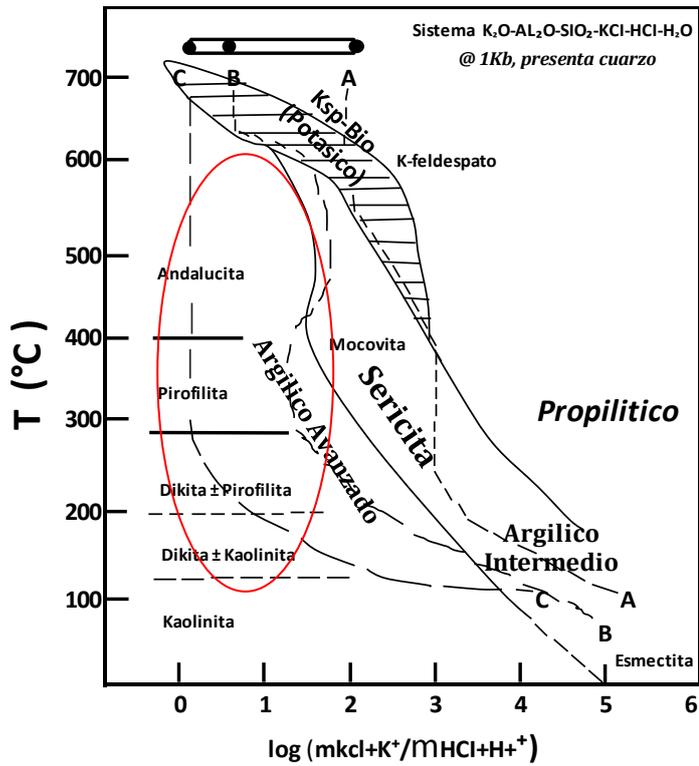
Todos estos análisis han podido determinar el tipo de alteración en la zona de estudio, estos datos ayudan a obtener una idea de la temperatura alcanzada durante la actividad hidrotermal y de cuantos eventos de alteración se pudieron presentar. Existen estudios realizados por Seedorff y G Corbett & T Leach, que clasifican al proyecto en base a los minerales de alteración hidrotermal, los mismos que se muestran en las Figuras 67 y 68.

En la Figura 66 se lista los principales minerales de alteración reconocidos.

Mineral	Temperatura	Potencial Hidrogeno
Diaspora (Dp)	400-300°C	PH<2
Pirofilita (Pyr)	400-300°C	PH<2
Zunyita (Zun)	250°C	PH<2
Dikita (Dik)	300-200°C	PH<2
Muscovita (Mus)-Sericita	400-300°C	PH>2
Illita (I)	300-200°C	PH>3

**Figura 66.-** Se muestra los principales minerales de alteración hidrotermal, encontrados en el proyecto. Tener en cuenta que no se ha considerado la sílice, debido a que la roca caja es arenisca.

La existencia de minerales como sericita, zunyita, diásporo, pirofilita y la poca presencia de sílice residual o calcedónica, indicarían que la zona de estudio representa la raíz de un sistema de alta sulfuración erosionado.



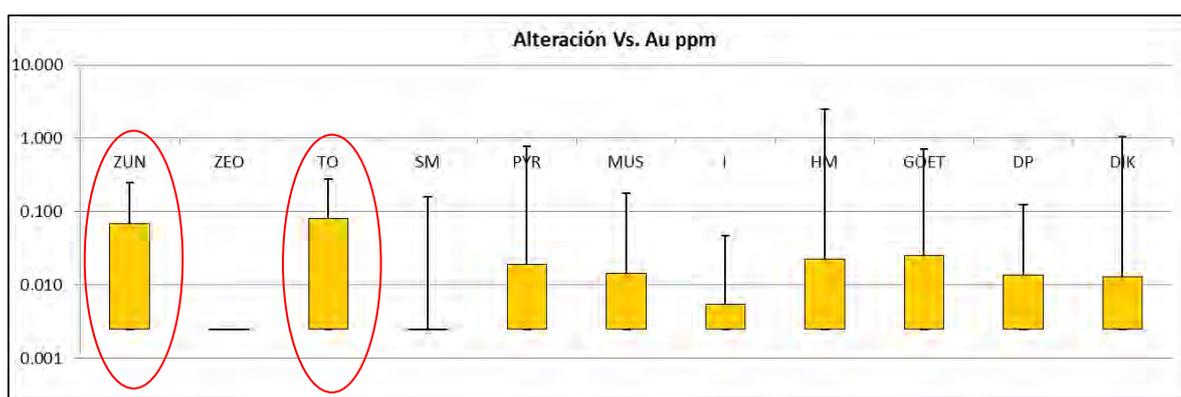
**Figura 67.-** Se muestra un cuadro de estabilidad hidrotermal, mineral para depósitos tipo pórfido. Nótese que la alteración presente es argilica avanzada (Seedorff et al., 2005).

Fluido ácido		INCREMENTO Ph					Neutro a alcalino			
INCREMENTO DE TEMPERATURA	Op Cr Tn Silice	Al Op Cr Tn	Al, Hal Silice Al, K Silice	Hal Silice K Silice	Hal, Sm Silice K, Sm Silice ± Sid	Sm Silice	Ch.Sm/Ch Silice Cb	Ch.Sm/Ch Silice Zeo Ct/Do	Chab Nat	Epi termal
	Q	Al	Al K Q	K Q	K, Sm Q ± Sid	Sm, Cb Q/Chd	Ch/Ch-Sm Sm, Q/Chd Cb	Ch/Ch-Sm Q/Chd	Stb, Heu, Mor, Chab Nat	
					K, I-Sm Q ± Sid	I-Sm	Zeo Ct/Do	Zeolites		
					K, Dik I/I - Sm Q ± Sid	Q/Chd Ct	I-Sm Q/Chd	Ch, Q/Chd Ad/Ab Ct/Do	Lau	
					Dik Q ± Dp	Dik, I Q ± Sid	Ch, I Ab/Ad Q, Cb	Wai		
	Q ± Dp	Al Dik Q ± Dp	Al Dik Q ± Dp	Dik Q ± Dp	Dik Pyr Ser, q	Ser Q Cb	Ser Fsp Q, Ch Cb	Ch, Q, Ep Ad, Ab, , Ct/ Do		
	And, Al, Q	And, Al, Pyr, Q	And. Mica, Q And, Mica, Cor Q	Mica, Q ± Cb	Mica Fsp	Bio, Act Fsp, Q	Cpx, Q Ct / Do			
								no-disociación		
	Grupo Silice	Grupo Alunita	Grupo Al-K	Grupo kaolin	Grupo I-K	Grupo Illita	Grupo Clorita			

Alb-Albita; Act Actinolita, Ad-Adularia, Al-Alunita, And-Andalucita, Bio-Biotita, Cb-Carbonato, Ch-Clorita, Chab-Chabazita, Chd Calcedonica, Ch-Sm-Clorita-Esmectita, Cor-Corindon, Cpx-Clinopiroxeno, Cr-Cristobalita, Ct-Calcita, Do-Dolomita, Dik-Dickita, Dp-Diaspora, Ep-Epidota, Fsp-Feldespató, Ga-Gamet, Hal-Halloysita, Heu-Heulandita, I-Illita, Sm-Illita-Esmectita, K-Kaolinita, Lau-Laumonita, Mt-magnetita, Mor-Mordenita, Nat-Natrolita, Op-Opalina, Pyr-Pirofilita, Q-Cuarzo, Ser-Sericita, Sid-Siderita, Sm-Esmectita, Stb-Stilbita, Tr-Tremolita, Tri-Tridimita, Ves-Vesuvianita, Wai-Wairakita, Wo-Wollastonita, Zeo-Zeolita.

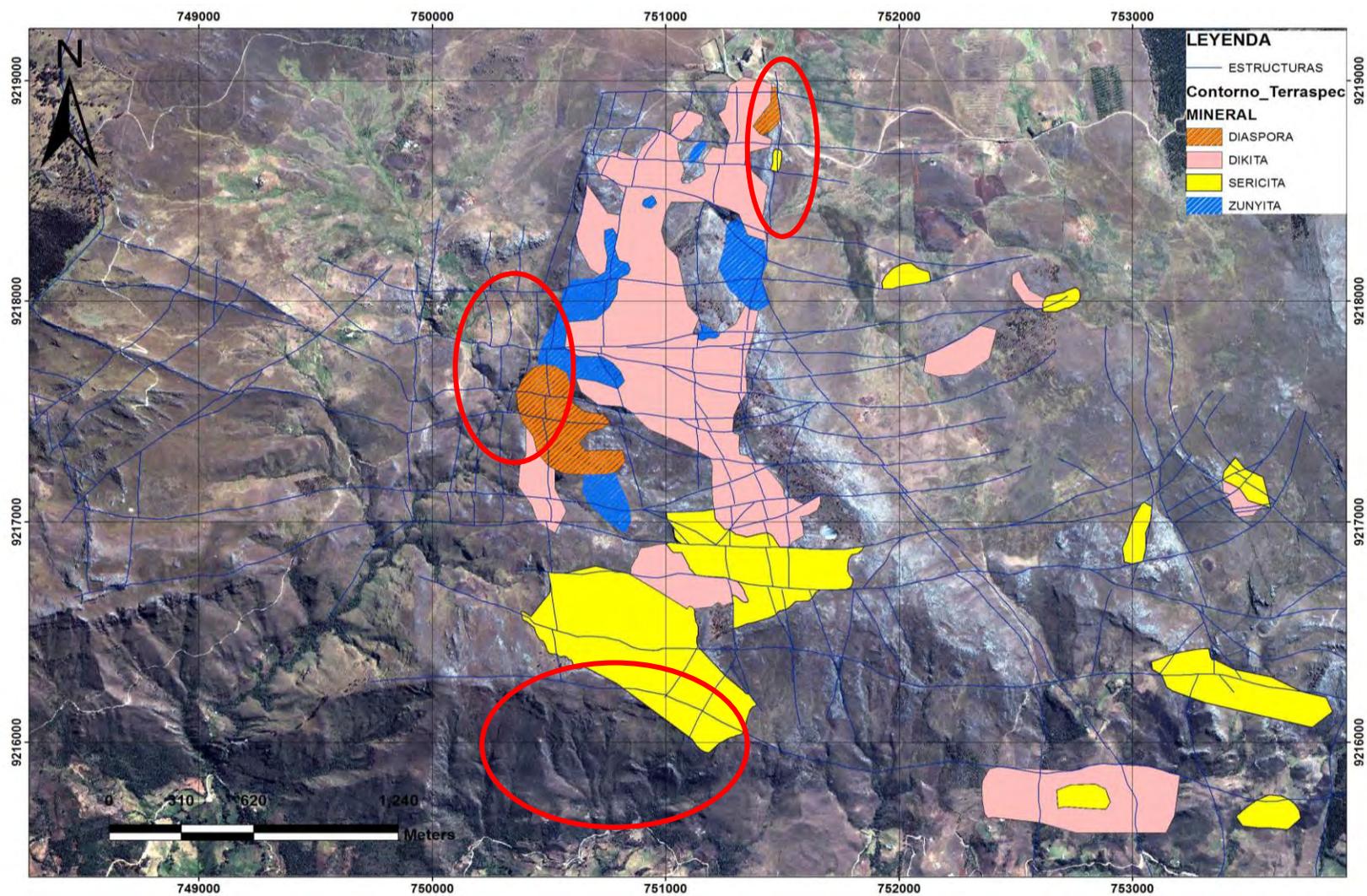
**Figura 68.** – Según clasificación de G Corbett & T Leach, 97 Edn (Common Alteration Mineralogy in Hidrothermal Systems), se reconoce los minerales presentes en la zona en una elipse roja.

Se realizó una interpretación con los tipos de alteración y leyes de oro, los minerales de alteración de argilica avanzada son característicos de la alteración argilica avanzada: zunyita, muscovita, pirofilita y diásporo. En la Figura 69 se observa que la mineralización del proyecto Corisonco está asociada con la zona de alteración predominante de zunyita (Zun) y topacio (To). Esta sería una guía de exploración en los alrededores del proyecto. Se puede apreciar que las mayores leyes se presentan con los óxidos de Hematita.

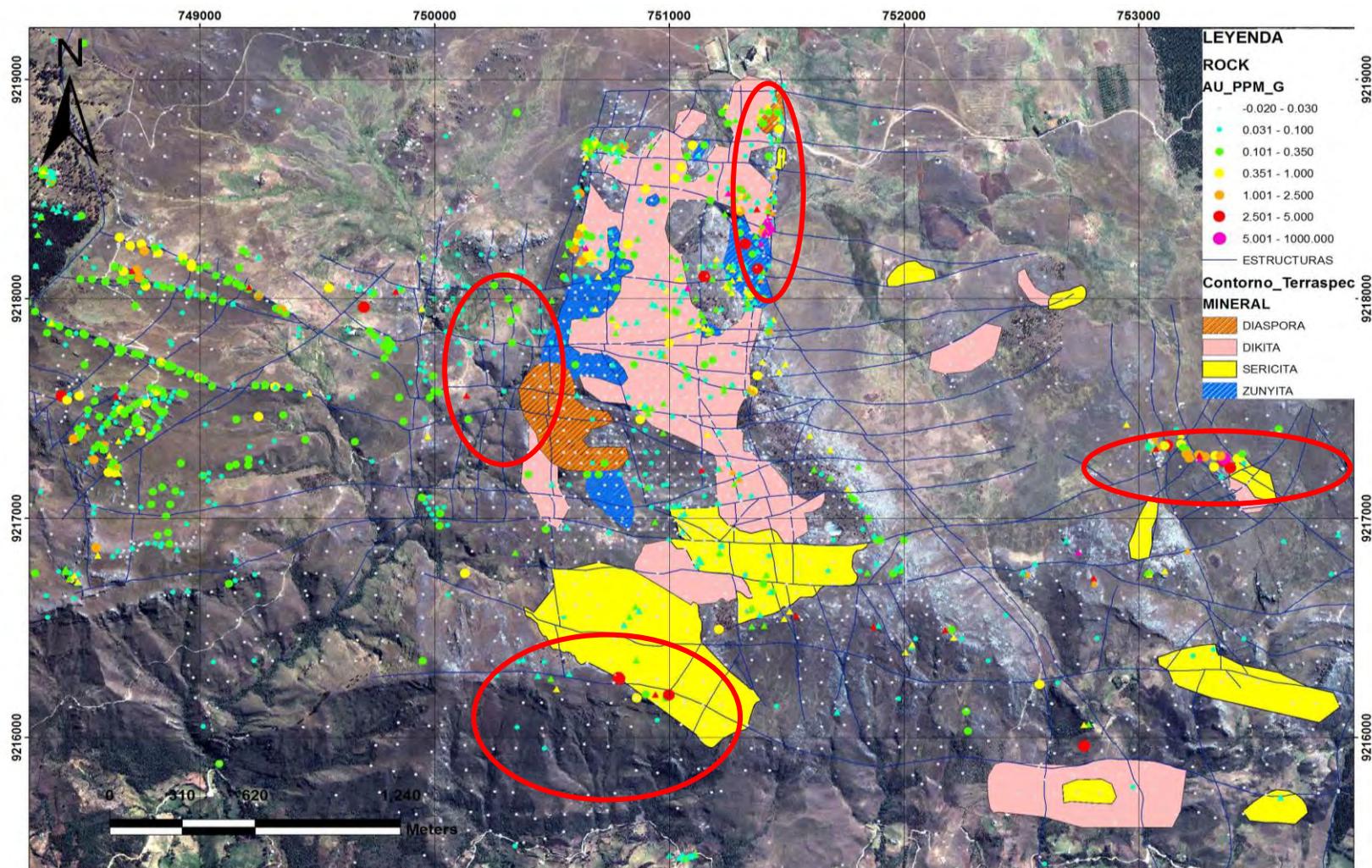


**Figura 69.-** Se observa la mineralización del proyecto Corisonco está asociada a los minerales de alteración hidrotermal zunyita (Zun) y topacio (TO)(Box Plot).

En base a esta información, se realizó un mapa mostrando un contorno de alteración en base a los elementos encontrados (Figura 70), nótese las elipses en rojo muestran las zonas que indicarían proximidad a zonas de altas temperatura (véase Figura 66). En la Figura 71 se muestra, las leyes de oro versus la de los minerales de alteración reconocidos por el terraspec.



**Figura 70.-** Se muestra las zonas con los principales minerales de alteración, reconocidos por Terraspec. Nótese las elipses en rojo, que indicarían proximidad a zonas de altas temperatura.



**Figura 71.-** Se muestra el plano de alteración versus leyes de oro. En elipses rojas se marca las zonas con minerales de mayor temperatura de formación.

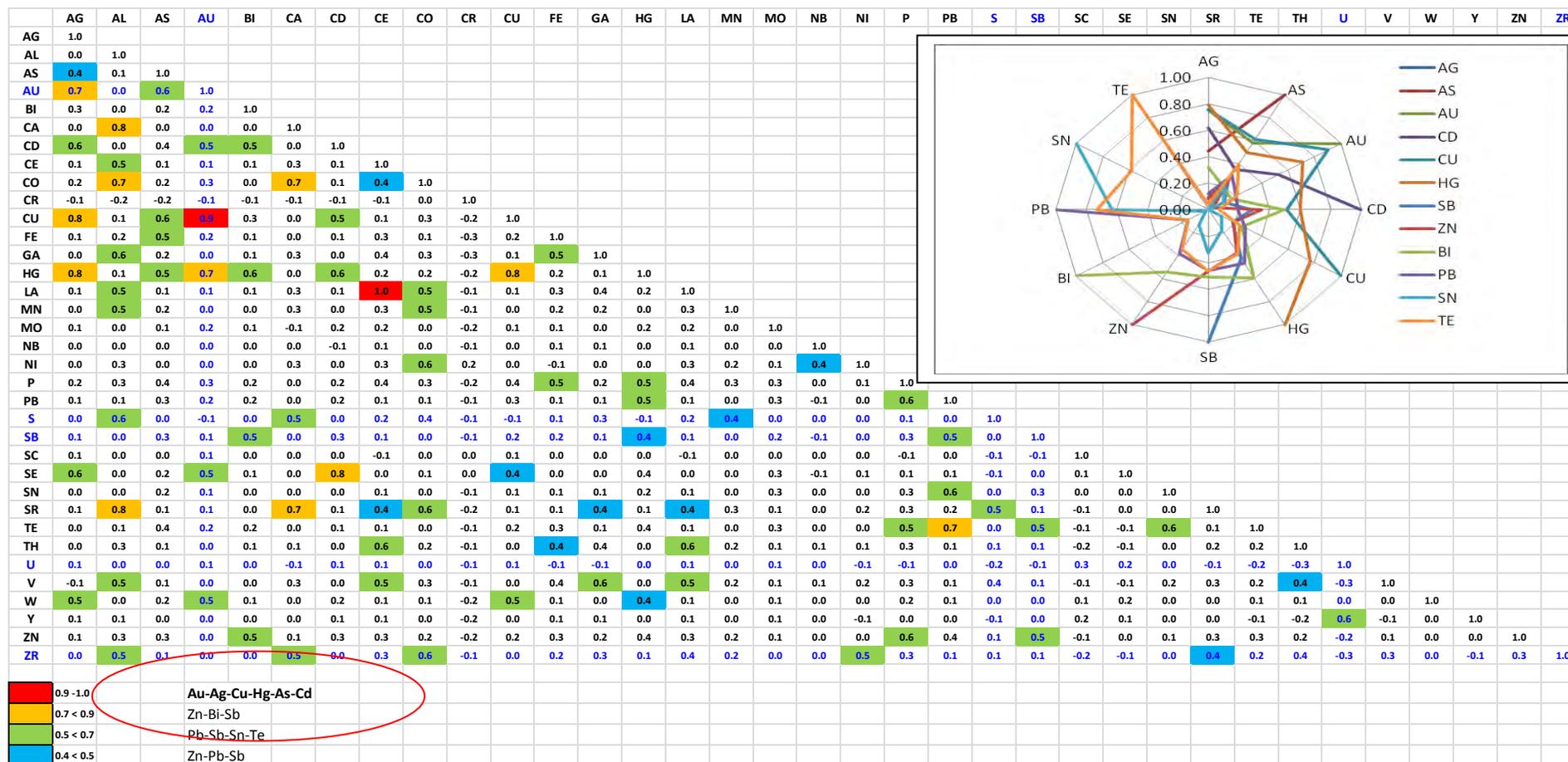
#### 4.1. 4 Coeficientes de Correlación y Paragénesis

El método usado para obtener el resultado geoquímico fue el de ICP; con el uso de esta técnica, se ha podido obtener información de 52 elementos químicos pudiéndose realizar la matriz de correlación de Pearson (Tabla 5).

Con las Tablas de correlación, se han encontrado cuatro eventos de mineralización, destacándose el evento de **Au-Ag-Cu-Hg-As-Cd** como el más importante debido a que cuenta con mayor mineralización de oro en el proyecto Corisonco; otras correlaciones son de **Zn-Bi-Sb**, **Pb-Sb-Sn-Te** y **Zn-Pb-Sb**. Esta interpretación se realizó en base a la buena correlación (mayor a 0.5) que presentan estos elementos.

Las muestras con valores altos y bajos han sido recolectadas en el sector Este del proyecto, dentro de la Formación Chimú, en una zona de fracturación moderada en contacto con los volcánicos Calipuy; el contacto se presenta por una falla de dirección Norte-Sur la cual es normal sinextral.

**Tabla 5.-** Se reconocen, al menos cuatro eventos de mineralización (elipse roja) entre los elementos que tienen correlación mayor a 0.5.



#### 4.1.5 Inclusiones Fluidas

Estos estudios fueron realizados por BISA ingenieros en el año 2012.

Con los análisis realizados se obtuvieron los datos que se compilan en la Tabla 6, obteniéndose las temperatura de homogeneización (Th°C) comprendidos de 275 °C a 325 °C y de 400°C a 450 °C con salinidades de 10% a 20% y 50% a 70% eq. Peso de NaCl.

En la Tabla 6 se observa que las temperaturas de homogeneización (Th°C) están comprendidas entre 180° y 260°C, con salinidades entre 0 a 4% y 5% a 9% equivalente en peso de NaCl.

**Tabla 6.-** Datos Microtermométricos de las muestra parte Sur. (BISA2012)

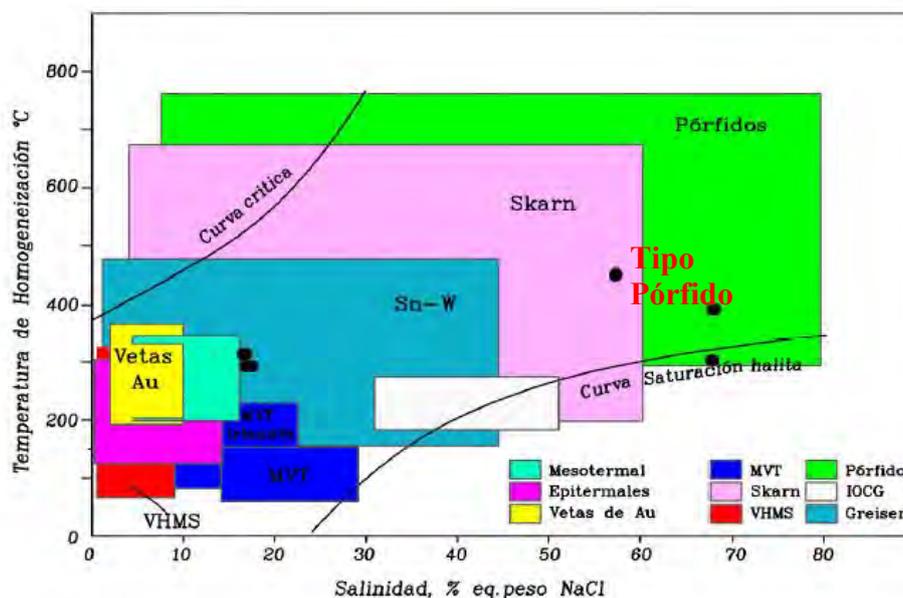
Nº	CLAF.	MIN	TIPO	Øμ	FILL	-Tf (°C)	Ts (halita)	Th (°C)	NaCl (wt%)	ρ(g/cm³)	P (bar)
1	P-Lw	CZ	POL	20.0	0.90		557.30	277.40	67.80	1.0784	42.2
2	P-Lw	CZ	POL	22.0	0.90		557.60	277.80	67.84	1.0783	42.4
1	P-Lw	CZ	POL	18.0	0.90		557.70	278.20	67.86	1.0781	42.7
1	P-Lw	CZ	POL	14.0	0.90		557.90	278.40	67.88	1.0781	42.8
2	P-Lw	CZ	POL	16.0	0.90		558.10	278.70	67.91	1.0780	43.0
3	P-Lw	CZ	POL	12.0	0.90		558.30	278.90	67.94	1.0779	43.1
1	P-Lw	CZ	BIF	8.0	0.90	12.90		291.70	16.80	1.0741	51.7
2	P-Lw	CZ	BIF	6.0	0.90	13.10		291.90	16.99	1.0740	51.9
3	P-Lw	CZ	BIF	10.0	0.90	13.40		292.30	17.26	1.0739	52.2
4	P-Lw	CZ	BIF	6.0	0.90	13.70		292.50	17.52	1.0739	52.3
1	P-Lw	CZ	BIF	10.0	0.90	12.60		312.70	16.53	1.0699	68.5
2	P-Lw	CZ	BIF	12.0	0.90	12.80		312.80	16.71	1.0699	68.6
3	P-Lw	CZ	BIF	10.0	0.90	13.00		313.00	16.89	1.0698	68.8
1	P-Lw	CBs	POL	20.0	0.90		481.30	450.30	57.26	1.1139	248.9
2	P-Lw	CBs	POL	22.0	0.90		481.70	450.80	57.31	1.1143	249.7
3	P-Lw	CBs	POL	18.0	0.90		481.90	450.90	57.34	1.1144	249.8
4	P-Lw	CBs	POL	20.0	0.90		482.30	451.20	57.39	1.1146	250.3
5	P-Lw	CBs	POL	16.0	0.90		482.50	451.80	57.42	1.1151	251.2
1	P-Lw	CBs	POL	8.0	0.90		557.90	391.80	67.88	1.0799	160.4
2	P-Lw	CBs	POL	8.0	0.90		558.30	392.10	67.94	1.0800	160.8
3	P-Lw	CBs	POL	6.0	0.90		559.10	392.40	68.06	1.0801	161.2

**Tabla 7.-** Datos Microtermométricos de las muestras parte Norte (BISA 2012).

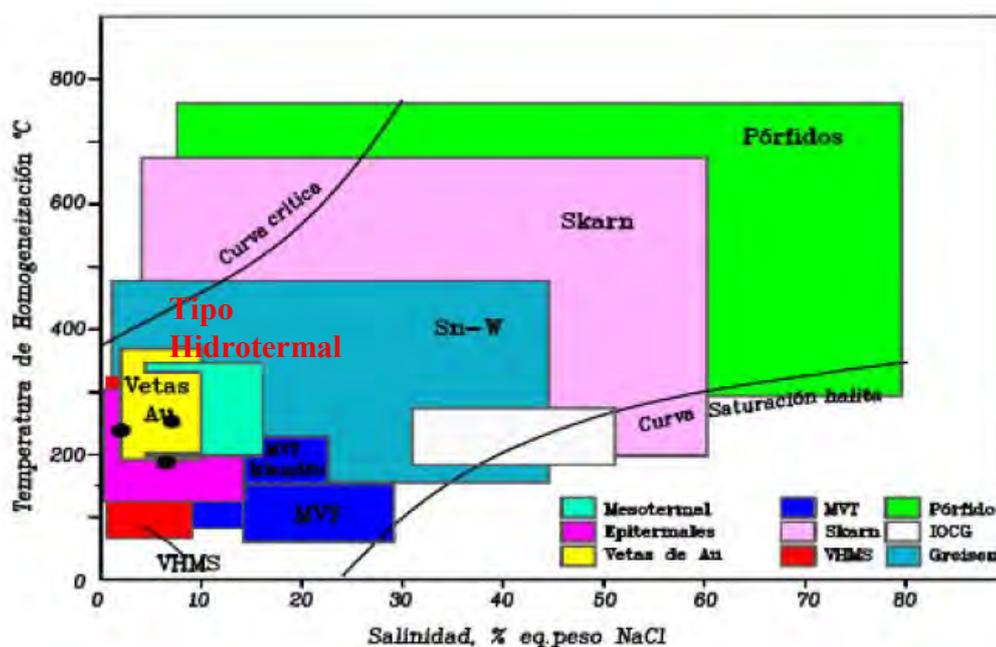
Nº	CLAF.	MIN	TIPO	Øµ	FILL	-Tf (°C)	Th (°C)	NaCl (wt%)	ρ(g/cm <sup>3</sup> )	P (bar)
1	P-Lw	CZ	BF	20.0	0.90	4.30	252.30	6.88	1.0886	28.6
2	P-Lw	CZ	BF	18.0	0.90	4.40	252.50	7.02	1.0885	28.7
3	P-Lw	CZ	BF	22.0	0.90	4.50	252.70	7.17	1.0884	28.8
4	P-Lw	CZ	BF	16.0	0.90	4.30	252.90	6.88	1.0883	28.9
1	P-Lw	CZ	BF	8.0	0.90	1.00	237.50	1.74	1.0959	22.4
2	P-Lw	CZ	BF	10.0	0.90	1.10	237.80	1.91	1.0957	22.6
3	P-Lw	CZ	BF	12.0	0.90	1.20	237.90	2.07	1.0957	22.6
4	P-Lw	CZ	BF	6.0	0.90	1.30	238.10	2.24	1.0956	22.7
5	P-Lw	CZ	BF	8.0	0.90	1.10	238.20	1.91	1.0955	22.7
1	P-Lw	CZ	BF	10.0	0.90	3.90	186.50	6.30	1.1254	8.7
2	P-Lw	CZ	BF	12.0	0.90	4.00	186.80	6.45	1.1253	8.8
3	P-Lw	CZ	BF	8.0	0.90	4.10	187.10	6.59	1.1251	8.8
4	P-Lw	CZ	BF	8.0	0.90	4.20	187.30	6.74	1.1250	8.9

Los resultados fueron llevados a los diagramas temperatura de homogeneización versus salinidad modificada de Wilkinson, caracterizando las muestras, según el tipo de depósito. El sector Sur muestran una señal del tipo Pórfido (Figura 72), debido a su alta salinidad de 57 % NaCl. En la parte Norte existe una muestra que confirma la señal tipo sistema hidrotermal debido a su baja salinidad menor a 20% NaCl I (Figura 73).

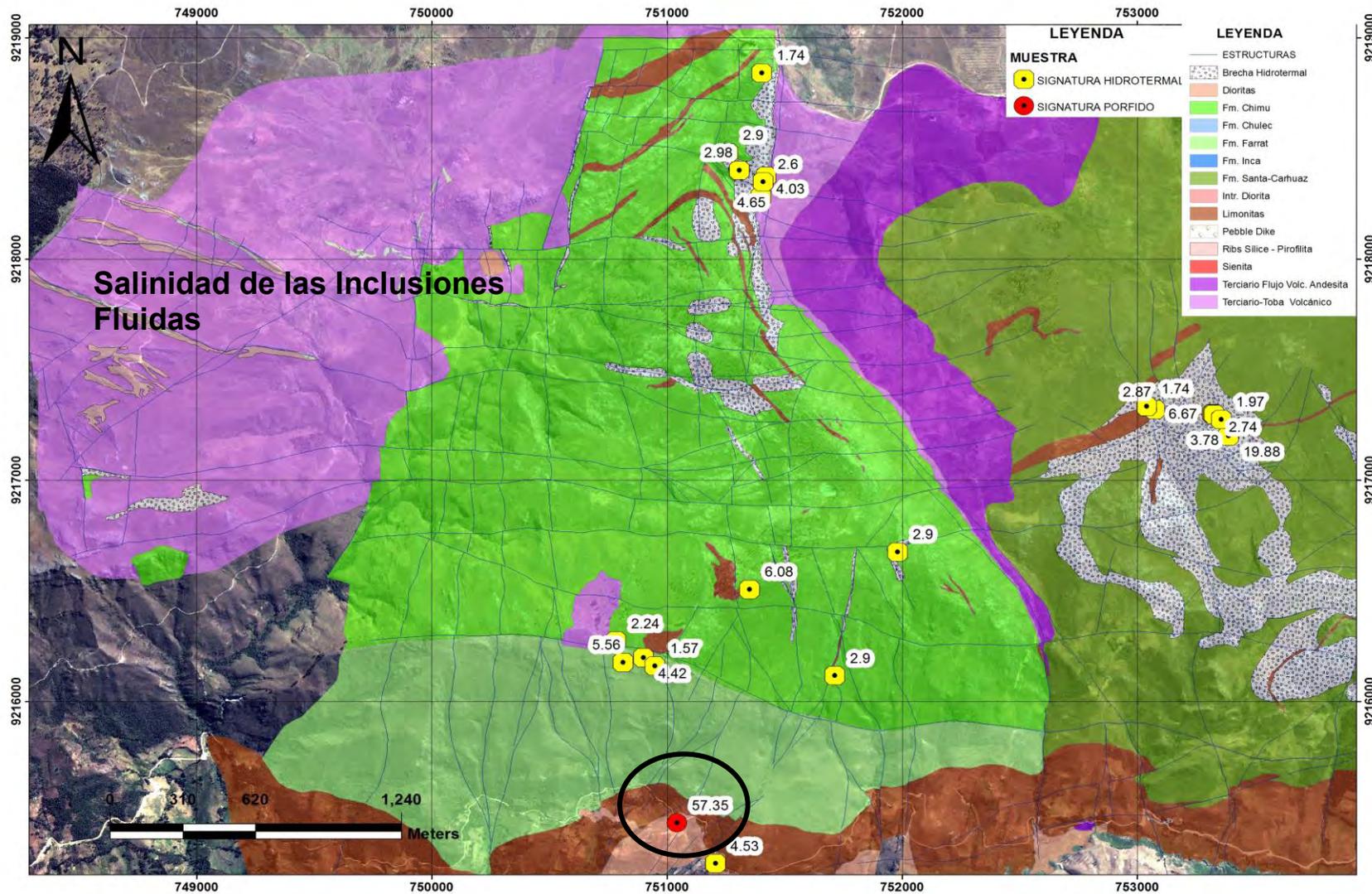
Además, se confeccionaron mapas donde se muestran, referenciadas las salinidades (Figura 74) y con los estudios de salinidad se calculó la profundidad de formación de las inclusiones fluidas (Figura 75). Se observa, que fueron diversas, lo que indica que se presentaron varias etapas de alteración hidrotermal, mientras el sistema seguía en levantamiento. Con este tipo de análisis se interpretó que la falla Este-Oeste presente en el sector Sur del proyecto generó un levantamiento alrededor de 2000 metros, siendo el control principal de emplazamiento del Pórfido (según modelos epitermal-pórfido).



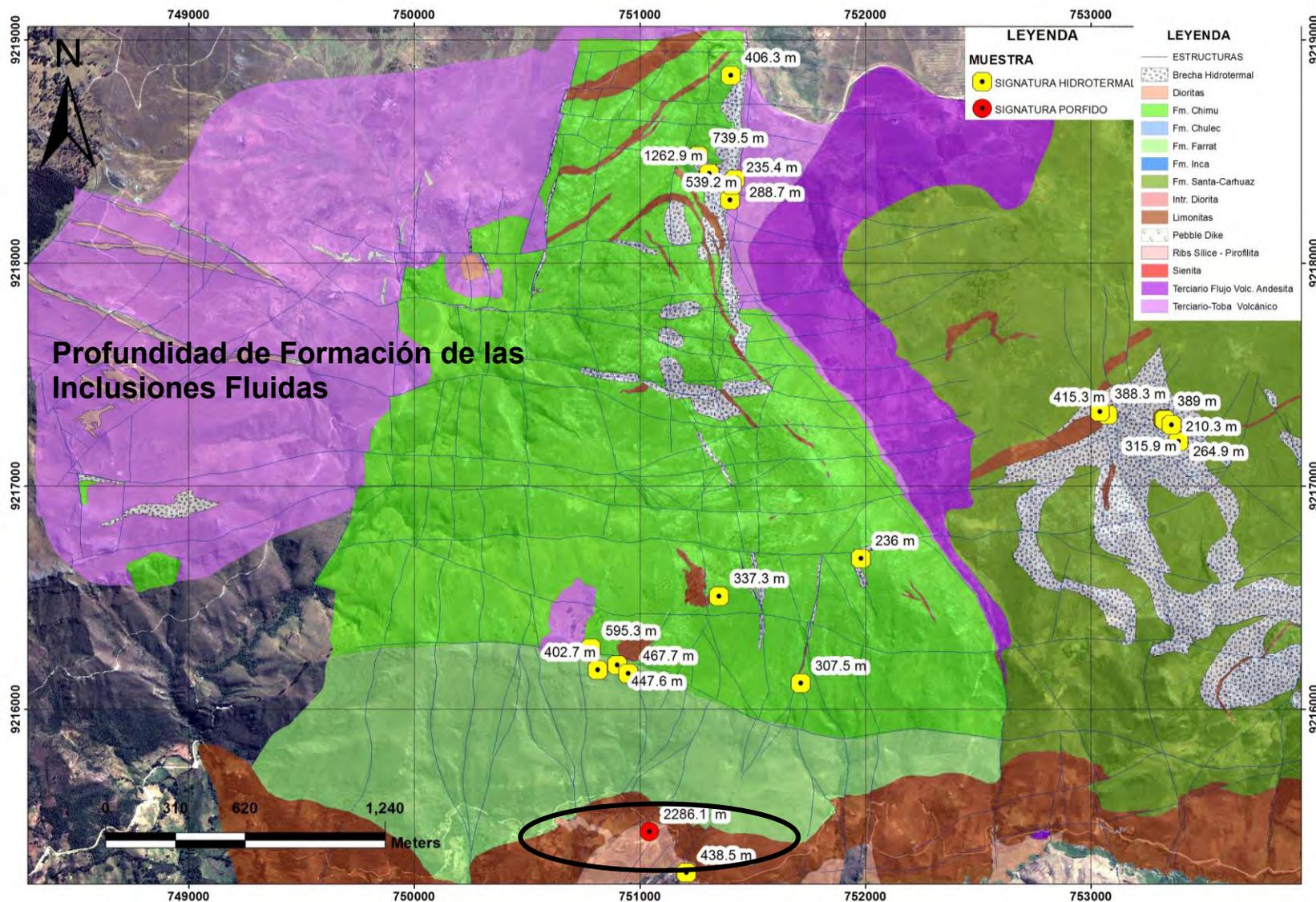
**Figura 72.-** Con el diagrama temperatura de homogeneización vs. Salinidad modificada de Wilkinson (2001) se clasificó el depósito como skarn y pórfido.



**Figura 73.-** Con el diagrama temperatura de homogeneización versus salinidad modificada de Wilkinson (2001) se clasificó el depósito como epitermal.



**Figura 74.-** Se observa la ubicación de las inclusiones fluidas, mostrando la salinidad de las muestras. En marco negro se muestra la ubicación del posible pórfido.



**Figura 75.-** En la imagen se observa las profundidades en metros a la cual se formaron las soluciones salinas. Nótese que en el sector Sur hubo levantamiento de 2000m.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los rasgos morfoestructurales indican que el yacimiento se formó durante un régimen sismogénico activo, el que previamente había deformado fuertemente las secuencias cretácicas que antecedieron al periodo de mineralización, razón por la que se pueden encontrar marcados plegamientos y otros signos de deformación cortical subyaciendo a las secuencias volcánicas miocénicas bastante más conservadas.
2. La concentración de minerales económicos en el proyecto Corisonco, se presentan en zonas favorables, las cuales se han determinado en estructuras como brechas hidrotermales y fallas Norte-Sur las cuales son las que alojan los mayores valores de oro y demás minerales de interés económico y en secuencias estratigráficas permeables.
3. Es importante la presencia de niveles impermeables y permeables como las lutitas y areniscas, respectivamente, que controlan el paso y precipitación de minerales.
4. Los óxidos de hematita-limonitas (Figura 43 B-C) se presentan en agregados finamente bandeados que rellenan intersticios, cavidades y

venillas; aparentemente se han formado en etapas sucesivas que se superponen en el tiempo, lo que revelaría cambiantes estados de hidratación.

5. El análisis geoquímico muestra el nivel 3500msnm con valores altos de oro.
6. La presencia de manganeso, indica zonas de reducción de iones, esto facilitaría la precipitación de metales y proximidades a sistemas tipo Pórfidos.
7. Existe un fuerte control estructural que controla el emplazamiento de los intrusivos en la zona de estudio.
8. Las venillas de sílice magnetita en rocas ígneas intrusivas, evidencian un posible tipo pórfido, el cual no aflora.
9. La mineralización, está asociada con la zona de alteración predominante zunyita y topacio. Esta alteración sería una guía de exploración en los alrededores del proyecto.
10. La mineralogía de ganga es cuarzo, arcillas (caolín, pirofilita, dickita) diáspora, zunyita, que son minerales típicos de sistemas de alta sulfuración. Es necesario realizar estudios a los minerales con mayor temperatura de formación, debido a que ellos marcan zonas profundas.
11. El uso de herramientas y métodos ayudan a la identificación de depósitos ocultos, estas son: terraspec, geofísica, geoquímica e inclusiones fluidas.

12. La magnetometría, funciona como una importante herramienta de prospección minera para esta área, ya que permite localizar cuerpos intrusivos (causantes de las anomalías magnéticas) que se encuentran asociados a mineralización. Esto sugiere que estas anomalías deben tomarse en cuenta como blancos de futuras exploraciones en el área y también en otros sectores.
13. Periféricamente también hay illita-esmectita alterando las rocas volcánicas extrusivas, las cuales se presentan sin alteración hidrotermal, hacia el sector Norte. Esto indica que los fluidos hidrotermales no fueron muy pervasivos.
14. La existencia de minerales como sericita, zunyita, diásporo, pirofilita y la poca presencia de sílice residual o calcedónica, indicarían que la zona de estudio representa la raíz de un sistema de alta sulfuración erosionado.
15. Los análisis de inclusiones fluidas, indican que la actividad hidrotermal estuvo presente durante el levantamiento y se llega a la conclusión de alteración hidrotermal y posible presencia de depósitos tipo Pórfido.
16. Esta etapa de trabajo, ha culminado con la perforación de 9 taladros, durante el año 2012, encontrándose indicios del sistema porfirítico oculto lo que ha permitido programar trabajos para el 2013, debido a sus buenos resultados.

## BIBLIOGRAFIA

1. Alberto Lobo-Guerrero Sanz, M.Sc., Min.Ex.2001, Brechas de rompecabeza.
2. André Gauthier, Noel Díaz, Víctor Quirita, Yacimientos la Arena-La Virgen: Sociedad minera Cambior Perú s.a.
3. Benavides-Cáceres, V. 1999, Orogenic Evolution of the Peruvian Andes: The Andean Cycle. Special Publication N° 7, Society of Economic Geologist, Chap.3, pp. 61-107.
4. C. Bianchi, Interpretación de Ambientes Sedimentarios.
5. Candiotti y Guerrero (1997), Descubrimiento y Geología del Yacimiento de Oro Diseminado Sipan- Cajamarca: IX Congreso Peruano de Geología; resúmenes extendidos, p 9-13.
6. Carlotto, Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú-Carlotto
7. Cobbing (1985), The Tectonic Setting of the Peruvian Andes. In: Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J. & Beckinsale, R.D., eds. Magmatism at a plate edge: the Peruvian Andes; Blackie, Glasgow, 3-12.
8. Cooke et al., 2005, Giant porphyry deposits: Characteristics, Distribution and Tectonic Controls. Econ. Geol. 100, 801–818
9. Cossío, 1964, Geología de los cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa. Bol. Com. Carta Geol. Nac., N° 8, 1964, 69 pp.
10. Dalmayrac et al., 1988, Caracteres Generales de la Evolución Geológica de los Andes Peruanos: Boletín 12
11. Davies (2004), Control on the Formation of world class HS Yanacocha.
12. Enríquez, J., Rodríguez, O. y Rodríguez, R. 2006, Geología de los Yacimientos Epitermales del Tipo Baja Sulfuración en el Corredor Estructural San Pablo Porculla Norte del Perú: XIII Congreso Peruano

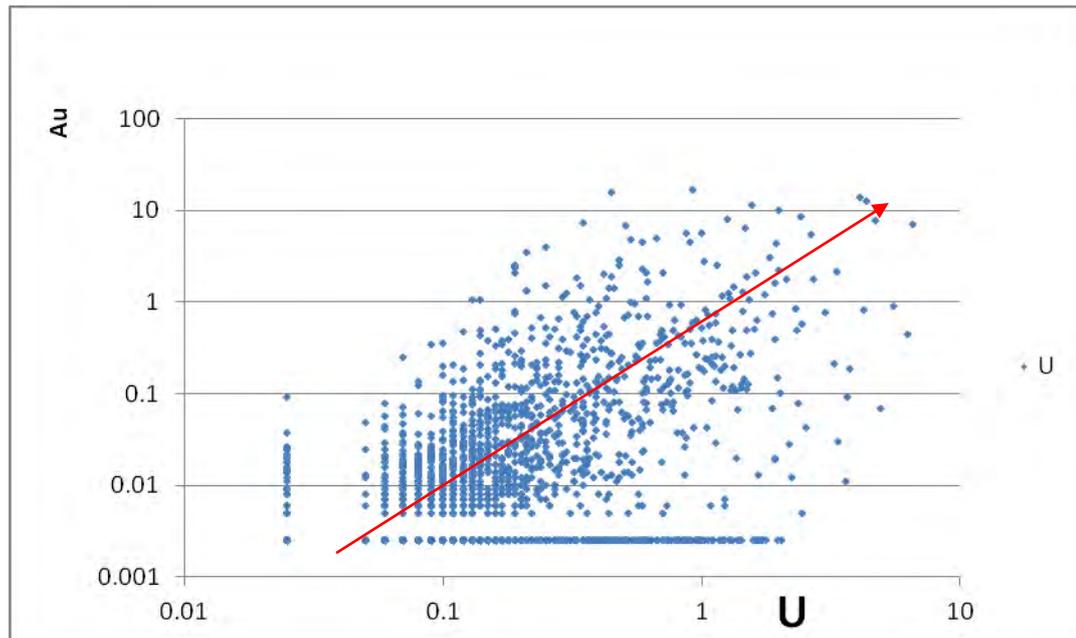
- de Geología. Resúmenes, Sociedad Geológica del Perú, Lima, 2006, pp. 724-727.
13. Eui-jun kim, 1 Maeng-eon park, 2 and noel c. White<sup>3,†</sup>, Skarn gold mineralization at the geodo mine, South Korea.
  14. Farrar y Noble (1976), Timing of late Tertiary deformation in the Andes of Peru. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 87, 1247-1250.
  15. Fukao, Y., Yamamoto, A. y Kono, M (1989), Gravity anomaly across the Peruvian Andes: *Journal of Geophysical Research*, Vol. 94 pp. 3867–3890.
  16. Gustafson I. B., vidal c. E., pinto r. M. & noble d. C., (2004), Porphyry–epithermal transition, Cajamarca region, Northern Peru. *Society of Economic Geologists* 11, 279 – 299.
  17. Gustafson, B., Vidal, C., Pinto, R. & Noble, D. (2004), Porphyry–epithermal transition, Cajamarca region, northern Perú. In: Sillitoe, R.H., Perelló, J. & Vidal, C., eds. *Andean metallogeny: new discoveries, concepts, and updates*, Society of Economic Geologists Special Publication, 11, 279-299.
  18. H. Montano 2010, Caracterización Petroquímica de Magmas y su Relación con la Formación de Yacimientos en el Norte del Perú: Tesis de grado.
  19. Hugo Rios Mansilla 2005, El Yacimiento Epitermal de Oro de Alta Sulfuración de Alto Chicama, Controles de Mineralización y Modelo Genético Preliminar.
  20. Idris, R. 2002, Tectonic, Magmatic and Metallogenic Evolution of the Cajamarca Mining District, Northern Peru I
  21. Informes y reportes mensuales del área de Geología de exploraciones de Yanacocha (f. Gomez, v. Rivasplata, v Sánchez)
  22. Informe 77-010 (GE) Yanacocha secciones delgadas pulidas 2009
  23. J. Jacay 2009, Informe de consultoría de estratigrafía de Corisonco.
  24. J. Gómez 2011, Informe anual 2011
  25. Jacay J., Guadalupe E., Sánchez J., Estilo estructural de los yacimientos minerales en la franja Huamachuco-Cajabamba: Andes norperuanos
  26. Jaillard *et al.*, 1996; Latest Cretaceous to Paleogene red Beds of Peru, and the Early Stages of the Andean Deformation

27. Jaillards Sociedad Geológica del Perú 1990, Evolución de la margen andina del Norte del Perú.
28. James J. (1998), Geology, alteration y mineralization of the Cerro Corona porphyry copper-gold deposit, Cajamarca province, Perú. Unpubl. MSc Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
29. Juan Carlos Castelli 2011, Secciones geológicas Exploración generativa, Distrito Yanacocha.
30. Longo, A. 2005, Evolution of Volcanism and Hydrothermal Activity in the Yanacocha Mining District, Northern Perú: Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Geology.
31. Makshev, Características geofísicas de los sistemas porfídicos
32. Makshev 200, Duración de procesos hidrotermales formadores de pórfidos chilenos: IX Congreso Geológico Chileno.
33. Mamani, M., Wörner, G., & Sempré, T. (2009), Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean Orocline (13° to 18°S): Tracing crustal thickening and magma generation through time and space. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 122, 162-182. doi:10.1130/B26538.1.
34. Marquina R. M. 200, Control Estructural y Potencial Exploratorio del Distrito Minero Conga, Cajamarca-Perú.
35. Mégar, F (1987, 1984), The Andean Orogenic period and its Major Structures in Central and Northern Peru.
36. Mendoza I. N., 2010: Geology, grade distribution, and metal ratios at The Amaro Gold-Copper porphyry deposit, Minas Conga District, Cajamarca province, Perú.
37. Mourier (1988) La transition entre Andes marginales et Andes cordilléennes à ophiolites. Evolution sédimentaire, magmatique et structurale du relais de
38. Huancabamba: 3° à 8° Lat. S, Nord Pérou-Sud Equateur. Thèse Doct., Univ. Paris-Sud, Centre d'Orsay, 275 p.
39. Noble, d., McKee, e., Mourier, t. y Mégar, f. 1990, Cenozoic stratigraphy, Magmatic activity, compressive deformation and uplift in northern Perú.

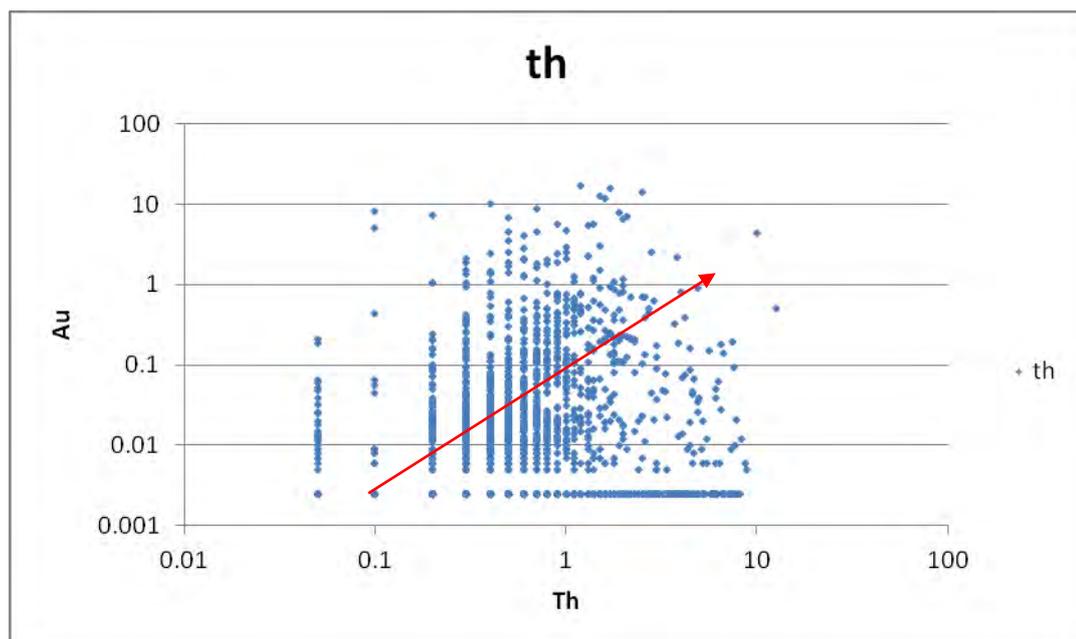
40. Noble y McKee, 1999, The Miocene Metallogenetic belt of central and northern Peru. In: Skinner, B. (Ed.), *Geology and ore deposits of the Central Andes: Soc. Economic Geologists Special Publ.*, vol. 7, pp. 155–193.
41. Pardocayas and Molnar (1987), Relative motion of the Nazca (Farallón) y South American plate since late Cretaceous time. *Tectonic*, vol. 6, pp. 233- 248.
42. Petersen y Vidal (1996), Magmatic and tectonic controls on the nature and distribution of copper deposits in Peru. In: Camus, F., Sillitoe, R.H. & Petersen, R. eds. *Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny*. Society of Economic Geologists Special Publication, 5, 1-18.
43. Quiroz (1997), El corredor estructural Chicama Yanacocha y su importancia en la metalogenia del Norte del Perú. IX Congreso Peruano de Geología, 149-159. Edit. Soc. Geol. Perú.
44. Resúmenes XV Congreso Peruano de Geología. Boletín de la Geological Society of America, vol. 102, pp. 1105-1113.
45. Reyes 1980, Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (hojas 15 – f, 15 – g y 16 – g) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima – Perú, Boletín N° 31 Serie A. Carta Geológica Nacional. Pags. 23 – 28.
46. Rildo Rodríguez y Víctor Carlotto Caillaux 2012, La Geología Regional Aplicada a la Exploración de Yacimientos Tipo Pórfido y Epitermales: XVI seminario de Geología.
47. Rivera, M., Monge, R., Navarro, P. (2005). Nuevos datos sobre el volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú: departamentos de La Libertad y Ancash. *Bol. Soc. Geol. Perú*, 99, 7-21. Seedorff et al., 2005, *Porphyry Deposits: Characteristics and Origin of Hypogene Features*
48. Sibson (1987) y Dubé & Guha (1992), Earthquake faulting, induced fluid flow, and fault-hosted gold mineralization, in Bartholomew, M.J., Hyndman, D.W., Mogok, D.W., and Mason, R., eds., *Basement tectonics 8: Characterization and comparison of ancient and Mesozoic continental margins*: Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 603-614.
49. Short course manual-g Corbett & t Leach, 5/97 edn, *Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, alteration, and mineralization*.

50. Turner (1997), The Yanacocha Epithermal gold deposits, northern Perú: High Sulfidation mineralization in a flow dome setting. Ph.D. Colorado School of Mines, department of Geology and Geological Engineering.
51. V. Sanchez, Informe Anual La Pampita 2011.
52. Víctor Manuel Sanchez Paucar 2008: Tesis “Metalogenia y estructura del depósito de Au el gigante; aplicaciones para la exploración del batolito de Pataz, La Libertad – Perú”: Tesis de Maestría.
53. Vidal, C y Noble, D.C. (1994), Yacimientos hidrotermales controlados por magmatismo y estructuras en la region central del Perú. VIII Congreso Peruano de Geología, Resúmenes extendidos, 48-52. Edit. Soc. Geol. Perú.
54. Wilkinson (2001), Fractures Fluid Flow and Mineralization.
55. Wilson, 1975, The deeper structure of the Central Andes and some geophysical constraints. In: Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J. & Beckinsale, R.D., eds. Magmatism at a plate edge: the Peruvian Andes; Blackie, Glasgow, 13-18.
56. Wilson (2000), Structural development of the northern Andes of Peru. X Congreso Peruano de Geología. Resúmenes ampliados. Lima-Perú.
57. Yasushi Watanabe† Institute for Geo-Resources and Environment, AIST, Central 7, Higashi 1-1-3, Tsukuba, 305-8567 Japan and Jeffrey W. Wedenquist, Mineralogic and Stable Isotope Zonation at the Surface over the El Salvador Porphyry Copper Deposit, Chile.

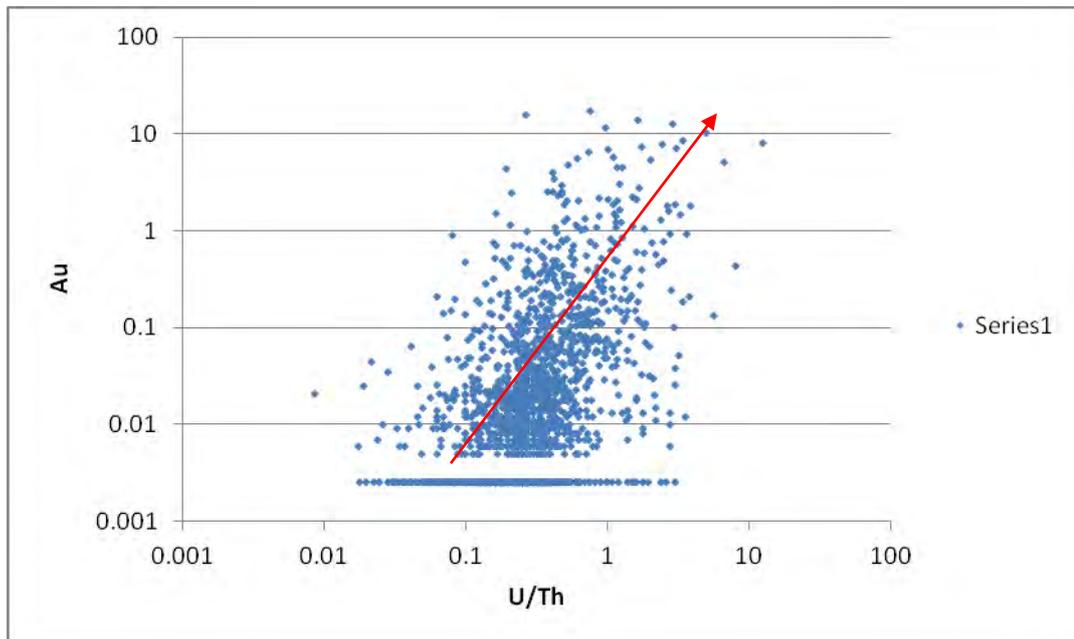
## ANEXO



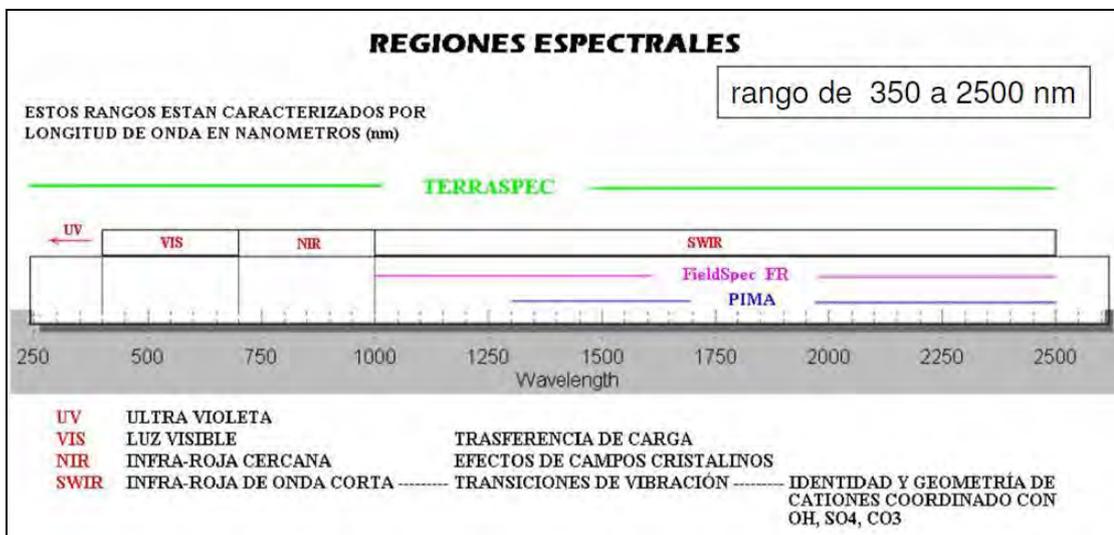
**Figura 76.-** Se observa que el oro y el uranio tienen buena correlacion.



**Figura 77.-** Se observa que el oro y el torio tienen buena correlacion.



**Figura 78.-** Se observa que el oro y el ratio uranio/torio tienen buena correlación.



**Figura 79.-** Alcances del Terraspec

<b>Rasgos de Absorción Característicos</b>		
<b>Posición</b>	<b>Molécula</b>	<b>Mineral / Compuesto</b>
~1.4 $\mu\text{m}$	OH y Agua	Illita, Caolinita, Esmectita Berilo, Zeolitas, Brucita Pirofilita, Gipsita, Talco
1.4 $\mu\text{m}$	Agua Atmosférica	
1.4-1.48	OH	Alunita, Yeso, Jarosita
~1.56 $\mu\text{m}$	NH <sub>4</sub>	Especies ricas en amonio
1.76 -1.82 $\mu\text{m}$	Agua	Alunita, Jarosita, Yeso
~1.9 $\mu\text{m}$	Agua Molecular	Esmectita, Berilo, Zeolitas
1.9 $\mu\text{m}$	Agua Atmosférica	
~2.02, 2,12 $\mu\text{m}$	NH <sub>4</sub>	Especies ricas en amonio
~2.2 $\mu\text{m}$	Al-OH	Esmectita, Caolinita, Illita Alunita, Jarosita, Micas Anfiboles, Serpentina
2.2-2.6 $\mu\text{m}$	Fe(OH)	Clorita Jarosita, Illita de Fe
2.24-2.26	Si(OH)	Silice opalina
~2.3 $\mu\text{m}$	Mg(OH)	Anfiboles, Clorita, Micas, Talco, Epidota
~2.29 - 2.35 $\mu\text{m}$	CO <sub>3</sub> -2	Carbonatos

**Figura 80.-** Rango de analisis de terraspec.

Tabla 8a.- 128 datos estructurales

	ESTRUCTURA	AZIMUTH	BUZAMIENTO	AZ_TREND	PITCH		ESTRUCTURA	AZIMUTH	BUZAMIENTO	AZ_TREND	PITCH
1	Breccias	152	50	0	0	65	Fault	259	80	0	0
2	Breccias	79	50	0	0	66	Fault	336	80	0	0
3	Breccias	277	50	0	0	67	Fault	270	80	0	0
4	Breccias	158	60	0	0	68	Fault	315	80	0	0
5	Breccias	48	70	0	0	69	Fault	187	80	0	0
6	Breccias	79	70	0	0	70	Fault	188	80	0	0
7	Breccias	154	77	0	0	71	Fault	330	80	0	0
8	Breccias	190	78	0	0	72	Fault	45	80	0	0
9	Breccias	213	78	0	0	73	Fault	305	80	345	30
10	Breccias	140	80	0	0	74	Fault	200	82	0	0
11	Breccias	139	80	0	0	75	Fault	118	83	0	0
12	Breccias	140	80	0	0	76	Fault	140	83	0	0
13	Breccias	136	80	0	0	77	Fault	15	83	0	0
14	Breccias	179	80	0	0	78	Fault	267	83	285	25
15	Breccias	92	80	0	0	79	Fault	185	85	0	0
16	Breccias	41	80	0	0	80	Fault	175	85	0	0
17	Breccias	289	80	0	0	81	Fault	349	85	0	0
18	Breccias	309	80	0	0	82	Fault	190	85	0	0
19	Breccias	44	81	0	0	83	Fault	120	85	0	0
20	Breccias	173	85	0	0	84	Fault	33	85	0	0
21	Breccias	218	85	0	0	85	Fault	145	85	0	0
22	Breccias	224	85	0	0	86	Fault	335	85	0	0
23	Breccias	327	87	0	0	87	Fault	173	86	0	0
24	Breccias	284	88	0	0	88	Fault	177	86	0	0
25	Breccias	344	88	0	0	89	Fault	214	87	0	0
26	dique	330	80	0	0	90	Fault	148	88	0	0
27	Fault	5	50	0	0	91	Fault	13	89	0	0
28	Fault	270	50	0	0	92	Fault	314	50	0	0
29	Fault	3	51	0	0	93	Fault	320	50	0	0
30	Fault	3	58	0	0	94	Fault	338	50	0	0
31	Fault	320	58	0	0	95	Fault	54	52	0	0
32	Fault	310	60	0	0	96	Fault	161	65	0	0
33	Fault	258	60	0	0	97	Fault	342	65	0	0
34	Fault	5	64	0	0	98	Fault	229	65	0	0
35	Fault	335	65	0	0	99	Fault	335	65	0	0
36	Fault	80	65	0	0	100	Fault	60	65	0	0
37	Fault	198	66	55	30	101	Fault	190	66	0	0
38	Fault	0	67	0	0	102	Fault	0	67	0	0
39	Fault	40	67	0	0	103	Fault	20	68	0	0
40	Fault	180	70	0	0	104	Fault	181	70	0	0
41	Fault	269	70	0	0	105	Fault	122	70	0	0
42	Fault	131	70	0	0	106	Fault	178	72	0	0
43	Fault	30	70	0	0	107	Fault	295	72	0	0
44	Fault	30	70	0	0	108	Fault	345	72	0	0
45	Fault	265	71	295	15	109	Fault	185	73	0	0
46	Fault	136	72	0	0	110	Fault	345	75	0	0
47	Fault	80	73	0	0	111	Fault	28	75	0	0
48	Fault	255	74	0	0	112	Fault	197	75	0	0
49	Fault	140	74	0	0	113	Fault	27	75	0	0
50	Fault	270	75	0	0	114	Fault	199	75	0	0
51	Fault	110	75	0	0	115	Fault	205	75	0	0
52	Fault	276	75	0	0	116	Fault	222	75	0	0
53	Fault	180	75	0	0	117	Fault	317	75	0	0
54	Fault	336	75	0	0	118	Fault	323	75	0	0
55	Fault	240	75	0	0	119	Fault	206	75	0	0
56	Fault	305	75	0	0	120	Fault	94	75	0	0
57	Fault	105	75	0	0	121	Fault	282	75	0	0
58	Fault	330	75	0	0	122	Fault	205	75	0	0
59	Fault	263	76	290	13	123	Fault	75	75	0	0
60	Fault	5	77	0	0	124	Fault	323	75	0	0
61	Fault	140	77	0	0	125	Fault	323	77	0	0
62	Fault	317	77	0	0	126	Fault	316	78	0	0
63	Fault	352	78	0	0	127	Fault	343	78	0	0
64	Fault	165	80	0	0	128	Fault	301	80	0	0

Tabla 8b.- 128 datos estructurales

	ESTRUCTURA	AZIMUTH	BUZAMIENTO	AZ_TREND	PITCH		ESTRUCTURA	AZIMUTH	BUZAMIENTO	AZ_TREND	PITCH
						193	joint	180	75	0	0
						194	joint	117	75	0	0
						195	joint	22	75	0	0
						196	joint	274	75	0	0
129	Fault	332	80	0	0	197	joint	13	75	0	0
130	Fault	335	80	0	0	198	joint	30	75	0	0
131	Fault	249	80	0	0	199	joint	322	75	0	0
132	Fault	39	80	0	0	200	joint	306	77	0	0
133	Fault	11	80	0	0	201	joint	233	77	0	0
134	Fault	189	80	0	0	202	joint	80	78	0	0
135	Fault	340	80	0	0	203	joint	179	78	0	0
136	Fault	317	81	0	0	204	joint	264	78	0	0
137	Fault	178	85	0	0	205	joint	161	79	0	0
138	Fault	317	85	0	0	206	joint	90	80	0	0
139	Fault	30	87	0	0	207	joint	35	80	0	0
140	Fault	189	87	0	0	208	joint	250	80	0	0
141	Fault	118	87	0	0	209	joint	240	80	0	0
142	Fault	191	88	0	0	210	joint	230	80	0	0
143	Fault	322	90	0	0	211	joint	330	80	0	0
144	J M	330	80	0	0	212	joint	150	80	0	0
145	J M	330	80	0	0	213	joint	330	80	0	0
146	J M	330	80	0	0	214	joint	330	80	0	0
147	J M	330	80	0	0	215	joint	60	80	0	0
148	J M	40	80	0	0	216	joint	51	80	0	0
149	J M	40	80	0	0	217	joint	13	80	0	0
150	Joint	112	50	0	0	218	joint	275	80	0	0
151	joint	32	50	0	0	219	joint	117	80	0	0
152	joint	330	60	0	0	220	joint	304	80	0	0
153	joint	64	60	0	0	221	joint	107	80	0	0
154	joint	320	60	0	0	222	joint	48	80	0	0
155	joint	135	65	0	0	223	joint	177	80	0	0
156	joint	128	65	0	0	224	joint	54	80	0	0
157	joint	71	65	0	0	225	joint	75	80	0	0
158	joint	294	65	0	0	226	joint	72	80	0	0
159	joint	26	66	0	0	227	joint	62	80	0	0
160	joint	90	67	0	0	228	joint	179	80	0	0
161	joint	65	67	0	0	229	joint	108	80	0	0
162	joint	218	67	0	0	230	joint	45	80	0	0
163	joint	115	67	0	0	231	joint	310	80	0	0
164	joint	130	70	0	0	232	joint	333	80	0	0
165	joint	270	70	0	0	233	joint	131	80	0	0
166	joint	45	70	0	0	234	joint	137	80	0	0
167	joint	60	70	0	0	235	joint	177	80	0	0
168	joint	55	70	0	0	236	joint	287	80	0	0
169	joint	143	70	0	0	237	joint	214	80	0	0
170	joint	304	70	0	0	238	joint	95	80	0	0
171	joint	177	70	0	0	239	joint	118	80	0	0
172	joint	98	70	0	0	240	joint	183	80	0	0
173	joint	255	70	0	0	241	joint	92	80	0	0
174	joint	48	72	0	0	242	joint	237	80	0	0
175	joint	10	72	0	0	243	joint	235	80	0	0
176	joint	211	72	0	0	244	joint	201	80	0	0
177	joint	270	74	0	0	245	joint	283	80	0	0
178	joint	274	74	0	0	246	joint	249	80	0	0
179	joint	105	75	0	0	247	joint	85	80	0	0
180	joint	330	75	0	0	248	joint	291	80	0	0
181	joint	290	75	0	0	249	joint	275	80	0	0
182	joint	43	75	0	0	250	joint	102	80	0	0
183	joint	319	75	0	0	251	joint	288	80	0	0
184	joint	30	75	0	0	252	joint	298	80	0	0
185	joint	181	75	0	0	253	joint	178	80	0	0
186	joint	334	75	0	0	254	joint	207	80	0	0
187	joint	224	75	0	0	255	joint	94	80	0	0
188	joint	108	75	0	0	256	joint	339	80	0	0
189	joint	127	75	0	0	257	joint	172	80	0	0
190	joint	98	75	0	0						
191	joint	217	75	0	0						
192	joint	135	75	0	0						

Tabla 8c.- 319 datos estructurales obtenidos en campo

	ESTRUCTURA	AZIMUTH	BUZAMIENTO	AZ_TREND	PITCH
258	joint	60	82	0	0
259	joint	50	82	0	0
260	joint	331	82	0	0
261	joint	318	82	0	0
262	joint	313	82	0	0
263	joint	310	82	0	0
264	joint	311	82	0	0
265	joint	321	82	0	0
266	joint	311	82	0	0
267	joint	310	83	0	0
268	joint	223	83	0	0
269	joint	350	85	0	0
270	joint	180	85	0	0
271	joint	330	85	0	0
272	joint	47	85	0	0
273	joint	354	85	0	0
274	joint	53	85	0	0
275	joint	121	85	0	0
276	joint	121	85	0	0
277	joint	175	85	0	0
278	joint	138	85	0	0
279	joint	270	85	0	0
280	joint	267	85	0	0
281	joint	92	85	0	0
282	joint	44	85	0	0
283	joint	66	85	0	0
284	joint	267	85	0	0
285	joint	231	85	0	0
286	joint	101	85	0	0
287	joint	31	85	0	0
288	joint	100	85	0	0
289	joint	103	85	0	0
290	joint	123	85	0	0
291	joint	236	85	0	0
292	joint	95	85	0	0
293	joint	268	85	0	0
294	joint	142	85	0	0
295	joint	40	85	0	0
296	joint	143	85	0	0
297	joint	196	85	0	0
298	joint	189	85	0	0
299	joint	121	85	0	0
300	joint	148	85	0	0
301	joint	318	85	0	0
302	joint	224	85	0	0
303	joint	337	85	0	0
304	joint	156	85	0	0
305	joint	285	86	0	0
306	joint	334	86	0	0
307	joint	140	86	0	0
308	joint	42	87	0	0
309	joint	118	87	0	0
310	joint	4	87	0	0
311	joint	79	88	0	0
312	joint	282	88	0	0
313	joint	241	88	0	0
314	joint	95	88	0	0
315	joint	95	88	0	0
316	joint	326	90	0	0
317	Joint	302	150	0	0
318	Joint	330	65	0	0
319	Joint	10	70	0	0

**Tabla 9.-** Minerales de alteración que se obtuvieron con el Terraspec. Se analizaron 907 muestras con el Terraspec, se obtuvieron 708 resultados.

Minerales de Alteracion	Total
MON	1
CH	13
DIK	111
DP	15
GIB	1
GOE	92
HEM	116
I	27
K	6
MUS	39
PYR	237
SM	10
TO	4
ZEO	5
ZUN	31
(blank)	
Grand Total	708

Mon= Monmorillonita, CH= Clorita, Dik=dikita, DP=Diaspora, GIB=Gibbsite, GOET=Goetite, HEM=Hematite, I=Illite, K=Kaolin; MUS=Muscovite, PYR=Pirofilita, SM=Esmectita, TO=Topacio, ZEO=Zeolite, ZUN=Zunyite

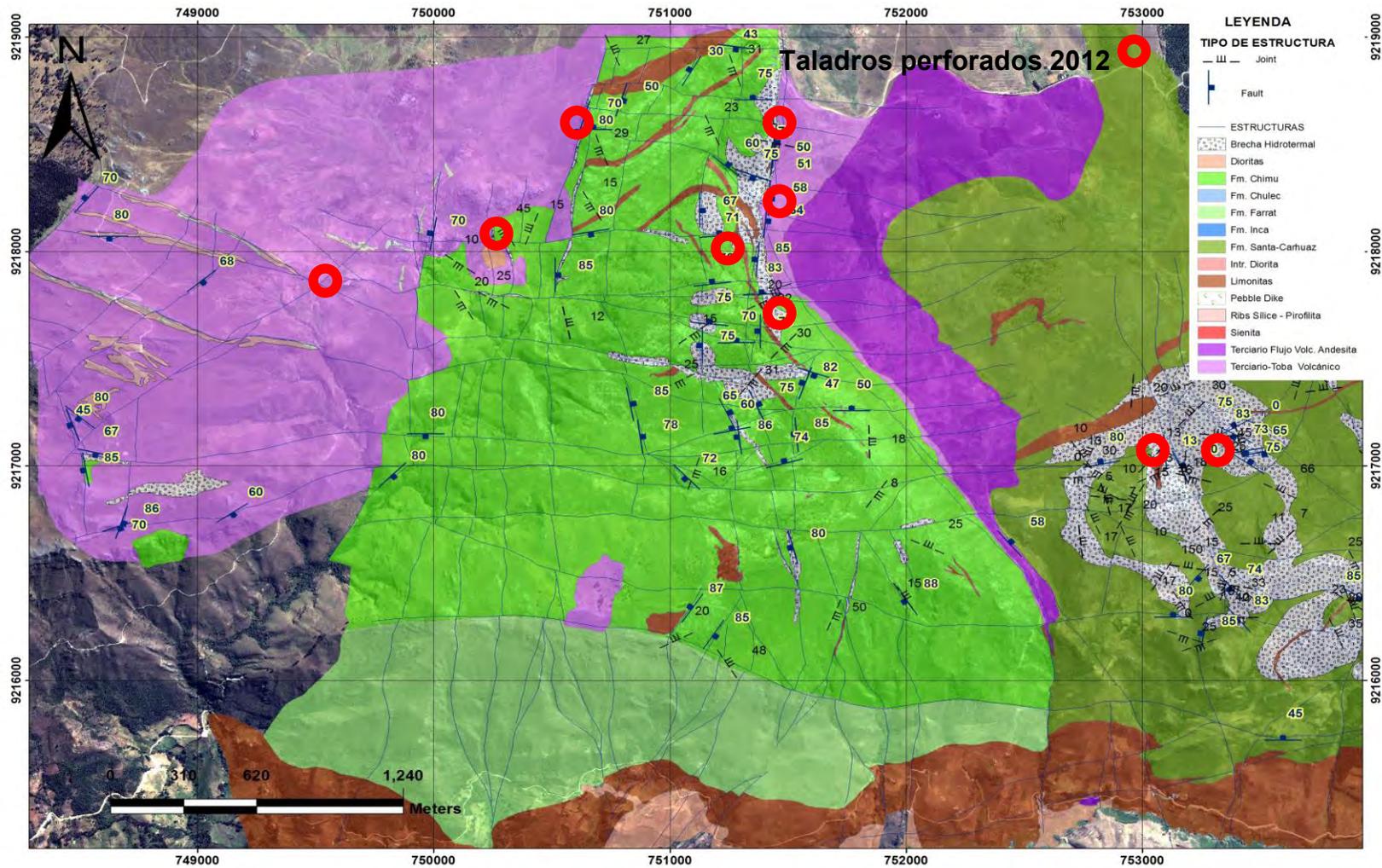


Figura 81.- Taladros perforados durante el año 2012.