UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

"ASPECTOS METALOGENÉTICOS Y CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL PÓRFIDO DE Cu Au Mo MICHIQUILLAY.

Distrito de La Encañada – Provincia Cajamarca – Departamento Cajamarca"

Tesis Presentada por el bachiller:

EDER SEGUNDITO OVIEDO IBAÑEZ.

Para optar el título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO.

Asesor: MSc. Guido Edgard Salas Álvarez

Arequipa-Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTIN DE AREQUIPA

FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

"ASPECTOS METALOGENÉTICOS Y CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL PÓRFIDO DE Cu Au Mo MICHIQUILLAY.

Distrito de La Encañada – Provincia Cajamarca – Departamento Cajamarca"

Jurados:

Presidente: Dr. Antenor E. Chávez V.

Vocal: MSc. Guido E. Salas A.

Secretario: Dr. Fredy F. García Z.

Presentado por el bachiller: Eder Segundito Oviedo Ibañez.

Arequipa - Perú

2021

DEDICATORIA

Primeramente, a dios que me da las fuerzas y la inteligencia, a mi madre Ermila por traerme a la vida, a mi esposa Paola por su amor, cariño y paciencia, que junto con mis hijos Joaquín, Valentina e Isabella son el gran motor que impulsa mi día a día, a mis abuelos, Segundo (QEPD) y Zenaida por todo su amor y esfuerzo incentivando en mí el deseo de superación, a mis hermanos y familia en general por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A la dirección y gerencia técnica del área de exploraciones de Southern Perú por brindarme las facilidades para poder desarrollar este proyecto de tesis.

A mi asesor de tesis el ingeniero Guido Salas por sus consejos y guía en este trabajo.

A mis colegas y amigos quienes me ayudaron con sus sugerencias y aportes.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA **3**

AGRADECIMIENTO **4**

INDICE DE FIGURAS **11**

INDICE DE TABLAS **13**

ÍNDICE DE LÁMINAS **14**

INDICE DE FOTOS **16**

RESUMEN **17**

CAPÍTULO I **19**

INTRODUCCIÓN **19**

1.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD **19**

1.1.1. Ubicación 19

1.1.2. Accesibilidad 19

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **22**

1.3. JUSTIFICACION **22**

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN **22**

1.4.1. General. 22

1.4.2. Específicos. 23

1.5. HIPOTESIS **23**

1.6. TRABAJOS ANTERIORES. 23

CAPÍTULO II 25

GEOGRAFIA 25

2.1. RELIEVE Y GEOMORFOLOGIA 25

2.1.1. Relieve. 25

2.1.2. Geomorfología. 25

2.2. HIDROGRAFIA Y DRENAJE 29

2.3. CLIMA Y VEGETACIÓN 30

CAPÍTULO III 32

GEOLOGIA REGIONAL 32

3.1. INTRODUCCIÓN. 32

3.2. ESTRATIGRAFIA 33

3.2.1. Grupo Goyllarisquizga. 33

3.2.2. Formación Inca. 35

3.2.3. Formación Chulet. 35

3.2.4. Formación Pariatambo. 35

3.2.5. Grupo Pulluicana. 36

3.2.6. Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán Indivisos. 36

3.2.7. Formación Cajamarca. 37

3.2.8. Formación Celendin. 37

3.2.9. Grupo Calipuy. 38

3.2.10. Depósitos Cuaternarios. 38

3.3. ROCAS INTRUSIVAS. 39

3.4. MARCO TECTÓNICO REGIONAL. 42

3.4.1. Tectónica Inca. 42

CAPÍTULO IV 50

METODOLOGIA 50

4.1. Metodología de la investigación. 50

4.2. Metodología del Trabajo 50

4.3. Materiales empleados para la recolección de datos 51

4.4. Metodología de muestreo 52

4.4.1. Muestreo. 52

4.4.2. Preparación y Análisis de las muestras. 53

CAPÍTULO V 55

GEOLOGIA LOCAL 55

5.1. GENERALIDADES. 55

5.2. LITOLOGÍA..... 56

5.2.1. Arenisca Cuarzosa..... 56

5.2.2. Cuarcita 56

5.2.3. Caliza..... 56

5.2.4. Hornfels. 57

5.2.5. Brecha..... 57

5.3. ROCAS INTRUSIVAS. 57

5.3.1. Pórfido Cuarcífero..... 57

5.4. DEPÓSITOS CUATERNARIOS..... 60

5.5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL. 63

5.5.1. Evento de fallamiento 1..... 63

5.5.2. Evento de fallamiento 2..... 65

5.5.3. Evento de fallamiento 3..... 67

CAPÍTULO VI 69

ASPECTOS METALOGENÉTICOS 69

6.1. METALOGENIA REGIONAL. 69

6.1.1. Franja I.- Depósitos de Au en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico-Silúrico-

Devónico. 72

6.1.2. Franja II.- Depósitos Orogénicos de Au-Pb-Zn-Cu del Carbonífero-Pérmico. 72

6.1.3. Franja VI. - Pórfidos y Skarn de Cu-Au del Jurásico superior..... 72

6.1.4. Franja X.- Pórfidos de Cu-Mo y vetas polimetálicas del Cretáceo superior –Paleoceno. 73

6.1.5. Franja XVI.- Depósitos tipo MVT de Pb-Zn del Eoceno-Mioceno. 73

6.1.6. Franja XVIII.- Epitermales de Au-Ag de baja sulfuración del Oligoceno..... 73

6.1.7. Franja XX-. Pórfidos de Cu-Mo, Skarns de Cu-Zn-Pb-Ag y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno. 74

6.1.8. Franja XXI-B.- Epitermales de Au-Ag hospedados en rocas volcánicas Cenozoicas. 74

6.1.9. Franja XXIV.- Depósitos de paleo placeres en rocas sedimentarias del Plioceno-Pleistoceno. 75

6.2. METALOGENIA LOCAL. 78

CAPÍTULO VII 87

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA 87

7.1. CONCEPTOS BÁSICOS. 87

7.1.1. Ambiente Geoquímico. 87

7.1.2. Dispersión Geoquímica. 88

7.1.3 Método Analítico de Inducción de Plasma (ICP). 90

7.2 PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACION GEOQUIMICA. 91

7.2.1 Medidas de Posición. 91

7.2.2 Medidas de Dispersión. 92

7.2.3 Medidas de Forma. 92

7.2.4 Otros Parámetros. 93

7.3 EVALUACION GEOQUIMICA. 96

7.3.1 Distribución Geoquímica. 101

7.3.2 Correlación de Pearson. 129

CONCLUSIONES 132

RECOMENDACIONES 135

BIBLIOGRAFIA 136

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Posiciones de la placa de Nazca a través de tiempo geológico interpretado mediante anomalías magnéticas (Pardo – Casas y Molnar, 1987)..... 44

Figura 2 Resumen de la tectónica de los Andes en nuestra zona de estudio a escala regional (Orlando Bazán 2013) 49

Figura 3 Limites de detección ofrecidos por el método ICP – MS en ALS Chemex..... 54

Figura 4 Edades de Mineralización de los intrusivos más importantes y dataciones en roca vs los ratios de convergencia de la placa de Nazca, faces orogénicas y arcos volcánicos (Modificado de Raymond Rivera 2007)..... 71

Figura 5 Mapa mostrando la geología simplificada y la tendencia de emplazamiento (NW) de los principales centros mineralizados del Mioceno, así como también las dataciones radiométricas realizadas en el área y la ubicación de la falla Punre - Canchis considerada como el principal control estructural para el emplazamiento de los cuerpos ígneos del área 80

Figura 6 A la izquierda vemos un esquema del sistema de ionización por plasma (ICP). A la derecha vemos el analizador cuadrupolar (MS) 91

Figura 7 Tipos de asimetría 92

Figura 8 Curtosis..... 93

Figura 9 Valores de background por roca..... 99

Figura 10 Variación vertical de elementos traza en un sistema Porfirítico de Cu (Halley et al. 2015) 100

Figura 11 Box plot mostrando la distribución de los valores cobre de en los 03 grupos de rocas, con +/- una desviación estándar de la MEDIA..... 104

Figura 12 Box plot mostrando la distribución de los valores de molibdeno en los 03 grupos de rocas..... 108

Figura 13 Box plot mostrando la distribución de los valores de oro en los 03 grupos de rocas 112

Figura 14 Box plot mostrando la distribución de los valores de Arsénico en los 03 grupos de rocas 116

Figura 15 Box plot mostrando la distribución de los valores de Plata en los 03 grupos de rocas 120

Figura 16 Box plot mostrando la distribución de los valores de Plomo en los 03 grupos de rocas 124

Figura 17 *Box plot mostrando la distribución de los valores de Zinc en los 03 grupos de rocas* 128

Figura 18 Correlaciones de elementos en el PÓRFIDO 130

Figura 19 Correlaciones de elementos ARENISCAS Y CUARCITAS 130

Figura 20 Correlaciones de elementos en ROCAS CALCÁREAS 131

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Accesibilidad..... 20

Tabla 2 Mostrando los principales depósitos minerales de la región 76

Tabla 3 Dataciones radiométricas en el área de Michiquillay, El Galeno y Minas Conga..... 79

Tabla 4 Resumen de los principales centros porfiríticos asociados al fallamiento Punre – Canchis 85

Tabla 5 Número de muestras por roca 94

Tabla 6 Estadística básica en el PORFIDO 94

Tabla 7 Estadística básica en ARENISCAS - CUARCITAS 95

Tabla 8 Estadística básica en ROCAS CALCAREAS 95

Tabla 9 Intensidad de anomalías en el PÓRFIDO 97

Tabla 10 Intensidad de anomalías en ARESNICAS Y CUARCITAS 97

Tabla 11 Intensidad de anomalías ROCAS CALCÁREAS..... 98

Tabla 12 Valores de background guías para exploración en esta franja asociada al fallamiento Punre - Canchis..... 99

Tabla 13 Valores de Backround guias por tipo de roca 133

ÍNDICE DE LÁMINAS

Lámina 1 Mapa de ubicación y accesibilidad a la zona de estudio. 21

Lámina 2 Mapa Geomorfológico..... 31

Lámina 3 Mapa Geológico Regional. 40

Lámina 4 Columna Estratigráfica Regional..... 41

Lámina 5 Mapa Sistema de Fallas Punre – Canchis y su relación con la zona de estudio. 46

Lámina 6 Mapa Deflexión de Cajamarca. 48

Lámina 7 Mapa Geológico Local 61

Lámina 7.1 Sección Geológico 62

Lámina 8 Mapa Evento de Fallamiento 1 64

Lámina 9 Mapa Evento de Fallamiento 2 66

Lámina 10 Mapa Evento de Fallamiento 3 68

Lámina 11 Franjas Metalogenéticas Cajamarca 77

Lámina 12 Geoquímica de Cu los Pórfidos 101

Lámina 13 Geoquímica de Cu en areniscas y cuarcitas..... 102

Lámina 14 Geoquímica de Cu en rocas calcáreas 103

Lámina 15 Geoquímica de Mo en los pórfidos..... 105

Lámina 16 Geoquímica de Mo en areniscas y cuarcitas..... 106

Lámina 17 Geoquímica de Mo en rocas calcáreas 107

Lámina 18 Geoquímica de Au en los pórfidos 109

Lámina 19 Geoquímica de Au en Areniscas y Cuarcitas 110

Lámina 20 Geoquímica de Au en rocas calcáreas 111

Lámina 21 Geoquímica de As en los pórfidos..... 113

Lámina 22 Geoquímica de As en areniscas y cuarcitas 114

Lámina 23 Geoquímica de As en rocas calcáreas 115

Lámina 24 Geoquímica de Ag en los pórfidos 117

Lámina 25 Geoquímica de Ag en areniscas y cuarcitas 118

Lámina 26 Geoquímica de As en rocas calcáreas 119

Lámina 27 Geoquímica de Pb en los pórfidos 121

Lámina 28 Geoquímica de Pb en areniscas y cuarcitas 122

Lámina 29 Geoquímica de Pb en rocas calcáreas 123

Lámina 30 Geoquímica de Zn en los pórfidos 125

Lámina 31 Geoquímica de Zn en areniscas y cuarcitas 126

Lámina 32 Geoquímica de Zn en rocas calcáreas 127

INDICE DE FOTOS

Foto 1 Mirando al S. Partes altas de la zona de estudio (Zona Altoandina)..... 26

Foto 2 Mirando al NW. Partes altas de la zona de estudio (Zona Altoandina) 26

Foto 3 Altiplanicie Ondulada con zonas de pequeños bofedales 27

Foto 4 Altiplanicie Ondulada con zonas de cultivo..... 27

Foto 5 *M*irando al SE, Colina empinada del Cerro Punre 28

Foto 6 mirando al SW, C.C. Michiquillay (Zona Mesoandina) 29

RESUMEN

El área de estudio se encuentra ubicada en el distrito de La Encañada, provincia y departamento de Cajamarca; aproximadamente a 900 km al NE de la ciudad de Lima y a 45 km de la ciudad Cajamarca, con un relieve leve a moderadamente accidentado con altitudes que varía entre los 3,200 msnm y 4,000 msnm. El área se encuentra incluida en el cuadrángulo de San Marcos (15-G) de la Carta Geológica Nacional,

El aspecto geológico regional está ampliamente dominado por rocas sedimentarias del Cretáceo (Grupo Goyllarisquizga, formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Pulluicana, Quilquiñán, y Cajamarca), las que conforman el basando en nuestra zona de estudio, rocas volcánicas del Paleógeno - Neógeno (Grupo Calipuy y Volcánico Huambos) y sedimentos del Cuaternario.

Localmente nuestra área de estudio consiste en dos eventos magmáticos de composición Pórfido Dacita, cuya mineralización es asignada al Mioceno Inferior. Estos Pórfidos instruye el basamento cretácico el cual se presenta como roca caja originado un sistema de mineralización tipo pórfido de Cu-Au-Mo. El complejo intrusivo se expande 5 km de largo por 1.5 km ancho aprox.

La tectónica actuó sobre las rocas sedimentarias Cretáceas que fueron deformadas durante el Cenozoico por dos episodios orogénicos conocidos respectivamente como la Fase Inca (I-IV) y Quechua (I y II) (Mégard, 1984; Benavides, 1999).

El marco metalogenético en nuestra zona de estudio está estrechamente ligado a dos procesos tectónicos, los cuales corresponden, a la deflexión de Cajamarca durante el ciclo orogénico Andino y a un control estructural regional, la Falla Punre – Canchis. Nuestra zona de estudio se enmarca dentro de la franja de los depósitos tipo Pórfido de Cu-Mo-Au, Skarns de Pb-Zn-Cu-Ag y depósitos

polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno.

Se ha realizado un muestreo sistemático sobre afloramientos de roca por el método Rock Chip Sample, abarcando un total de 327 hectáreas, donde mediante el diseño de una malla de muestreo se han recolectado 145 muestras de roca. Las muestras fueron embolsadas, codificadas y enviadas a los laboratorios de ALS-Chemex; para su análisis de elementos menores por el método ICP. Con dichos resultados se ha realizado el tratamiento geoestadístico correspondiente, realizando la caracterización geoquímica correspondiente.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

1.1.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicada específicamente sobre terrenos de la Comunidad Campesina Michiquillay y Comunidad Campesina La Encañada, ubicadas en distrito de La Encañada, provincia y departamento de Cajamarca.

Aproximadamente a 900 km al NE de la ciudad de Lima y a 45 km de la ciudad Cajamarca, a una altitud que varía entre los 3,200 msnm y 4,000 msnm.

El área se encuentra incluida en el cuadrángulo de San Marcos (15-G) de la Carta Geológica Nacional, en las coordenadas centrales UTM (DATUM WGS-84, ZONA 17M) 795884E 9221240N. Lámina 01.

1.1.2. Accesibilidad

El acceso al área de estudio desde la ciudad de Lima se puede hacer vía terrestre o por vía aérea hasta el aeropuerto de Cajamarca, para luego continuar por vía terrestre desde la ciudad de Cajamarca por carretera asfaltada hasta el distrito de La Encañada y luego tomar el desvío por trocha hasta el área de estudio. Dicho trayecto se detalla en el siguiente cuadro (Cuadro N°1)

Tabla 1

Accesibilidad

RUTA	DISTANCIA (Km)	TIEMPO	VÍA
Lima - Cajamarca	900	14 hrs. 15 min	Asfaltada
	900	1 hrs. 10 min	Vía aérea
Cajamarca – La Encañada	35	45 min	Asfaltada
La Encañada – Área de estudios	15	20 min	Trocha carrozable

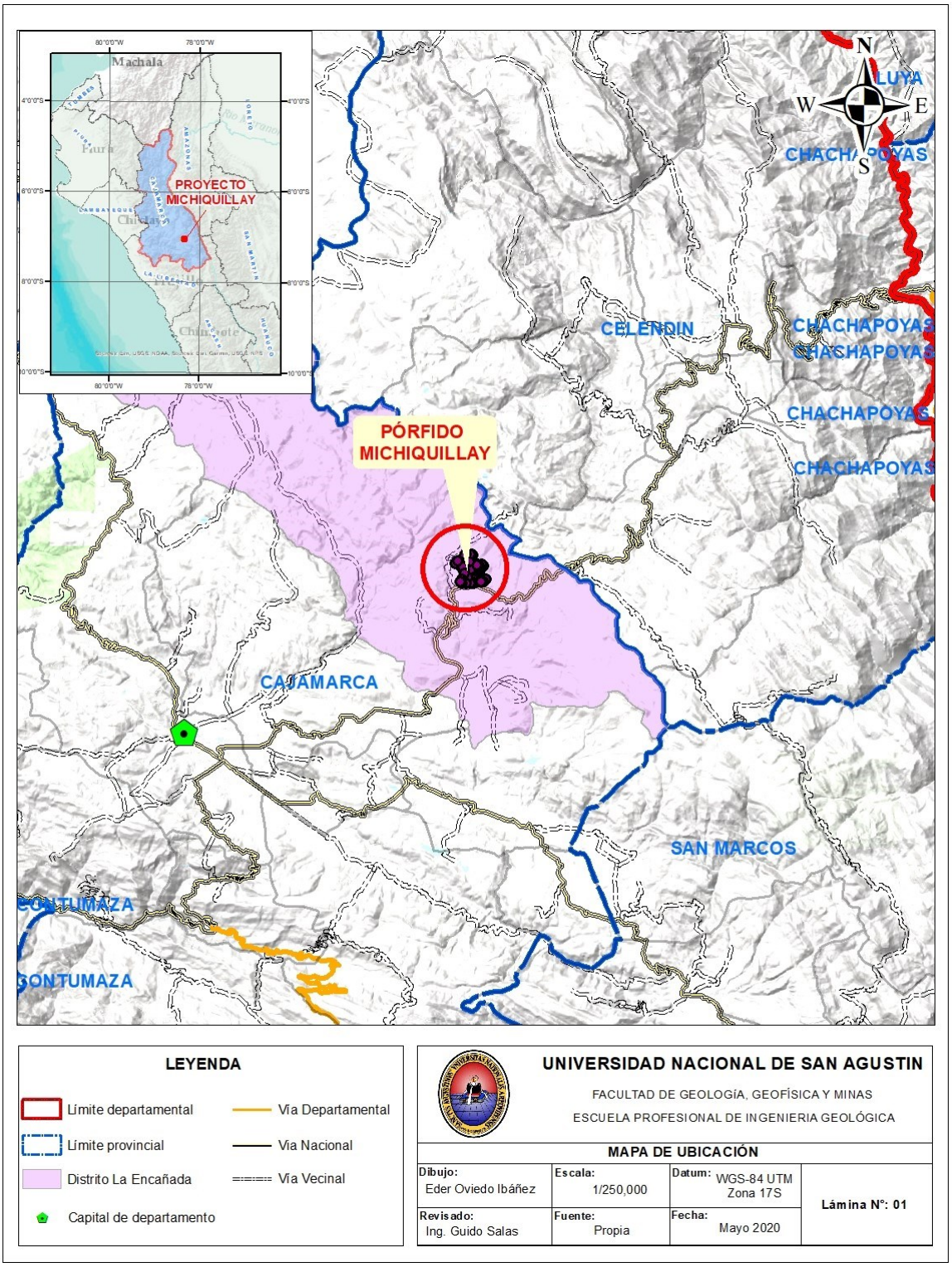

Lámina 1 ***Mapa de ubicación y accesibilidad a la zona de estudio.***

1.2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta la importancia que ha ido tomando la metalogenia y la geoquímica en los trabajos de prospección y exploración minera, que juntamente con las demás técnicas y herramientas disponibles tales como la Teledetección, Geofísica (métodos eléctricos, electromagnéticos, magnéticos, gravimétricos, radiométricos y de sísmica), Calicatas y Sondeos Mecánicos, forman un paquete vital para el descubrimiento de nuevos yacimientos mineros o para la ampliación de reservas de una unidad minera.

E ahí la problemática de este trabajo de investigación el cual surge entonces por la necesidad de alimentar de información detallada en cuanto a metalogenia y geoquímica se refiere, donde se propone sentar parámetros para la prospección en los alrededores del sistema porfirítico Michiquillay, en busca de nuevos targets exploratorios de interés para la empresa.

1.3.JUSTIFICACION

El Pórfido de Cu – Au – Mo Michiquillay carece de un estudio detallado que haya sido publicado a la fecha, en relación a la metalogenia del depósito, así como también carece de una caracterización geoquímica que nos permita identificar posibles targets exploratorios en sus alrededores.

1.4.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. General.

Estudiar los aspectos metalogenéticos y realizar la caracterización geoquímica del pórfido de Cu Au Mo Michiquillay.

1.4.2. Específicos.

Estudiar las relaciones desde el punto de vista metalogenético del pórfido de Cu Au Mo Michiquillay, con los depósitos tipo pórfido de Cu Au y Cu Mo asociados al fallamiento Punre – Canchis.

Determinar los parámetros geoquímicos de la zona estudiada e interpretar las correlaciones existentes entre los elementos traza presentes, para usarlos como guía de exploración.

El presente trabajo de tesis, ha sido realizado con la finalidad de optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo en la Facultad de Geología, Geofísica y Minas de la Universidad Nacional de San Agustín.

1.5.HIPOTESIS

La zona de estudio enmarca un área altamente prospectable por las características geológicas (intrusivos dacíticos y rocas cajas favorables como las areniscas, cuarcitas, rocas calcáreas), estructurales (fallamiento Punre – Canchis) y metalogenéticas (franja de los depósitos tipo Pórfido de Cu-Mo-Au, Skarns de Pb-Zn-Cu-Ag y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno) que presenta.

1.6.TRABAJOS ANTERIORES.

A la fecha solo se ha realizado trabajos de ámbito regional los cuales abarcan nuestra área de estudio, a continuación, se detalla estos estudios:

- Bazán O., (2016), Evolución Geotectónica de la Deflexión de Cajamarca y su Implicancia en la Metalogenia del Norte del Perú. XVIII Congreso Peruano de Geología. Lima, Perú.
- Bazán O., Lagos A., (2018), Implicancias Tectónicas en el Magmatismo y Metalogenia de la Región Cajamarca. XIX Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos

Sociedad Geológica del Perú. Lima, Perú.

- Córdova J., Hoyos D., (N.A), Geología del Pórfido de Cu-(Au-Mo) EL Galeno, Cajamarca, Perú. Lima, Perú.
- Davies Ch., Williams P., (2005), Article The El Galeno and Michiquillay Porphyry Cu–Au–Mo Deposits: Geological Descriptions and Comparison of Miocene Porphyry Systems in the Cajamarca District, Northern Peru. Mineralium Deposita (2005) 40: 598–616, DOI 10.1007/s00126-005-0026-6.
- Gutierrez A., (2014), Tesis, Mineralización y Caracterización Geometalúrgica de los Pórfidos Cu-Au de Perol-Chailhuagon, Minas Conga, Lima, Perú.
- Heras K., (2017), Tesis, Estudio de las Estructuras de Emplazamiento de Cuerpos Ígneos Plutónicos entre la Comunidad de Michiquillay y el Sector el Punre. Cajamarca, Perú.
- Raymond R., Quispe J., Rodriguez I., Villarreal E., (2008), Comparación entre los Sistemas Porfiríticos Cu-Au-Mo y Au-Cu del Norte del Perú (Región Cajamarca). INGEMMET.
- Rivera R., (2007), Características Metalogénicas de los Yacimientos Asociados al Vulcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú, Región Cajamarca. Lima, Perú. INGEMMET.

CAPÍTULO II

GEOGRAFIA

2.1. RELIEVE Y GEOMORFOLOGIA

2.1.1. Relieve.

La zona de estudio se ubica en la cordillera occidental, presenta un relieve moderado a ligeramente accidentado con altitudes que se elevan rápidamente desde los 3000 m.s.n.m hasta los 4000 m.s.n.m, originando pisos altitudinales los que condicionan ambientes morfoclimáticos característicos. El área de estudio se encuentra bisectado por valles relativamente profundos y en pequeños tramos encañonados.

2.1.2. Geomorfología.

La ubicación geomorfológica del área de estudio corresponde a una transición entre la zona de valle interandino y la superficie puna o altiplanicie. De acuerdo con la pendiente longitudinal de los ríos principales, se puede señalar que todavía no han alcanzado su estado de equilibrio, por lo que constituyen superficies de erosión, principalmente los flancos de los valles que forman, los cuales son afectados por la escorrentía superficial, es decir que las superficies están disectadas por numerosos afluentes rejuvenecidos.

El stock dacítico y la orientación de los estratos del Cretáceo han determinado la orientación de la quebrada Quinuamayo conformando una morfología de relieve moderado. La parte alta de la cuenca ha sufrido la acción glaciar y fluvio glaciar, determinando valles de tipo “U”, es decir, de laderas relativamente estables y longitudinalmente controladas por depósitos terminales de este tipo de sedimentos. Con estas características morfológicas se ha definido dos unidades morfológicas.

Zona Altoandina.

Inicia a partir de los 3,700 msnm, corresponde a zonas con superficies onduladas y zonas excavadas por las glaciaciones que han resultado allanadas por la acumulación glacial. Litológicamente está constituida por rocas sedimentarias y volcánicas correspondientes principalmente a las formaciones geológicas Yumagual, Quilquiñán/Mujarrun, del cretáceo superior y por depósitos fluvioglaciares y lagunares, así como por depósitos fluviales, del pleistoceno y del holoceno, respectivamente.

Foto 1 ***Mirando al S. Partes altas de la zona de estudio (Zona Altoandina)***

Foto 2 ***Mirando al NW. Partes altas de la zona de estudio (Zona Altoandina)***

Las formas de relieve identificadas en la zona Altoandina son:

Altiplanicies: En nuestra zona de estudio se caracteriza por presentar un relieve suave con resto de pequeños valles maduros, rezagos de lagunas y zonas de bofedales. se puede identificar dos tipos de altiplanicies.

Altiplanicie Ondulada. Corresponde a zonas ligeramente onduladas con pendientes que van desde los 4% a 8%, generando pequeños valles maduros (en forma de U), en ésta zona se ubican también las zonas de bofedales y rezagos de lagunas.

Altiplanicie Disectada. Corresponde a zonas excavadas por las glaciaciones y que han resultado allanadas por la acumulación glacial; además corresponde a zonas con acumulación de sedimentos lagunares y fluviales. Las pendientes van desde los 8% a 25%.

Foto 3 ***Altiplanicie Ondulada con zonas de pequeños bofedales***

Foto 4 ***Altiplanicie Ondulada con zonas de cultivos.***

Colinas: Éste tipo de relieves predomina por sobre los 3700 msnm, han sido formados por las fases tectónicas del levantamiento andino y modeladas por las glaciaciones cuaternarias. En el área de estudio, los relieves colinosos no sobrepasan los 300 m de altura medidos entre las cimas y sus bases.

Las pendientes de estos relieves se establecen mayoritariamente entre 25 % a 75 %. La

geoforma más resaltante de este tipo de relieve es cerro Las Antenas ubicado en la parte alta de la comunidad campesina Michiquillay

Foto 5 ***Mirando al SE, Colina empinada del Cerro Punre***

Zona Mesoandina.

Comprende los terrenos ubicados entre los 3,800 msnm y los 2,600 msnm aproximadamente. Corresponde a zonas de topografía moderadamente accidentada conformada por laderas de montaña moderadamente ramificadas y estructuralmente plegadas; los procesos geomorfológicos también corresponden a los de escorrentía superficial, cuya agua a su paso produce erosión en las laderas. Litológicamente están constituidas por rocas sedimentarias correspondientes a las formaciones geológicas del cretáceo inferior como el Grupo Goyllarisquizga, así como a rocas volcánicas del paleógeno y del neógeno.

Las formas de relieve identificadas en la zona Mesoandina son:

Valle Aluvial. Es una zona templada que se ubica por debajo de los 3700 m.s.n.m. corresponde a zonas llanas de poca pendiente (0 % a 10 %), está conformada por todos los valles generados por el excavamiento y disección de las diversas quebradas y ríos de la zona de estudio. Estos valles al ser jóvenes tienen una morfología en “V”.

Terrazas. Zonas planas con pendientes muy suaves formadas por la evolución geomorfológica de los cauces. La terraza más resaltante en la zona de estudio es la que forman los ríos Michiquillay y Quinuamayo, lugar donde se ubica la C.C Michiquillay (foto N° 06).

Foto 6 ***mirando al SW, C.C. Michiquillay (Zona Mesoandina)***

2.2. HIDROGRAFIA Y DRENAJE

La red de drenaje que presenta el área de estudio es de tipo dendrítico y tiene una densidad mediana de cauces, conformada por varios alimentadores menores, que se van uniendo a los cauces principales como son los ríos Grande y La encañada a medida que éste desciende de sus cabeceras. La microcuenca tiende a comportarse como una unidad torrencial de avenidas fluviales moderadas a fuertes durante la estación de lluvias (diciembre a abril) y reducidos caudales durante la prolongada estación seca.

Las quebrada Quinuamayo, Chulluamayo, Las Mellas, La Toma, Michiquillay, conforman la microcuenca del rio La Encañada dicha red hidrográfica se ubican en la parte central de nuestra área de estudio. El rio la Encañada tiene un recorrido de norte a sur, a lo largo de su recorrido reciben aportes de varias quebradas por ambas márgenes, luego de cruzar el pueblo de Namora, el río cambia de nombre, denominándose río Namora hasta la confluencia con el río Cajamarca.

La Microcuenca del Río Grande se ubica al Nor-Oeste de la zona de estudio cuenta con dos tributarios, las quebradas Yanacocha y Chamcas. Este río se une con los ríos Azufre y Paccha (por la margen derecha), a partir del cual se denomina río Chonta, discurriendo con este nombre hasta recibir las aguas del río Mashcón (por la margen derecha) a partir del cual se denomina río Cajamarca, luego Crisnejas, llegando así a confluir al río Marañón.

2.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

La zona pertenece a la región natural denominada "Región Quechua". En la cual se presenta un clima con una temperatura media anual de 14,2 ºC. En la zona de estudio se presenta una precipitación promedio de 620 mm3.; con tres períodos, uno lluviosos con 55% de la precipitación anual (diciembre, enero, febrero, marzo), un período intermedio con 36 % de la precipitación anual (abril, setiembre, octubre y noviembre) y un período seco con 9% de la precipitación anual (mayo, junio, julio y agosto).

En las partes más altas a partir de los 3500 m.s.n.m., la vegetación característica es el Ichu, recién por debajo de esta cota se desarrolla la agricultura, con cultivos pecuarios como pasto "Rye grass" y en cuanto a cultivos agrícolas figuran entre los más importantes la cebada, el trigo, el maíz y la papa.

En algunas laderas rocosas y de fuerte pendiente se puede encontrar vestigios de la vegetación natural existente antes de la actividad humana. El hábito es predominantemente arbustivo y destacan: *Baccharis spp*., *Brachyotum spp*., *Calceolaria spp*. y *Arcytophyllum sp*.

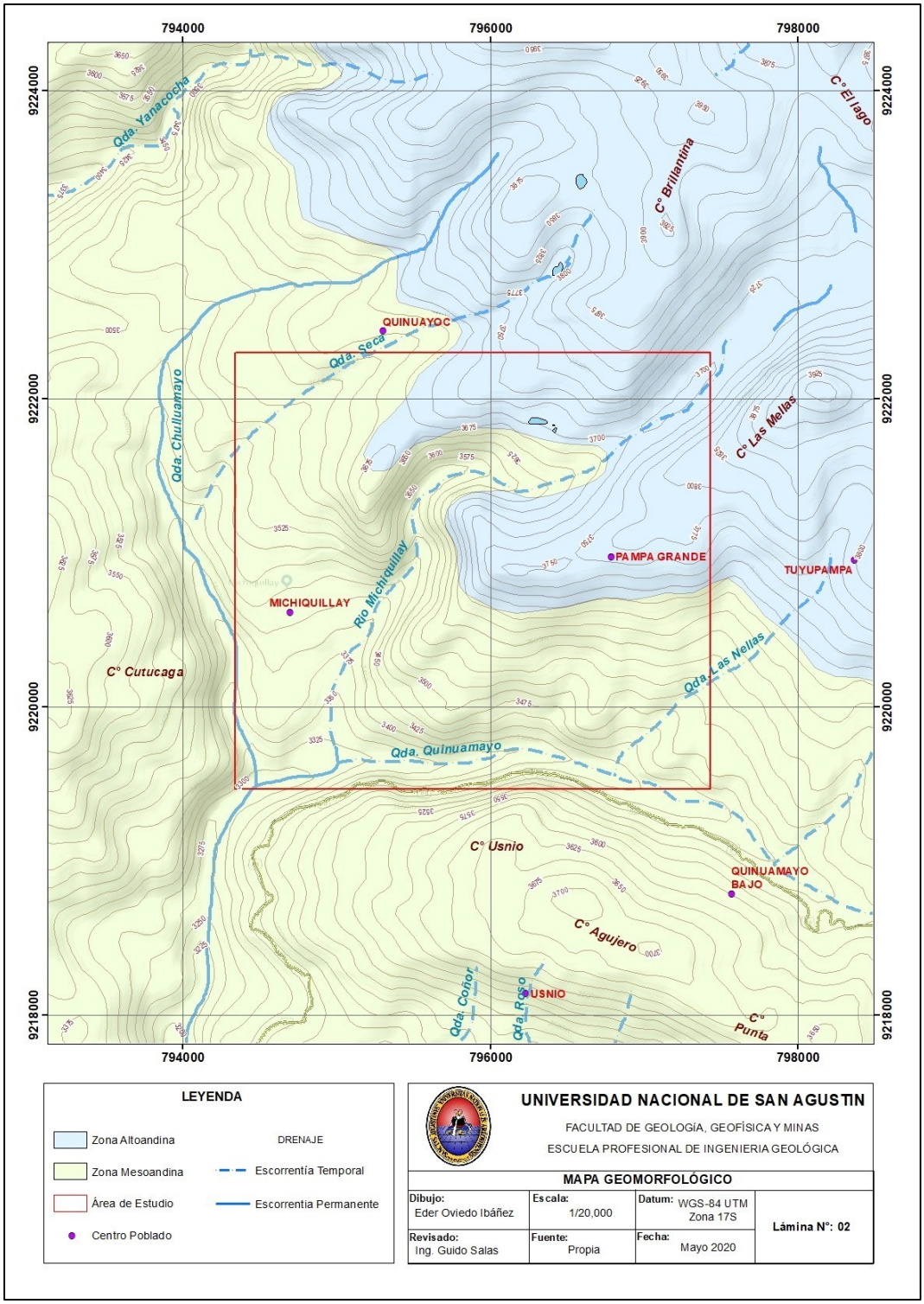

Lámina 2 ***Mapa Geomorfológico.***

CAPÍTULO III

GEOLOGIA REGIONAL

3.1. INTRODUCCIÓN.

El aspecto geológico regional de nuestra área de estudio está ampliamente dominado por rocas sedimentarias del Cretáceo, rocas volcánicas del Paleógeno - Neógeno y sedimentos del Cuaternario.

Esta área presenta muchas características lito estratigráficas, donde las rocas cretáceas conforman el basamento empezando por el Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo, compuesta de areniscas, cuarcitas, calizas y lutitas de las formaciones Chimú, Santa, Carhuáz Farrat, las formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Pulluicana, Quilquiñán, y Cajamarca (Cretácico inferior - superior) están conformadas por principalmente calizas, lutitas y los depósitos volcánicos paleógenos y neógenos se encuentran constituidos generalmente por flujos piroclásticos y de lava, que corresponden al Grupo Calipuy y al Volcánico Huambos. También presenta depósitos cuaternarios de origen fluvioglaciar, glaciar, lagunar, eólico, fluvial, coluvial y aluvial. Los de origen aluvial y fluvial se presentan inconsolidados y están conformados por gravas mientras que los depósitos fluvio glaciar, coluvial, lacustre y eólico se encuentran ligeramente consolidados.

3.2. ESTRATIGRAFIA

3.2.1. Grupo Goyllarisquizga.

Aflora ampliamente en el área de estudio, su ocurrencia característica es a modo de franjas con dirección N-S y NO-SE. Este grupo en su facies de plataforma ha sido estudiado bajo la denominación de Grupo Goyllarisquizga, el cual litológicamente consiste en cuarcitas blancas masivas y areniscas generalmente de grano medio y color blanquecino, en la parte inferior, con intercalaciones delgadas de lutitas marrones y grises en la parte superior. Su grosor oscila entre los 200 y 500 m., con tendencia a adelgazarse hacia el oeste.

Por posición estratigráfica y por restos de plantas encontradas en la parte sur oriental del cuadrángulo de Jaén se le asigna una edad cretáceo inferior. Se puede correlacionar con el grupo Oriente presente en las cuencas del Huallaga y Marañón.

Mientras que es sus facies de cuenca ha sido diferenciado en las formaciones Chimú, Santa, Carhuáz y Farrat.

Formación Chimú.

Esta formación aflora Noreste del área de estudio conformando el anticlinal Punre. Consiste en una alternancia de areniscas cuarzosas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Por sus relaciones estratigráficas se ubica a la formación Chimú en el Valanginiano inferior a medio, pues yace sobre la formación Chicama del Titoniano e infrayace a la formación Santa del Valanginiano superior. Se correlaciona con las cuarcitas de la formación Hualhuani (parte superior del Grupo Yura) de la región de Arequipa y con la parte inferior de la formación Llacanora (TAFUR -1950).

Formación Santa.

También aflora al Noreste conformando el anticlinal Punre. Consiste en la intercalación de lutitas, calizas margosas, y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre los 100 y 150 m. suprayace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuáz, aparentemente con discordancia paralela en ambos casos, por lo cual se le puede asignar a la formación Santa una edad del Valanginiano superior.

Formación Carhuáz.

Aflora en la parte Noroeste de caserío Rodacocha. Consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciarla en el campo). Hacia la parte superior contiene bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. La formación Carhuáz yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordante a la formación Farrat, probablemente las edades Valanginiano superior Hauteriviano y Barremiano corresponden a esta formación, ya que a su vez infrayace a sedimentos del Aptiano – Albiano.

Formación Farrat.

Esta formación aflora en nuestra área de estudio. Está conformada de areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. en algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje. La formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuáz e infrayace con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares de tratarse de un paso gradual. La formación Farrat infrayace a sedimentos de los niveles más altos del Aptiano por lo que se le asigna una edad aptiana.

3.2.2. Formación Inca.

Aflora en los alrededores del área de estudio. Consta de la intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas dando en superficie un matiz amarillento. Su grosor aproximado es de 100 m. Infrayace concordantemente a la formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat. presencia de parahoplites, se le asigna una edad que se encuentra entre el Aptiano superior y Albiano inferior.

3.2.3. Formación Chulet.

En el área de Cajamarca se caracteriza por presentar un color de intemperismo generalmente crema o gris amarillento.

Consiste en capas delgadas bien estratificadas de lutitas gris, marga amarillenta y calizas marrón crema. Las calizas son lutáceas o margosas, generalmente se presentan en capas delgadas y nodulares.

Debido a la gran cantidad de fósiles encontrados se le asigna una edad del Albiano medio y en el Albiano inferior.

3.2.4. Formación Pariatambo.

Consiste en una alternancia de lutitas con delgados lechos de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos. A pesar de las variaciones en su litología, siempre se presenta en capas delgadas uniformemente estratificadas. Su espesor varía entre 150 a 200 m. La fauna de la Formación Pariatambo está compuesta mayormente por especies de amonites y escamas de peces lo que indica la parte superior del Albiano medio.

3.2.5. Grupo Pulluicana.

Este grupo fue descrito por Tafur, I. (1950) en el pueblo de Pulluicana,7 km al Oeste de la ciudad de Cajamarca, posteriormente Benavides, V. (1956), separó dos formaciones una inferior (formación Yumagual) y otra superior (Formación Mujarrún).

La litología predominante es una caliza arcillosa, grisácea, que intemperiza a crema o marrón claro y que se presenta en capaz mediana, nodulares e irregularmente estratificadas. Intercaladas con las calizas, hay capaz de margas marrones y lutitas grisáceas o verdosos, así como algunas capas de limonitas y areniscas.

La parte inferior de este grupo (Formación Yumagual) corresponde al Albiano superior – Cenomaniano inferior, y la parte superior (Formación Mujarrún) corresponde al Cenomaniano superior.

3.2.6. Formación Mujarrun y Grupo Quilquiñán Indivisos.

TAFUR (1950) reconoció con el nombre de formación Mujarrún y Quilquiñán a dos unidades consecutivas, integradas dentro de los grupos Pulluicana, y Otuzco respectivamente; más tarde, BENAVIDES (1956) diferencia en la formación Mujarrún a los miembros Choro y Culebra y eleva a la categoría de grupo a la formación Quilquiñán, diferenciando dentro de él a las formaciones Romirón y Coñor. Esta unidad tiene extensa distribución en la Pampa de la Culebra cerca de La Encañada.

La base consiste en una secuencia de calizas nodulares, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas con abundantes elementos del género Exogyra. Continúan delgados lechos de calizas nodulares con margas de color pardo amarillento, también fosilíferas. Finalmente se encuentran bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles. Alcanza un espesor aproximado de 500 m.

La parte inferior de la secuencia (Fm. Mujarrún) descansa concordantemente sobre la formación Yumagual, mientras que la parte superior (Fm. Quilquiñán), infrayace con discordancia paralela a la formación Cajamarca y teniendo en cuenta la fauna identificada, ubica a estas unidades entre el Cenomaniano medio y el Turoniano inferior.

3.2.7. Formación Cajamarca.

Los Principales afloramientos de la formación Cajamarca se ubican en el sector de la Pampa de la Culebra, hacienda Sangal, y en los cuadrángulos de Cutervo, Chota y Celendín, pero tiene una amplia distribución en toda la región.

Esta formación consiste de calizas gris oscuras o azuladas, calizas limoarcillíticas nodulosas en estratos conspicuos y resistentes, con delgados lechos de lutitas y margas.

El Coilopoceras neweli asigna a la formación Cajamarca la edad perteneciente al Turoniano superior.

3.2.8. Formación Celendin.

Aflora restringidamente al oeste del distrito de Encañada, conformando un eje de un sinclinal se caracteriza presentar por tonos amarillentos y marrones producidos por intemperismo.

Consiste en una intercalación de lutitas, margas y calizas delgadas de color claro, amarillento o crema por intemperismo. El contacto de la formación Celendín con la formación Cajamarca que infrayace es concordante, en esta parte no se observa contacto con la formación Chota la cual suprayace. Esta formación representa el final de la sedimentación marina del cretáceo. Se le asigna una edad del Coniaciano y Santoniano.

3.2.9. Grupo Calipuy.

Se extiende ampliamente en el departamento, ocupando buena parte de la franja oeste. En los cuadrángulos de San Marcos y Cajamarca, el Grupo Calipuy ha sido dividido en tres series: Volcánico Tembladera (bancos andesíticos, tobas blanquecinas estratificadas en capas delgadas, alternantes con delgados lechos de areniscas y lutitas tobáceas), Volcánico Chilete (intercalaciones tobáceas, areniscas tobáceas, conglomerados lenticulares y materiales volcánicos re trabajados) y Volcánico San Pablo (rocas volcánicas, intercaladas en la base con areniscas rojizas y en la parte superior por una secuencia de aglomerados y piroclásticos bien estratificados). En los cuadrángulos de Chepén, Chota, Chogoyape, Incahuasi, se subdividida en los volcánicos Llama y Porculla. El Grupo Calipuy es el producto de un vulcanismo post-tectónico en la región cordillerana y representa el magmatismo efusivo que siguió al emplazamiento definitivo del batolito costanero. Generalmente, la disposición de esta serie vulcano-clástica ha sido subaérea y de gran extensión.

Por posición estratigráfica se le asigna una edad desde el Paleógeno al Neógeno.

3.2.10. Depósitos Cuaternarios.

Se tiene una variedad de depósitos cuaternarios, como los morrénicos y fluvioglaciares en las zonas más elevadas, los lacustres en las pequeñas cuencas interandinas, los aluviales en las faldas de cerros y laderas de valles, y finalmente los fluviales en los lechos de los ríos. Los fluvioglaciares se desarrollan ampliamente al sureste de Cajamarca y la Encañada, donde están constituidos por una grava en matriz areno-arcillosa, con abundante material anguloso proveniente de las rocas circundantes.

Los materiales lacustres involucran todos los materiales depositados casi horizontalmente en pequeñas cuencas ocupadas anteriormente por lagunas. Estos depósitos se encuentran en diferentes

lugares y niveles, dispuestos en bancos sub-horizontales constituidos por material fino areno-arcilloso, a los que algunas veces se intercalan lentes de gravas y delgados conglomerados. Estos depósitos se hallan en la Pampa de la Culebra, Pampa de Polloc, entre el pueblo de Cajamarca y los Baños del Inca, pampas de Tintac y Sumbatillo y los pueblos de Namora, Matara, San Marcos, Ichocán y Cajabamba. Dentro de los depósitos aluviales se han considerado los materiales con poco transporte y en los fluviales las diferentes terrazas dejadas por los ríos.

3.3. ROCAS INTRUSIVAS.

A lo largo de la Cordillera Occidental de esta región, aflora una serie de stocks alineados, dando la forma de una franja, tal como se observa en otras áreas del batolito costanero. Generalmente son de composición dacítica y están asociados con la mayor parte de la mineralización polimetálica de la sierra. En muchos casos son intrusivos subvolcánicos y generalmente están relacionados a los volcánicos terciarios que cubren una gran extensión del flanco de la cordillera.

Los principales cuerpos de dacitas y andesitas porfiríticas dentro de la región están representados por los stocks de Michiquillay, Conga, Minas Aurora, Patricia, las del anticlinal de Algamarca (Minas Algamarca) y los sills y diques como los del Observatorio Meteorológico del "Kanzel" (hacienda Sunchubamba), de los Baños termales de "La Grama" y los stocks de Hualgayoc.

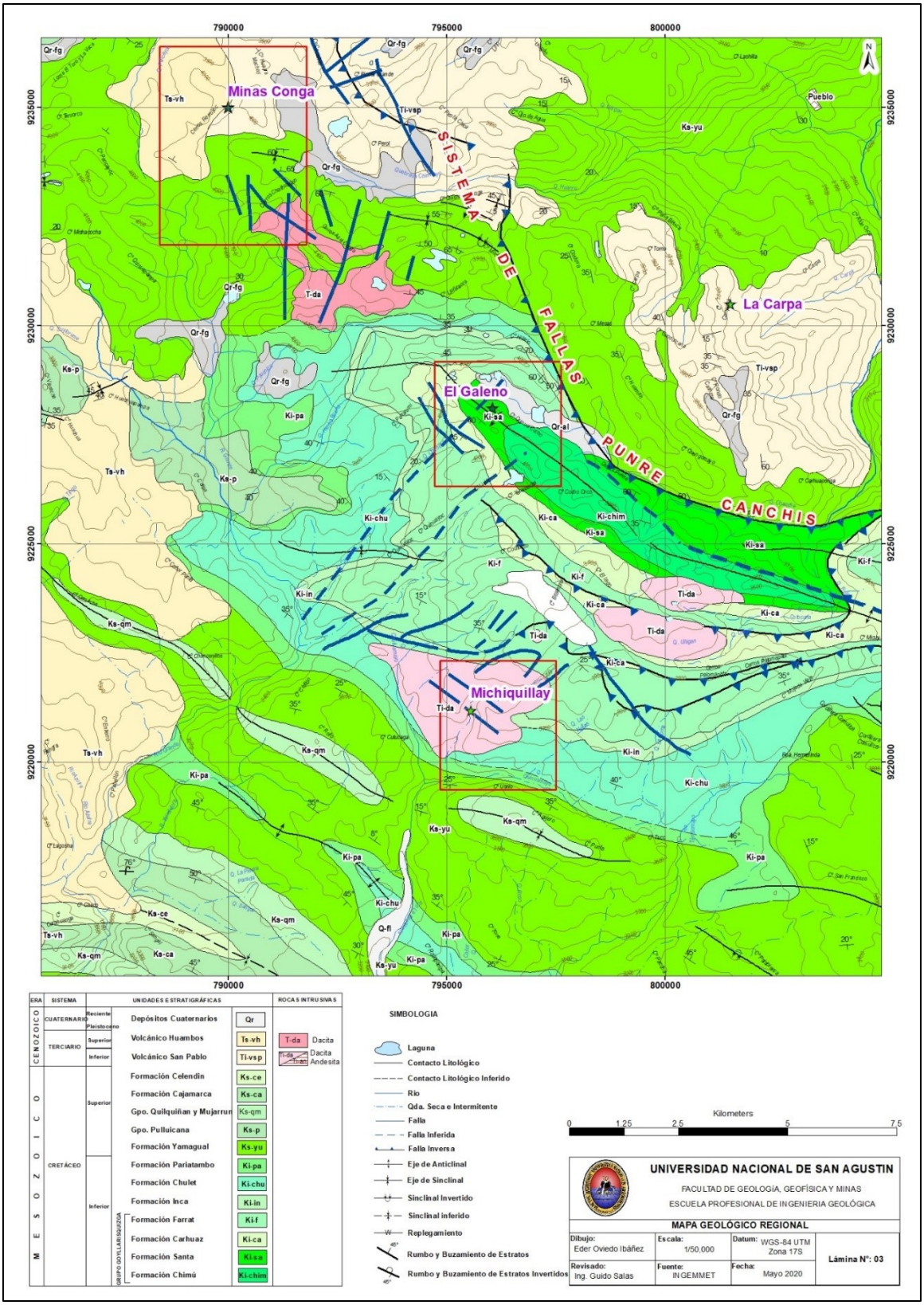

Lámina 3 ***Mapa Geológico Regional.***

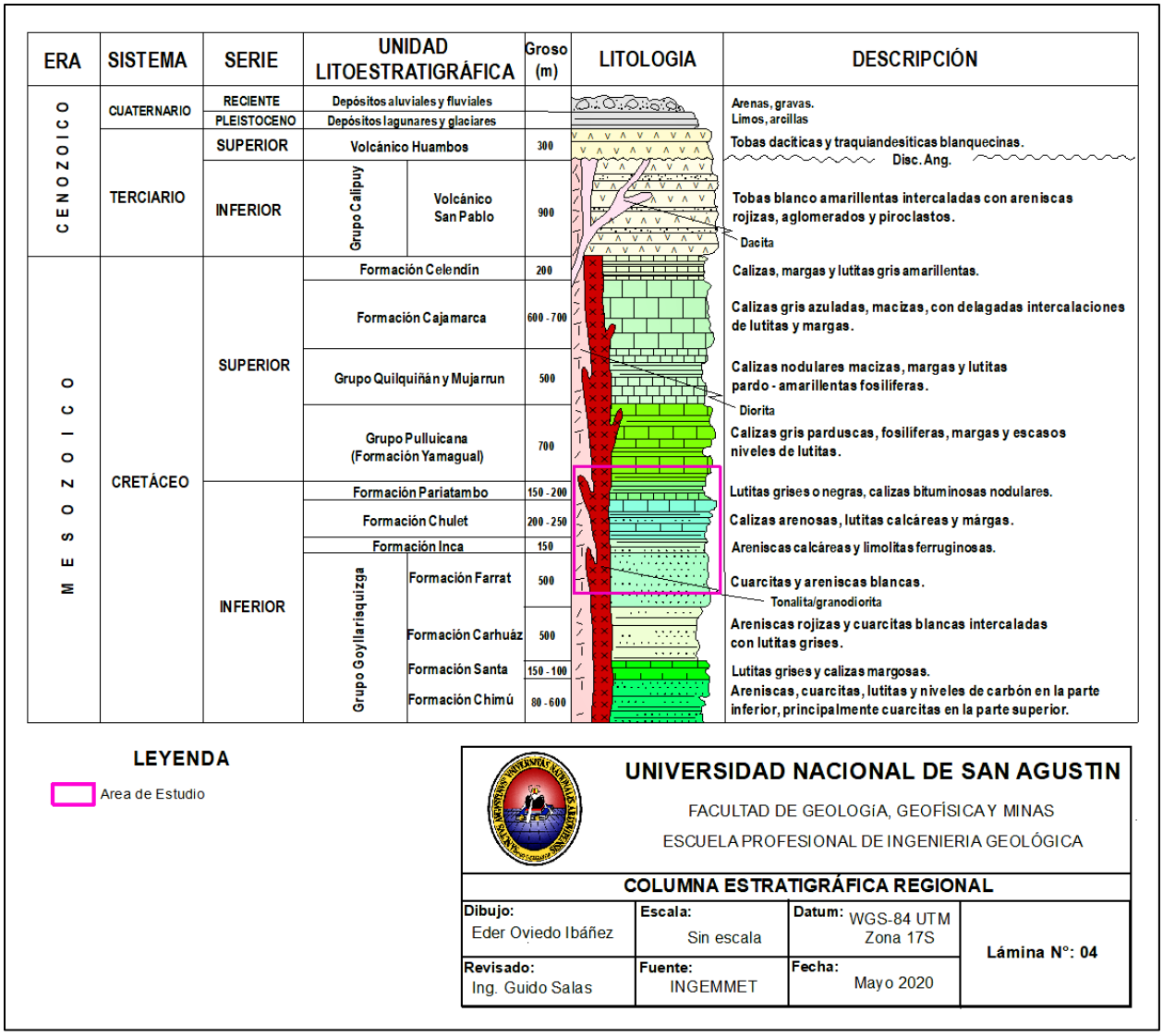

Lámina 4 ***Columna Estratigráfica Regional.***

3.4. MARCO TECTÓNICO REGIONAL.

Regionalmente la zona está caracterizada principalmente por rocas sedimentarias Cretáceas que fueron deformadas durante el Cenozoico por dos episodios orogénicos conocidos respectivamente como la Fase Inca (I-IV) y Quechua (I y II) (Mégard, 1984; Benavides, 1999). Estos episodios se deben al cambio de la subducción tipo mariana que ocurrió desde el Cenozoico temprano, siendo marcada desde este tiempo por repetidos episodios de compresión con diferentes intensidades evidenciadas por discordancias, pliegues, fallas y demás estructuras, materializadas en zonas de deformación (fajas o provincias estructurales).

Lo que marca la diferencia entre la Fase Inca y Quéchua son los ratios de convergencia de la placa que influyen directamente sobre cada una de las fases orogénicas. Los primeros pulsos orogénicos de la fase Inca ocurrieron durante el Eoceno sobre un margen reactivado del escudo brasilero (Macfarlane, 1999).

3.4.1. Tectónica Inca.

Para el presente trabajo se describe solamente esta fase debido a que es la que más relevancia tiene dentro del área estudiada.

Benavides-Cáceres subdivide en cuatro Eventos (Inca I – Inca IV). Esta fase está caracterizada por el intenso plegamiento (fajas de orientación NO – SE) y fallamiento (rumbo NE) en rocas sedimentarias del Cretáceo. Como resultado de esta fase, discordantemente a las rocas mesozoicas, se inicia la depositación de los Volcánicos Llama (55 Ma; Benavides, 1999; Noble et al. 1990).

La reconstrucción de Pardo-Casas y Molnar (1987) determinan una fuerte velocidad de convergencia que cubriría el Eoceno inferior y medio, es decir correspondería a una subducción plana (Carlotto et. al) y coincidiría con el inicio del evento tectónico Inca II considerada como la principal fase de acortamiento de los andes peruanos, que desarrolla principalmente el cinturón

intensamente deformado y plegado al este de la Cordillera Occidental. Las estructuras incaicas de esta parte fueron profundamente recortadas por erosión subsiguiente y cubiertas discordantemente más hacia el noreste por conglomerados y rocas volcánicas datadas de alrededor de 40 M.A. (D. C. Noble y otros, 1974, 1979). La Fase Inca II, se caracterizó por una deformación "compresiva" cuya máxima expresión se sitúa hacia los 43 – 42 Ma (Noble, et al, 1988 – 1989). Hay un aumento de la velocidad de convergencia, la deformación afecta a todo el basamento sedimentario Cretáceo, originando plegamientos subpararelos de dirección WNW – ESE y fallas inversas de tendencia NW a WNW. Seguida de esta fase inicia la depositación del Volcánico Chilete, Formación Porculla.

La Fase Inca III (30 – 27 Ma), coincide con disminución de la tasa de convergencia durante el Oligoceno, dando como resultado la disminución del vulcanismo, la dirección de convergencia a rotado en sentido horario hasta E – W, producto de la ruptura de la placa Farallón.

La última Fase Incaica (Fase Inca IV, 23 – 22 Ma). Corresponde al reinicio de la alta convergencia de placas. Se produce el magmatismo que se asocia al primer evento de emplazamiento de sistemas porfiríticos en Cajamarca (Camus, 2007), que se hospedan en rocas mesozoicas deformadas. Uno de los principales factores que controló el magmatismo (plutonismo – volcanismo) en el norte del Perú, fue la dirección del movimiento de la placa tectónica oceánica (placa de Nazca) y sus diferentes razones de convergencia.

La característica tectónica más importante del Mioceno temprano fue la rotación en sentido del reloj de la dirección de convergencia de la placa de Nazca (Pardo-Casas y Molnar, 1987).

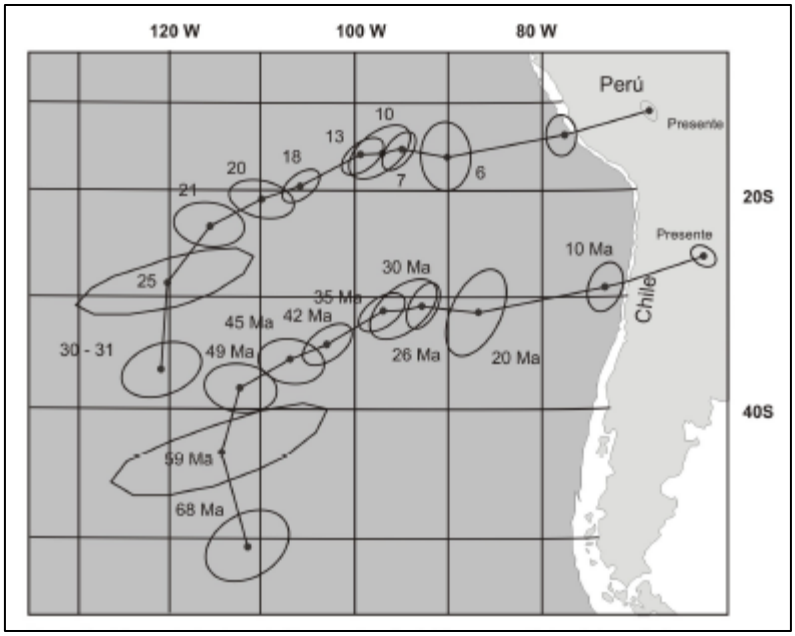

Figura 1 ***Posiciones de la placa de Nazca a través de tiempo geológico interpretado mediante anomalías magnéticas (Pardo – Casas y Molnar, 1987)***

Los sistemas porfiríticos de la región de Cajamarca por su distribución espacial, sentido de evolución geocronológica y sus similitudes geoquímicas se relacionan un común control estructural regional, la Falla Punre – Canchis (Raymond Rivera, 2008). El origen de la falla Punre-Canchis (Quispe et al., 2007) se piensa está relacionada al Tectonismo de placa. El comportamiento inicial de esta falla regional fue de rumbo con sentido dextral, con una clara componente compresional. Es durante el Mioceno temprano que debido al giro en sentido del reloj de la dirección de convergencia de la placa de Nazca, que la falla Punre-Canchis se reactiva. La característica principal de la reactivación de la falla es que cambia su sentido de movimiento a un comportamiento sinestral, con una fuerte componente compresional, pero además con una clara componente tensional en las zonas de inflexión de la falla.

Estas zonas de inflexión sujetas a un esfuerzo tensional se habrían comportado como zonas de menor presión y serían propicias para el emplazamiento de los sistemas porfiríticos.

Tal es así que se han identificado tres Corredores estructurales que controlan la disposición espacial de los depósitos minerales. El Corredor estructural San Pablo – Porculla (Enriquez et al., 2006) con rumbo NW en el que se localizan una serie de yacimientos epitermales del tipo baja sulfuración. El Corredor Michiquillay – Hualgayoc (Gómez & Veliz, 2002) alineado al trend Andino caracterizado por el emplazamiento de depósitos porfiríticos controlados por el sistema de fallas Punre – Canchis. Y el Corredor estructural Chicama – Yanacocha (Quiroz, 1997) con rumbo NE en el que se han emplazado yacimientos auríferos en depósitos epitermales de alta sulfuración. Según Raymond Rivera, y Alex Santisteban: todos estos corredores estructurales tienen su origen en las grandes fallas regionales de rumbo andino, que por lo general debido a la convergencia oblicua de las placas tectónicas tienen una componente cizallante asociada (strike slip). Esto se puede apreciar claramente en el rumbo NW de los corredores estructurales de San Pablo – Porculla y Michiquillay - Hualgayoc. Ellos asocian al Corredor Estructural San Pablo - Porculla a un movimiento inverso – dextral, con la formación de estructuras "Horst tail" y mineralización de Au en depósitos epitermales de baja sulfuración.

Otra estructura Andina que presenta una componente de cizalla es la Falla Cajamarca que se originó durante la Tectónica Inca con componente inverso y se reactivó en el Paleógeno superior como falla direccional dextral.

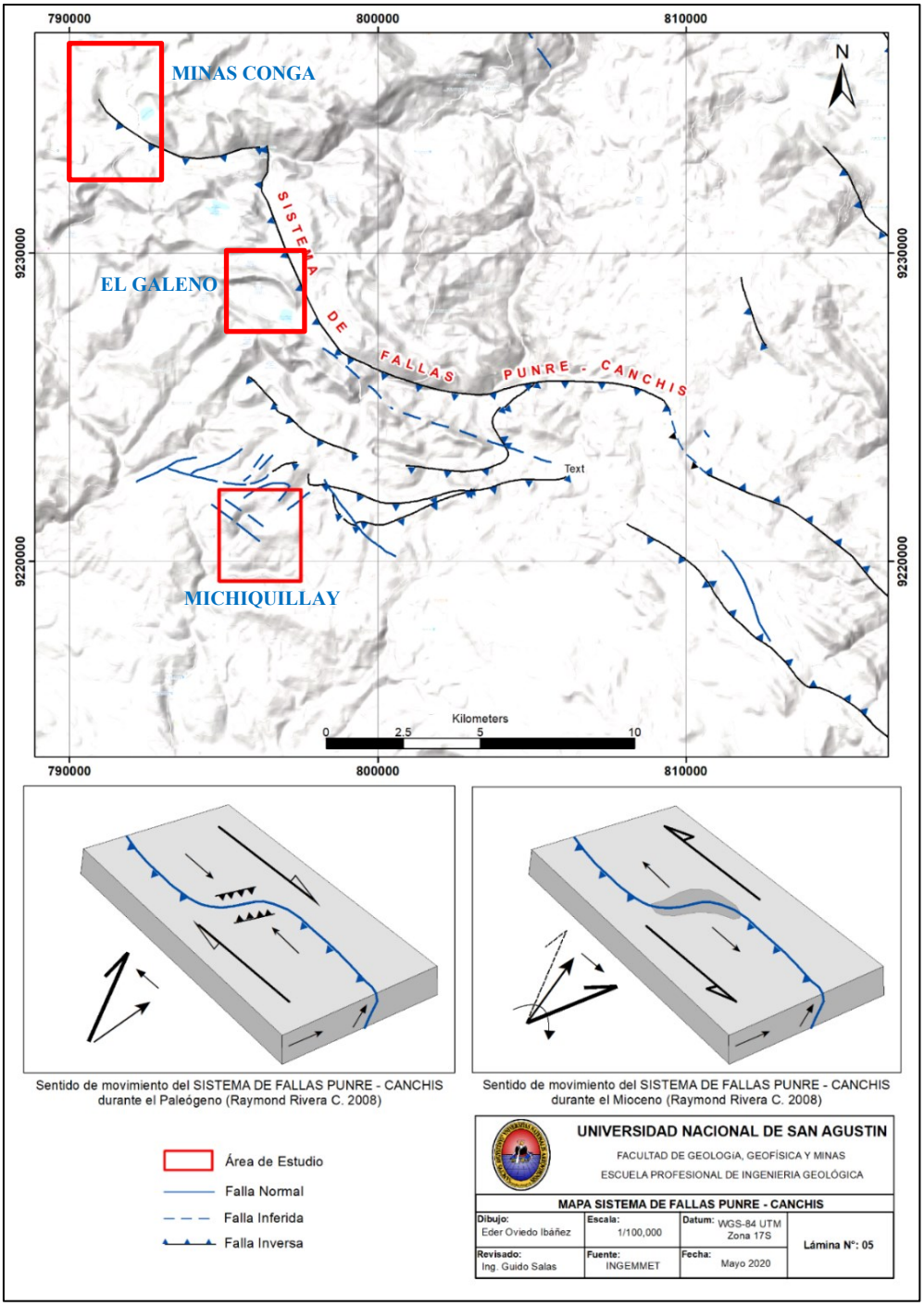

Lámina 5 ***Mapa Sistema de Fallas Punre – Canchis y su relación con la zona de estudio.***

Dentro del área de estudios se observan algunas características morfo estructurales muy importantes como:

La Deflexión de Cajamarca es una estructura tectónica donde toda la secuencia cretácea de dirección NNO, cambian a una dirección ONO – ESE. Se desarrolla dentro de la cuenca sedimentaria Cajamarca, separada al norte por el sistema transformante Hualgayoc, al sur por el sistema Transformante Trujillo y al éste por el sistema de fallas Marañón.

La formación de la deflexión de Cajamarca se inicia en el Campaniano, en la fase tectónica Peruana (Benavides, 1999), como producto de una fase compresiva que provoca el levantamiento de la cuenca Cajamarca y un plegamiento inicial de dirección NO, estos esfuerzos tectónicos (transpresivo dextral) que se dan lugar en el frente andino oriental provocan la formación de fallas transcurrentes de dirección NNO, como el sistema de fallas Ascope – Cutervo y la falla Santiago de Chuco – Cajabamba que juegan un papel importante en la evolución de la deflexión de Cajamarca.

En el Eoceno temprano (43 – 42 Ma) se produce la fase tectónica Inca 2 (Benavides, 1999), que se caracterizó por una fuerte compresión que afecta la columna sedimentaria Cretácica, originando repliegues y fallas inversas de tendencia NO a ONO. Esta fase es decisiva en la evolución de la deflexión de Cajamarca ya que se produce una rotación de la cuenca Cajamarca en sentido anti horario que en el Oligoceno alcanza los 25° (Mitouard, 1992), esta rotación estaría relacionada al comportamiento transpresivo sinestral de las Transformantes Hualgayoc y Trujillo reactivando las fallas Ascope – Cutervo y Santiago de Chuco – Cajabamba en sentido dextral (D. Torres, com. per., 2016). Mientras que el geoanticlinal del Marañón continúa rígido recalcando el desplazamiento transcurrente dextral a lo largo de la falla corrida y plegada del Marañón.

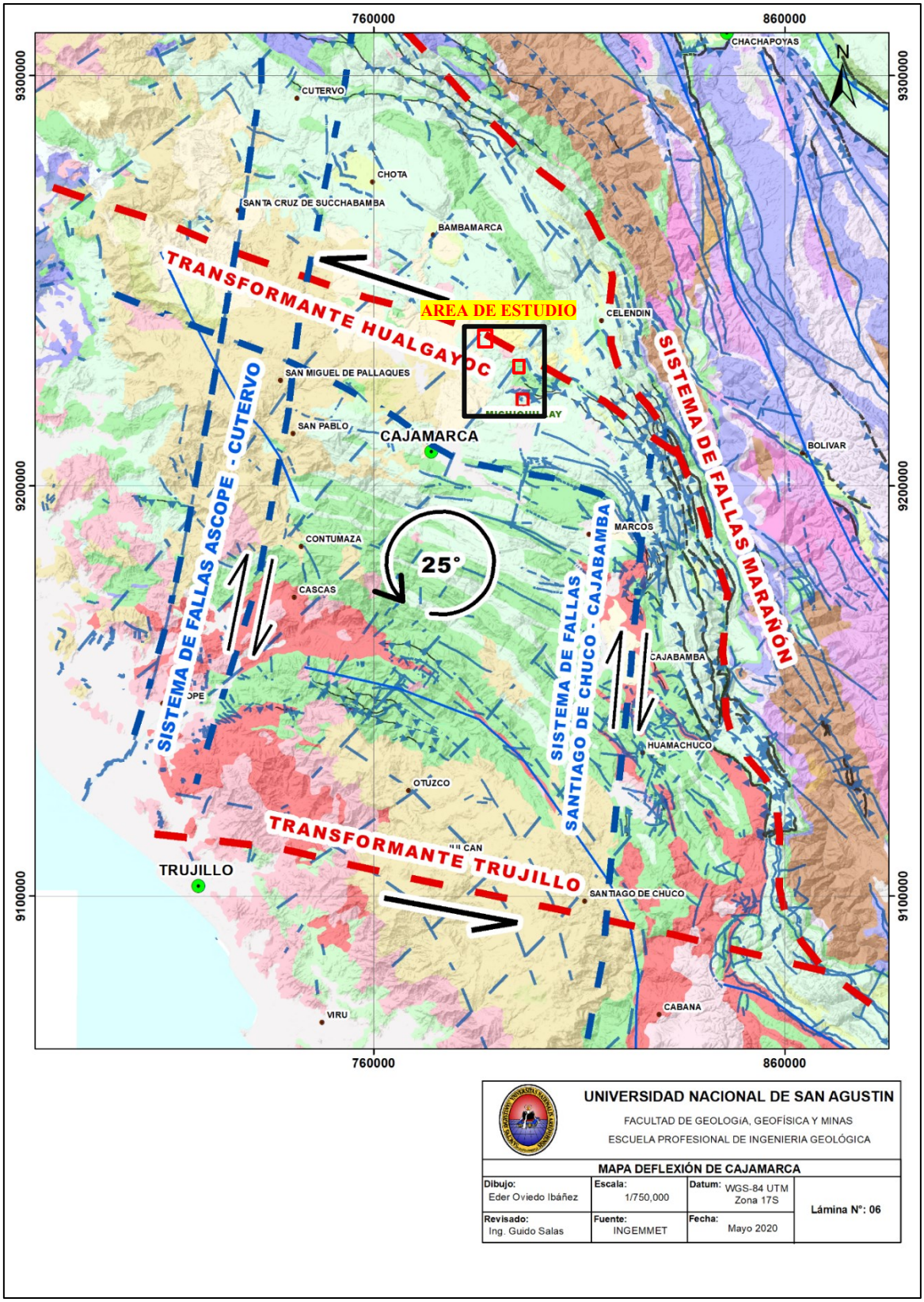

Lámina 6 ***Mapa Deflexión de Cajamarca.***

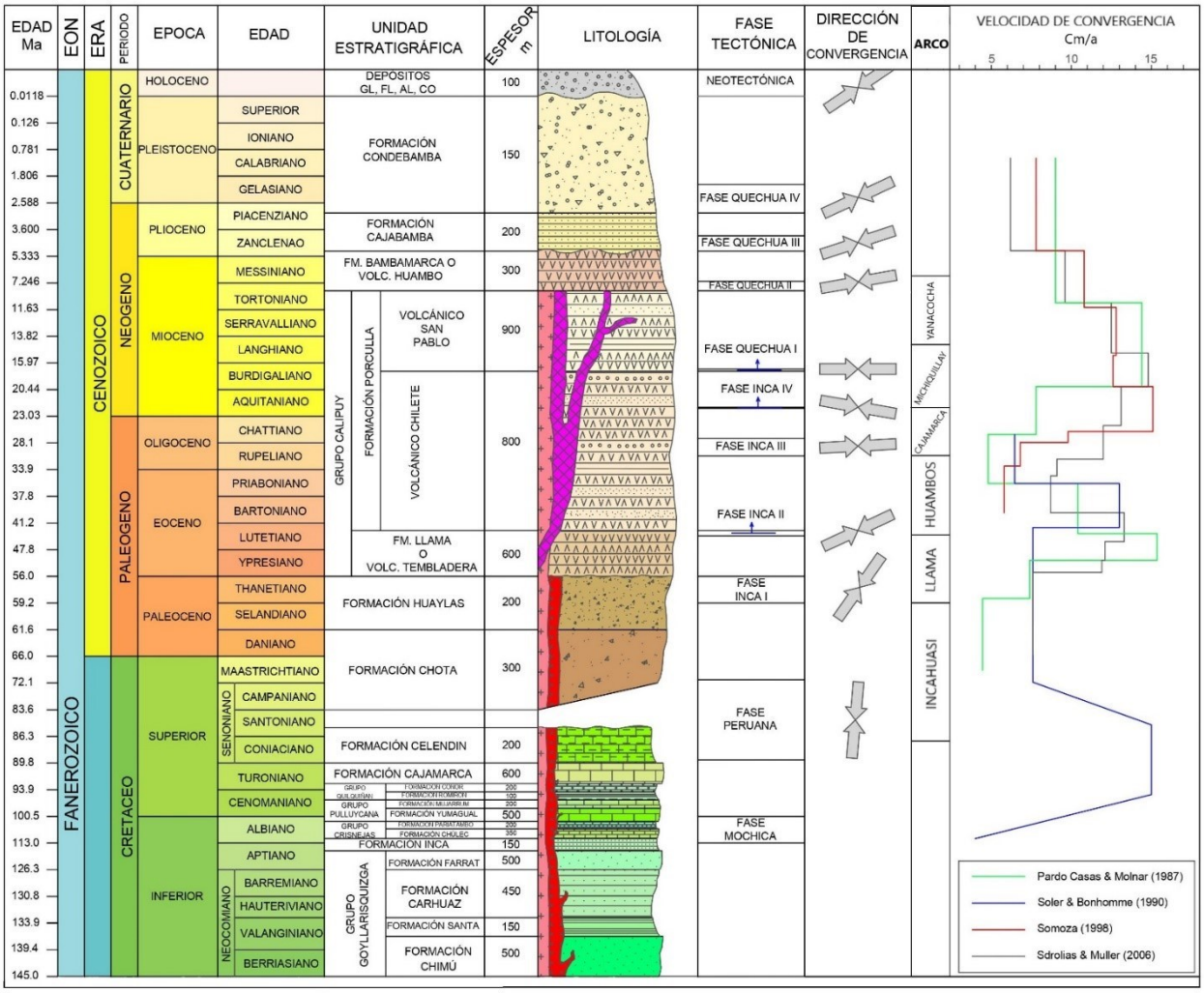

Figura 2 ***Resumen de la tectónica de los Andes en nuestra zona de estudio a escala regional (Orlando Bazán 2013)***

CAPÍTULO IV

METODOLOGIA

4.1. Metodología de la investigación.

- Enfoque Descriptivo: Se ha recopilado información relacionada a la zona de estudio con lo cual se ha descrito la relación que tienen entre sí los depósitos minerales, Michiquillay, Galeno y Minas Conga desde el punto de vista metalogenético.
- Enfoque Cuantitativo: Para realizar la caracterización geoquímica del pórfido de Cu Au Mo Michiquillay, se ha recolectado cierta cantidad de muestras de roca, las cuales han sido ensayadas químicamente y con estos resultados se ha realizado el análisis geoestadístico con lo que se determinó background patrón para la prospección en el área relacionada la fallamiento Punre – Canchis.

4.2. Metodología del Trabajo

- **Etapa de Gabinete**

- Recopilación de material bibliográfico e investigación de trabajos realizados en la zona.
- Análisis de la información recopilada y creación de una base de datos con la ayuda del software Arcgis.
- Georreferenciación de todas las imágenes satelitales de la zona y ploteo de planos.
- Preparación de los mapas topográficos para la realización del cartografiado geológico.
- Elaboración del plan de tesis.
- Análisis e interpretación de datos recopilados en campo y resultados de análisis de laboratorio.

- **Trabajo de Campo.**

- Visitas al área de estudios con la finalidad de realizar el muestreo geoquímico.
- Cartografiado geológico regional y local a escala 1:50000 y 1:5000 respectivamente de la zona estudiada.

- **Etapa de análisis e interpretación (Gabinete y Laboratorio)**

- Elaboración de los planos litológicos y estructurales.
- Tratamiento estadístico de los resultados de laboratorio.
- Elaboración de diagramas y cuadros de correlación de las zonas de estudios.
- Elaboración de tesis.

4.3. Materiales empleados para la recolección de datos

- **Para la etapa de gabinete:**

- Computadora
- Software ARCGIS 10.5.
- Geocatmin.
- Imágenes Satelitales (Google Earth Pro).

- **Para la etapa de Campo:**

- Martillo de Geólogo.
- GPS Garmin Colorado.
- Lupa (10X & 20X).
- Colores
- Lápiz y borrador.
- Lápiz de dureza.

- Protactor.
- Mapas impresos.
- Tablero de mapeo.
- Libreta de campo.
- Talonario de muestreo.
- Bolsas de muestreo.
- Gorra
- Chaleco.
- Zapatos punta de acero.
- Bloqueador.

4.4. Metodología de muestreo

4.4.1. Muestreo.

El muestreo realizado sobre nuestra área de estudio abarca un total de 327 hectáreas, donde se han recolectado 145 muestras de roca por el método "chip sample". Para esto se diseñó una malla de muestreo detallada en las zonas de los pórfidos (100X100), mientras que, en la zona sureste, el espaciamiento entre los puntos de muestreo fue mayor (200X200).

Las muestras fueron embolsadas, codificadas y enviadas a los laboratorios de ALS-Chemex; para su análisis de elementos menores por el método ICP.

- **Malla de Muestreo.**

La malla de muestreo se extiende sobre un área superficial total de aproximadamente 2.3 x 1.5 Km. Su diseño fue planteado con el objetivo de determinar el comportamiento geoquímico superficial de las rocas, y así poder identificar parámetros que nos permitan reconocer nuevas áreas

con interés exploratorio en otras partes de la zona de estudio. Para la zona de los pórfidos, se consideró una malla con un espaciamiento de 100 metros entre puntos de muestreo. Esto permitió tener un total de 119 puntos de muestreo. Por otro lado, en la zona sureste, se sumó un total de 28 puntos de muestreo, ya que el espaciamiento entre puntos de muestreo fue de 200 x 200 metros.

- **Procedimiento de Muestreo.**

A continuación, se detalla el procedimiento de muestreo optado (Chip Sample).

Con ayuda de la picota, cincel o comba (marro), se limpia el área que se determinó para muestrear llegando a tener una exposición de roca en superficie "fresca".

Posteriormente se procede a romper la roca, en puntos, sacando trozos de +/- 1.5 pulgadas de tamaño, en un área aproximada de 5 metros de diámetro; tratando que los trozos sean lo más representativa posible de roca.

- La muestra debe ser representativa al área muestreada.
- Los trozos de roca son puestos en una bolsa de muestreo según se va sacando la misma, hasta obtener aproximadamente entre 2 a 2.5 kilos.
- En los talonarios de muestreo se anota las coordenadas, elevación y la descripción geológica de la roca (Tipo de roca, alteración, venillas, mineralización etc.).

4.4.2. Preparación y Análisis de las muestras.

- **Preparación.**

Las muestras fueron preparadas en el laboratorio ALS Chemex, considerando el siguiente procedimiento:

- Chancado primario de toda la muestra hasta un pasante del 90% (mínimo 80%) en malla #10 (<2 mm).

- Separar la muestra en muestreador tipo riffle y obtener 500-1000 g para molienda.
- Molinar en LM2 (Tazones de acero bajos en cromo), para que el 95% (min 90%) de la muestra pase a malla #140 (106 µm).
- Finalmente, separar por riffle 100 g para análisis (Pulpa para análisis).

- **Análisis**

Las pulpas de rocas preparadas por ALS Chemex, también fueron analizadas por ALS Chemex (Lima), siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

- Se aplicó a la pulpa una digestión de "4 Ácidos" (HF: HClO4: HNO3: HCl).
- Se analizó la muestra por método multielementos (53 elementos) con ICP – MS.

- **Límites de Detección.**

Los límites de detección ofrecidos por el método ICP – MS en ALS Chemex son detallados a continuación:

	Au		Ag		As		Cu		Mo		Pb		Zn	
	LD	LS	LD	LS	LD	LS	LD	LS	LD	LS	LD	LS	LD	LS
ALS Chemex	0.2	25	0.01	100	0.1	10000	0.2	10000	0.05	10000	0.2	10000	2	10000
	ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm		ppm	

Figura 3 Limites de detección ofrecidos por el método ICP – MS en ALS Chemex
LD: Límite de detección o Límite mínimo de detección.
LS: Límite máximo de detección.

Para el caso del oro todas las muestras fueron sometidas a un análisis adicional en el mismo laboratorio. El procedimiento consistió en digerir 25 gramos de pulpa en agua regia. El oro disuelto fue unido a un complejo de sulfuro dibutil para posteriormente ser extraído en un solvente orgánico. El Au fue determinado por absorción atómica en horno de grafito Zeeman.

Este método tiene un Límite mínimo de detección de 0.0001 ppm, mientras que el Límite máximo de detección es 0.1 ppm.

CAPÍTULO V

GEOLOGIA LOCAL

5.1. GENERALIDADES.

El sistema porfirítico Michiquillay consiste en dos eventos magmáticos de composición Pórfido Dacítico (uno Cuarcífera y otro de composición Feldespática), donde cada centro está constituido por un sistema de pórfidos que se han denominado de acuerdo a su momento de emplazamiento como Temprano (1) Intermineral (2) y Tardío (3); Siendo definidos básicamente a partir del grado de destrucción de la textura, intensidad de venillas de cuarzo y la concentración de cobre. Estos Pórfidos intruyen el basamento cretácico el cual se presenta como roca caja. El complejo intrusivo se expande 5 km de largo por 1.5 km ancho aprox.

En general el pórfido cuarcífero presenta una alteración potásica caracterizada por la abundancia de Biotita Secundaria y Magnetita, con capas delgadas de alteración Sericitica y Clorita-Sericita, mientras que el Feldespático está dominado por minerales de Sericita y Arcillas, la alteración Potásica se limita a parches remanentes en la intrusión temprana.

La mineralización (asignada al Mioceno Inferior), está relacionada a diferentes zonas de mineralización denominados: lixiviación constituido por la ocurrencia de óxidos de Fe, enriquecimiento secundario caracterizado por minerales de Calcosina y/o Covelina, y zona primaria se ha clasificado en dos denominados primario con alto contenido de pirita y primario con alto contenido de Calcopirita y sus minerales característicos en conjunto son la Pirita, Calcopirita, Molibdenita, Magnetita, Rutilo, Bornita, Esfalerita, Galena, etc.

A nivel estructural Se ha podido clasificar en tres eventos denominados pre-mineral, inter-mineral y fase post-mineral. Dos sistemas principales de fallas se reconocen en el área: de basamento -NW- subverticales, y de cobertura, NE y E-W, con buzamiento 25 a 60° SE a S.

5.2. LITOLOGÍA.

5.2.1. Arenisca Cuarzosa.

De la formación Inca, es una roca de color blanquecina textura clástica bandeada, constituida por agregados redondeados a subredondeados de cuarzo y feldespatos, de grano medio a fino moderada a fuertemente fractura. Se presenta intercalada con cuarcitas y hornfels. Se observa moderado microvenilleo a venilleo de pirita mayormente. Aflora en la parte central de la zona de estudio en contacto con los pórfidos cuarcíferos.

5.2.2. Cuarcita

De la formación Inca, es una roca intensamente silicificada de color gris claro, textura granoblástica constituida principalmente por cuarzo en forma de cristales anhedrales y como microvenillas respectivamente, además minerales secundarios como el Zircón (Tz), el Rutilo y minerales opacos. En algunas zonas se presenta intercalada con areniscas y hornfels. Aflora en la parte central de la zona de estudio en contacto con los pórfidos cuarcíferos.

5.2.3. Caliza.

Las Calizas de la formación Pariatambo presentan un color negro a gris claro, textura micrítica, se encuentra constituido por Carbonatos producto del reemplazamiento de cristales, mientras otros reemplazan a microfósiles otros se aprecian como agregados de textura micrítica; constituyendo esencialmente gran parte de la roca. Algunos de los Carbonatos se presentan a manera de microvenillas de espesores de hasta 0.02 mm, además minerales secundarios como el Cuarzo (Tz) en forma de cristales pequeños con tamaños inferiores a 0.01mm, Óxidos de hierro (Tz) y minerales opacos (1%).

Esta roca aflora reducidamente hacia el suroeste de la zona de estudio, donde hay algunas zonas

que se presenta marmolizada, los afloramientos más grandes se encuentran en la margen derecha del rio Quinuamayo al sur de la zona de estudio.

Las calizas de la formación Chulet presentan un color gris claro con tonos amarillentos, de textura clástica y también se observan micritas en algunos niveles, a diferencia de las calizas de la formación Pariatambo se observan niveles fosilíferos. Los afloramientos son muy reducidos en el área de estudio, observándose solamente hacia el suroeste.

5.2.4. Hornfels.

Roca de grano fino, leucócrata, presenta Sericita-Caolinita en oquedades y relacionado a estructuras (fallas, zonas de falla, etc.). Como mineralización Pirita diseminada y en venillas, Molibdenita en venillas, además Calcopirita diseminada y en fracturas, ocasionalmente cuando se encuentra en zonas de contacto con pórfidos tempranos por asimilación. Presenta débil Stockwork de venillas de cuarzo.

5.2.5. Brecha.

Brecha monomictica con clastos angulosos a subangulosos de cuarcita, en una matriz del pórfido cuarcífero de grano fino mayormente argilizado con limonitas pintando dicha matriz. Estos pequeños afloramientos se observan mayormente en la margen derecha del rio Michiquillay.

5.3. ROCAS INTRUSIVAS.

5.3.1. Pórfido Cuarcífero.

Constituido por fenocristales de Plagioclasas, Biotita y Hornblenda. Se caracteriza por la ocurrencia de prominentes fenocristales anhedrales y euhedrales de cuarzo (5-10%), en algunos tramos se observa la disminución de los cristales de cuarzo (2%-4%aprox). En general el pórfido

Cuarcífero presenta una alteración potásica caracterizada por la abundancia de Biotita Secundaria y Magnetita con moderado a fuerte contenido de Calcopirita, posee las mejores leyes con respecto al Pórfido Feldespático. En base a las características y a las relaciones de campo se ha dividido a dicho pórfido en 03 intrusivos.

Pórfido Cuarcífero 01.

Roca gris oscuro a gris blanquecino con textura Porfirítica seriada de grano medio a grueso constituido por fenocristales euhedrales a subhedrales de Plagioclasas, Feldespato Potásico fenocristales redondeados de Cuarzo, dispersos en una matriz de grano fino, además presenta máficos constituidos principalmente por Biotitas y Hornblendas, euhedrales en algunos casos bien desarrolladas.

Pórfido Cuarcífero 02.

Roca gris a gris negruzco de grano medio con textura porfirítica y matriz micro granular, constituida por fenocristales de Plagioclasas subhedrales a euhedrales y Plagioclasas como cristales más finos, formando parte de la matriz, además presenta fenocristales anhedrales de Cuarzo en cual también está presente en la matriz, Feldespato Potásico composicional en fenocristales euhedrales y también de alteración en venillas con cuarzo, la biotita y hornblenda se presentan en fenocristales euhedrales, como minerales secundarios se tiene Cloritas, Sericita.

Pórfido Cuarcífero 03.

Roca gris verdoso de grano medio a grueso con textura Porfirítica y matriz micro cristalina (Cuarzo micro cristalino, microlitos de feldespatos y diseminaciones de Biotita Secundaria), además constituida por fenocristales de Plagioclasas subhedrales, Cuarzo con formas redondeadas

e irregulares, Feldespato Potásico se presenta como cristales anhedrales a subhedrales también se observa vetillas rellenas por Feldespato Secundario, la Biotita Secundaria ocurre con hábitos tabulares, agregados escamosos, se presenta reemplazando a minerales ferromagnesianos, las hornblendas presentan buen desarrollo (euhedrales), además presencia de minerales secundarios como Cloritas.

Pórfido Feldespático.

Constituido por fenocristales de Plagioclasas (1-4mm) (65%), Biotita, Hornblendas y ocasionales ojos de Cuarzo anhedrales (1-3mm). Posee alteración Potásica sin embargo el overprint de Sericita y Clorita es su sello. En general corresponden a depósito de baja ley con respecto al pórfido cuarcífero. También por características y relaciones de campo se ha dividido en 03 intrusivos.

Pórfido Feldespático 01.

Roca de color gris blanquecino a pardo claro, grano medio a grueso de textura Porfirítica y matriz micro granular, se encuentra constituido por fenocristales de Plagioclasas euhedrales y subhedrales reemplazados parcial o totalmente por Feldespatos Potásicos argilizados, muy esporádicos fenocristales de Cuarzo subredondeados, Biotita con formas prismáticas subhedrales, alteradas por las Cloritas y otros muy débilmente por Biotita Secundaria.

Pórfido Feldespático 02.

Roca de color gris claro, grano grueso a medio de textura Porfirítica, se encuentra constituido por fenocristales de Plagioclasas y feldespatos de forma tabular, esporádicos fenocristales subredondeados de Cuarzo además de minerales secundarios como carbonatos, limonitas (Tz) y minerales arcillosos.

Pórfido Feldespático 03.

Roca de color gris verdoso, de textura Porfirítica y matriz micro cristalina, se encuentra constituido por fenocristales de Plagioclasas euhedrales a subhedrales esporádicos fenocristales de Cuarzo redondeadas e irregulares asimismo presenta Feldespato Potásico primario como cristales anhedrales a subhedrales de formas tabulares con tamaños además de minerales secundarios como Clorita, Carbonatos, Limonitas (Tz).

5.4. DEPÓSITOS CUATERNARIOS.

Finalmente, en el Pleistoceno, ocurre una fuerte etapa de glaciación que erosiona dando lugar a la depositación de morrenas y gravas.

Se agrupa bajo esta denominación, a un conjunto de sedimentos no consolidados constituidos en términos generales por arenas y gravas, los cuales forman una serie de relieves como depósitos de terraza, depósitos de fondo de quebrada, depósitos en los cauces actuales de ríos, morrenas, escombros de falda y conos de deyección.

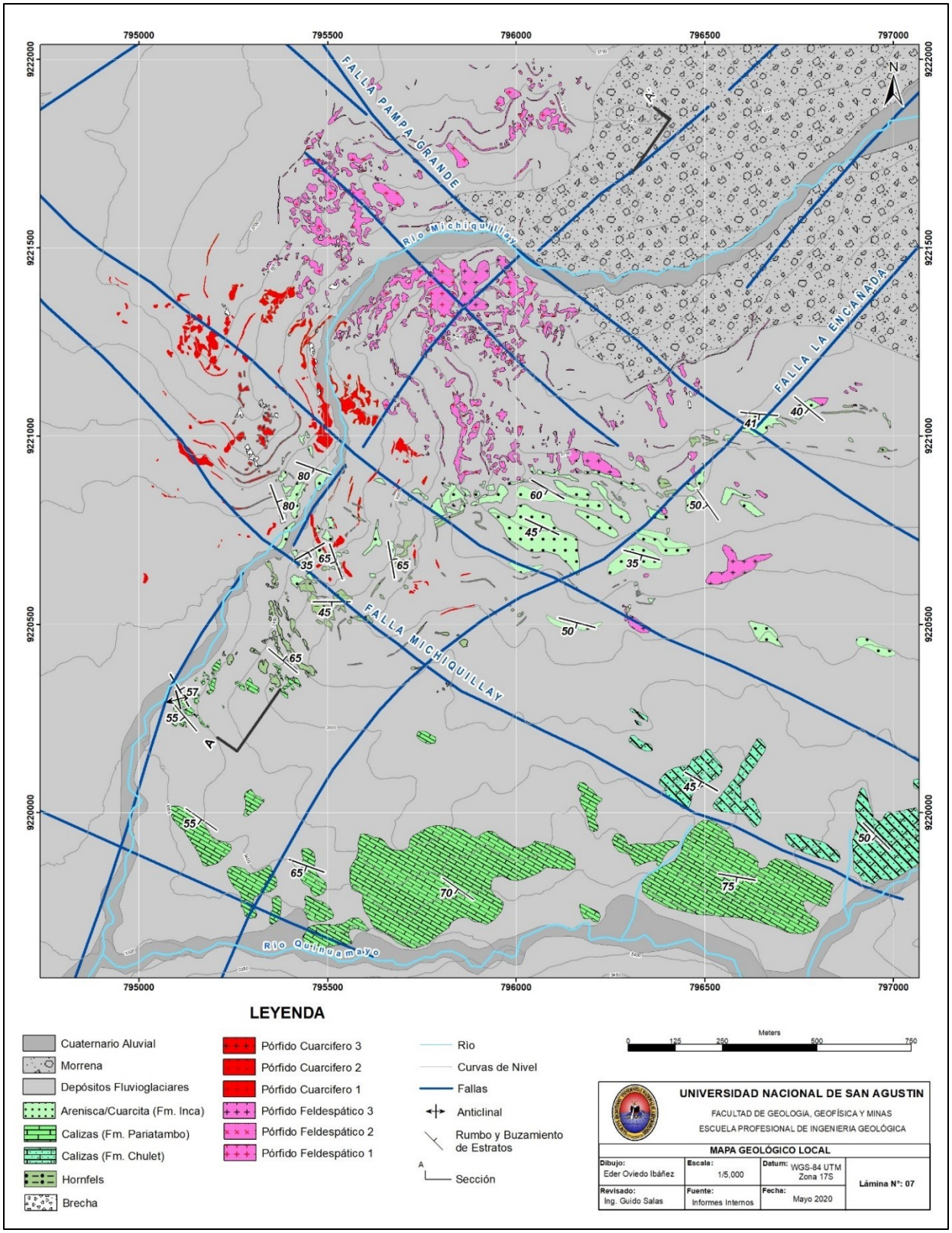

Lámina 7 ***Mapa Geológico Local***

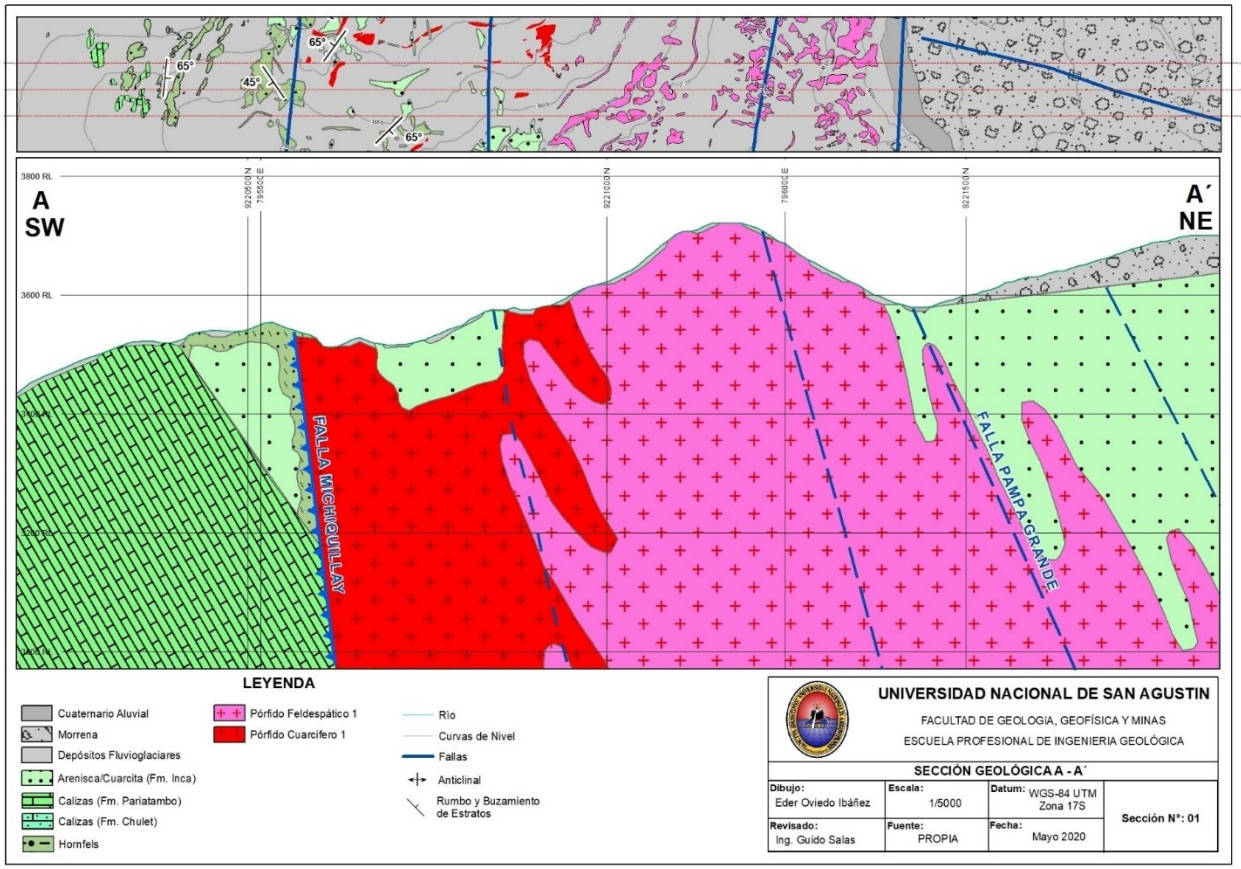

Lámina 7.1 ***Sección Geológico***

5.5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Mapeo detallado del área de estudio y con la ayuda de información cinemática y el análisis de los datos de satélite en lineamientos, los paleo esfuerzos de las diferentes fases estructurales, se ha podido obtener algunas conclusiones relacionadas entre el tiempo de la mineralización y actividad estructural, pudiéndose clasificar en tres eventos de fallamiento denominados fallamiento 1, fallamiento 2 y fallamiento 3.

5.5.1. Evento de fallamiento 1.

Este sistema de fallamiento incluye la escala regional, con dirección de Este a Oeste, dando formación a un plegamiento y cabalgamiento de forma convergente hacia el Norte.

En este evento se observa estructuras compresionales formadas cerca del límite frágil / dúctil que probablemente se generaron durante un evento compresional regional del Cretácico Superior por medio de esfuerzos de compresión Norte-Sur.

La Falla Michiquillay está asociado a esfuerzos de tipo dúctil, por lo que esta falla y las otras estructuras con orientación Noroeste (Sistema de Fallas Antena y Sistema de Falla de Minas Viejo), formaron parte de la etapa pre-mineral del pórfido Michiquillay, donde actuaron con movimientos dextrales generando zonas de cizallamiento frágil-dúctil. Los cambios de dirección en estas zonas desde el Oeste-Noroeste al Noroeste habría dado lugar (Fig. N° 08) en una serie de inflexiones de cierre en estas fallas, lo que puede haber dado lugar a desarrollo de fallas inversas y normales locales.

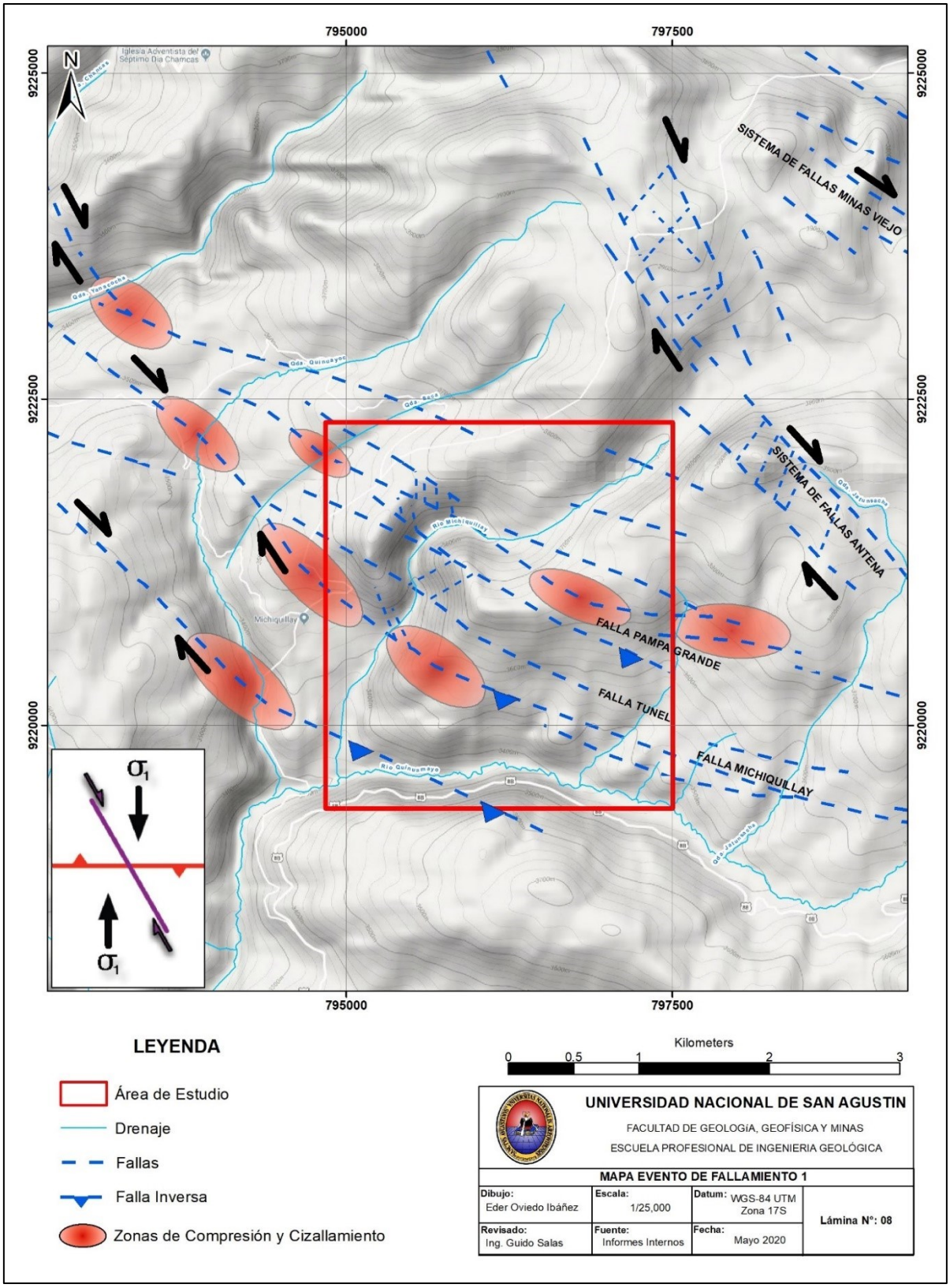

Lámina 8 ***Mapa Evento de Fallamiento 1***

5.5.2. Evento de fallamiento 2.

Este fallamiento se concentra en la parte central y al Oeste de la zona de estudio, donde las características estructurales son principalmente del tipo extensional e incluyen fallas geológicas extensionales reactivadas, fallas extensionales de transferencia, Fallas extensionales, alimentadores finales de mineralización, brechas silicificadas, sistema de venillas de tipo box-work formando una textura esquelética, y de segundo orden fallas extensionales antitética.

Todas las indicaciones que se presentan son de un sistema extensional en un campo de esfuerzo con dirección Este-Noreste a Oeste-Suroeste. Las fallas inversas del primer evento se vuelven a activar en este evento con buzamiento profundo de tipo fallas extensionales con pendientes pronunciadas.

La Falla Michiquillay también ha experimentado una reactivación durante esta fase de tipo extensional con el desarrollo de fallas Antitéticas de segundo orden y el desarrollo de diques porfiríticos dentro de la zona de falla.

El cambio del evento transpresivo - dextral en la fase de fallamiento 1 (pre-mineralización) al evento transtensión - dextral en esta fase (Inter-mineral), se concentraría al origen de esfuerzos extensionales (Fig. N° 09) en la inflexión desde el Oeste-Noroeste hacia el Noroeste de los segmentos de la Falla Michiquillay en sus proximidades.

Una serie de zonas de falla sin nombre también presentan una inflexión similar en la parte central del pórfido.

El sistema de Fallas-venillas de tipo extensional con dirección Noreste también concentran un sistema de zonas de cizalla entre ellas.

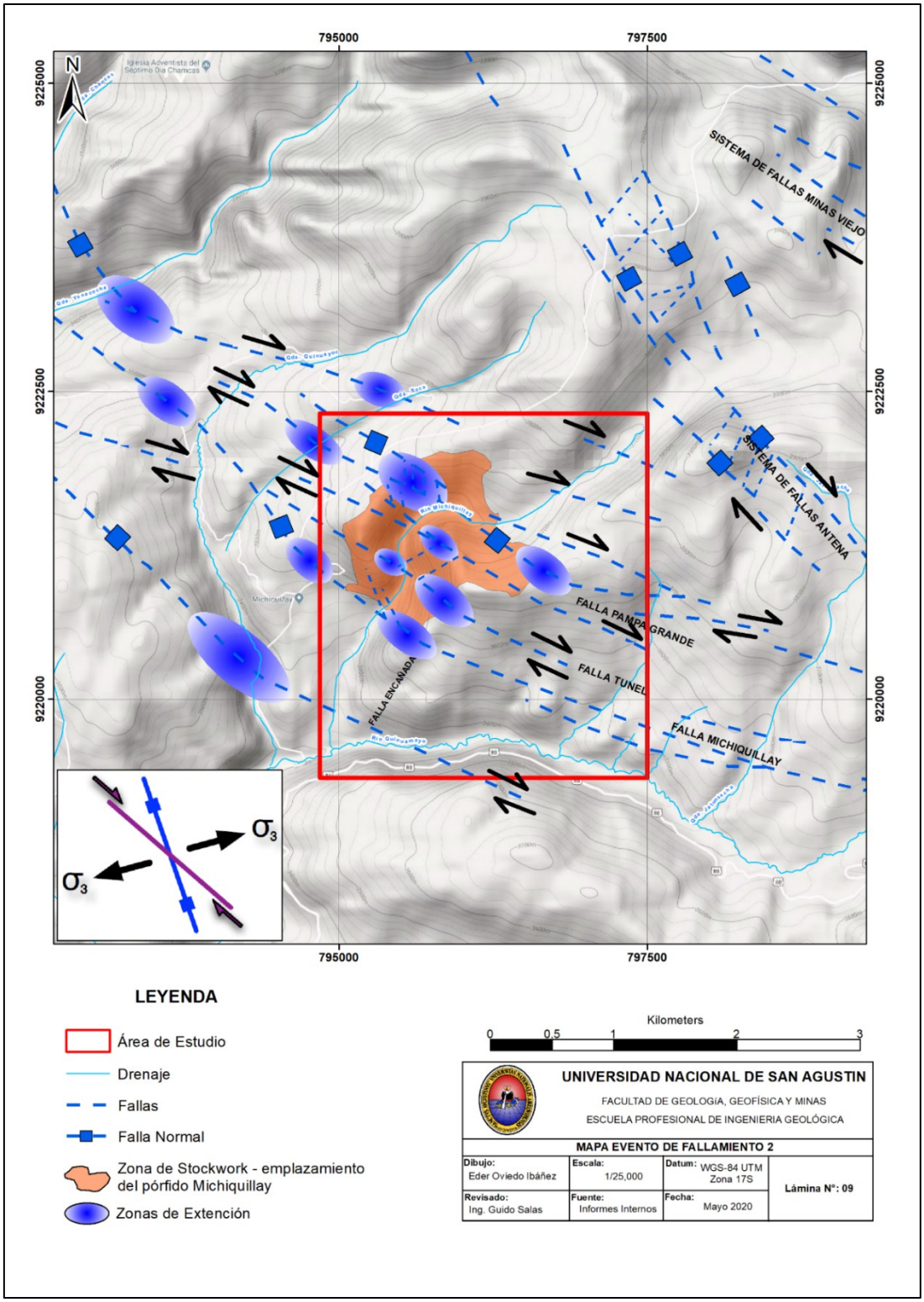

Lámina 9 ***Mapa Evento de Fallamiento 2***

5.5.3. Evento de fallamiento 3.

La Falla Encañada y el Sistema de Falla Minas Viejo junto con numerosas fallas de menor escala, zonas de fracturas, diques esporádicos y venillas tardías son ejemplos de este evento (post mineral).

Estas características cortan o son paralelos a los sistemas estructurales de mineralización, como el sistema de la Fallas Antena.

Este evento presenta un sistema dextral strike-slip, en el caso de la falla Encañada, en cambio el sistema de fallas Minas Viejo es del tipo transpresión sinextral.

Un esfuerzo compresivo distal de origen Noreste - Suroeste explicaría la cinemática sobre estas dos estructuras y probablemente sean contemporáneos. Esta orientación también es corroborada por un sistema de fallas extensionales pequeñas y fallas del tipo Strike-slip que cortan las venillas mineralizadas. Las venillas del tipo Sinextral transtensional también cortan la estructura y los diques de la falla Michiquillay indicando reactivación de un evento de tipo compresivo en esta fase.

Regionalmente las fallas principales de este evento aumentarían la compresión en dirección oeste-noroeste al noroeste flexionando a las fallas ya existentes.

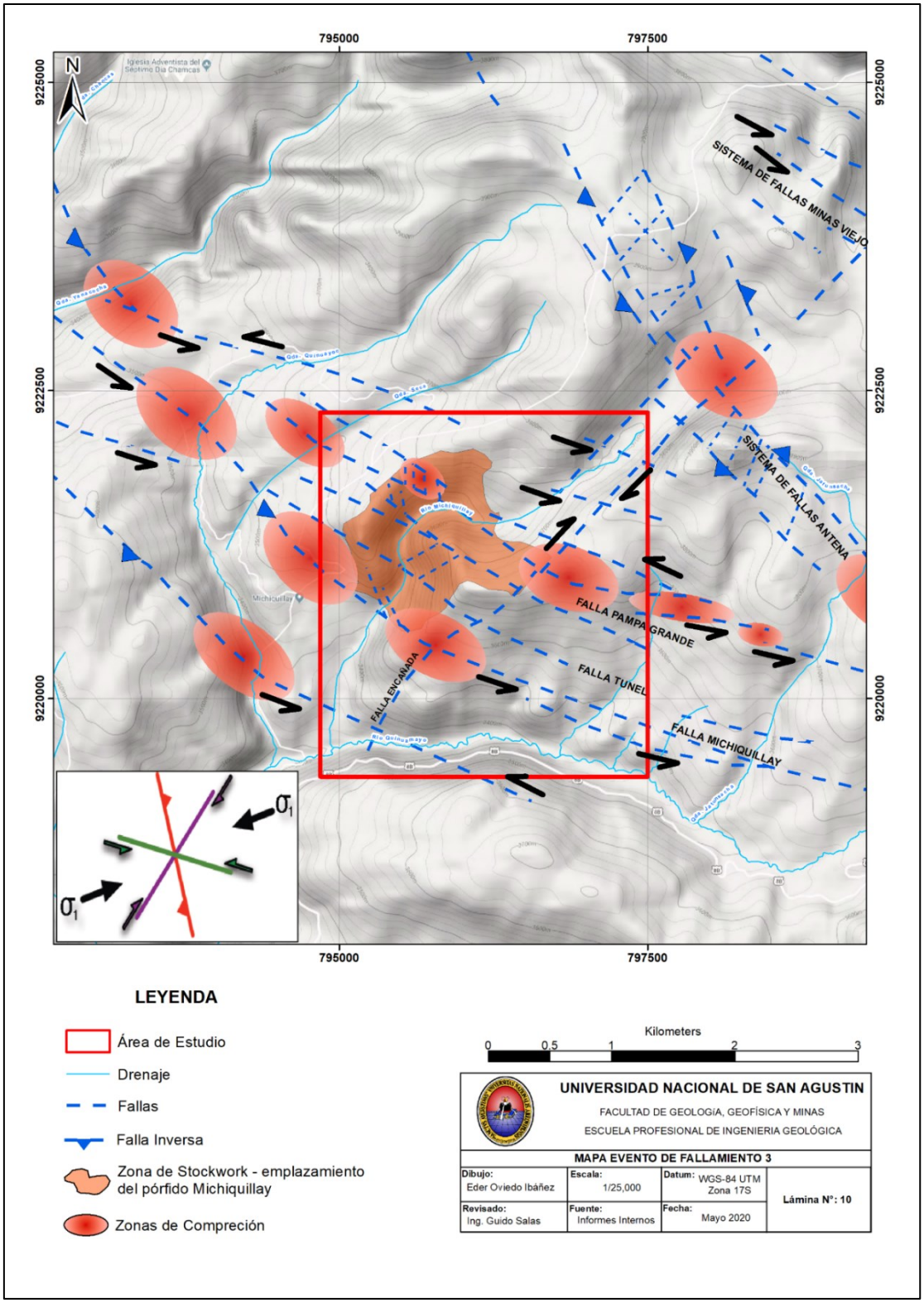

Lámina 10 Mapa Evento de Fallamiento 3

CAPÍTULO VI

ASPECTOS METALOGENÉTICOS

6.1. METALOGENIA REGIONAL.

La metalogenia en nuestra área de estudio desde el punto de vista regional está estrechamente ligado a dos procesos tectónicos, los cuales corresponden, a los controles estructurales regionales, como son: la Falla Punre – Canchis (Raymond Rivera 2008) y al sistema de fallas Quesquenda con una orientación NO y EW respectivamente, asociados a su vez a la deflexión de Cajamarca durante el ciclo orogénico Andino. Dichos procesos tectónicos controlan el emplazamiento de los stocks mineralizados en las franjas metalogenéticas en esta área; es así que La falla Punre - Canchis relaciona los sistemas porfiríticos en la parte sur de la región Cajamarca.

La metalogénesis de los yacimientos minerales en esta región se relaciona con el tipo de magmatismo que se generó durante la evolución tectónica de la deflexión de Cajamarca, el cual se inicia en el Cretácico Superior post tectónica Peruana, a lo largo del arco magmático Incahuasi (Mamani et al 2010b); se afianza después de la tectónica Inca 1 dando lugar al arco volcánico Llama, y se incrementa posterior la tectónica Inca 2, a lo largo del arco volcánico Huambos (Mamani et al, 2010b), donde el arco migra hacia el Este por la disminución en el ángulo de subducción. Post tectónica Inca 3, se evidencia predominancia de actividad magmática subvolcánica y plutónica, en el arco volcánico Calamarca (Mamani et al, 2010b) que continúa migrando hacia el Este. Después de la tectónica Inca 4 se produce un engrosamiento cortical y la máxima migración de arco hacia el Este, arco volcánico Michiquillay (Navarro et al, 2013), aquí inicia la época metalogenética Miocénica resultando la formación de pórfidos de Cu – Au – (Mo), Minas Conga (15.35 – 15.86 Ma), Michiquillay (19.77 Ma), La Carpa (17,85 Ma) y El Galeno (17.50 Ma) (Davies, 2002).

En la tectónica Quéchua 1 se intensifica el engrosamiento cortical incrementándose la actividad volcánica, el arco retorna hacia el Oeste, arco volcánico Yanacocha (Navarro et al, 2013), se da lugar la época metalogenética del Mioceno Superior con el emplazamiento de pórfidos Cu – Au como Cerro Corona (14.4 Ma) y Epitermales de Au – Ag – (Cu) como Tantahuatay (13.2 Ma) y el distrito Yanacocha (11.46 – 10.92 Ma) (Davies, 2002).

A inicios del Plioceno, post tectónica Quechua II, el magmatismo y por ende la metalogénesis en la región se extinguen debido a una subducción plana prolongada que genera que la cuña astenosférica desaparezca y se produzca un gap volcánico, que continúa hasta la actualidad.

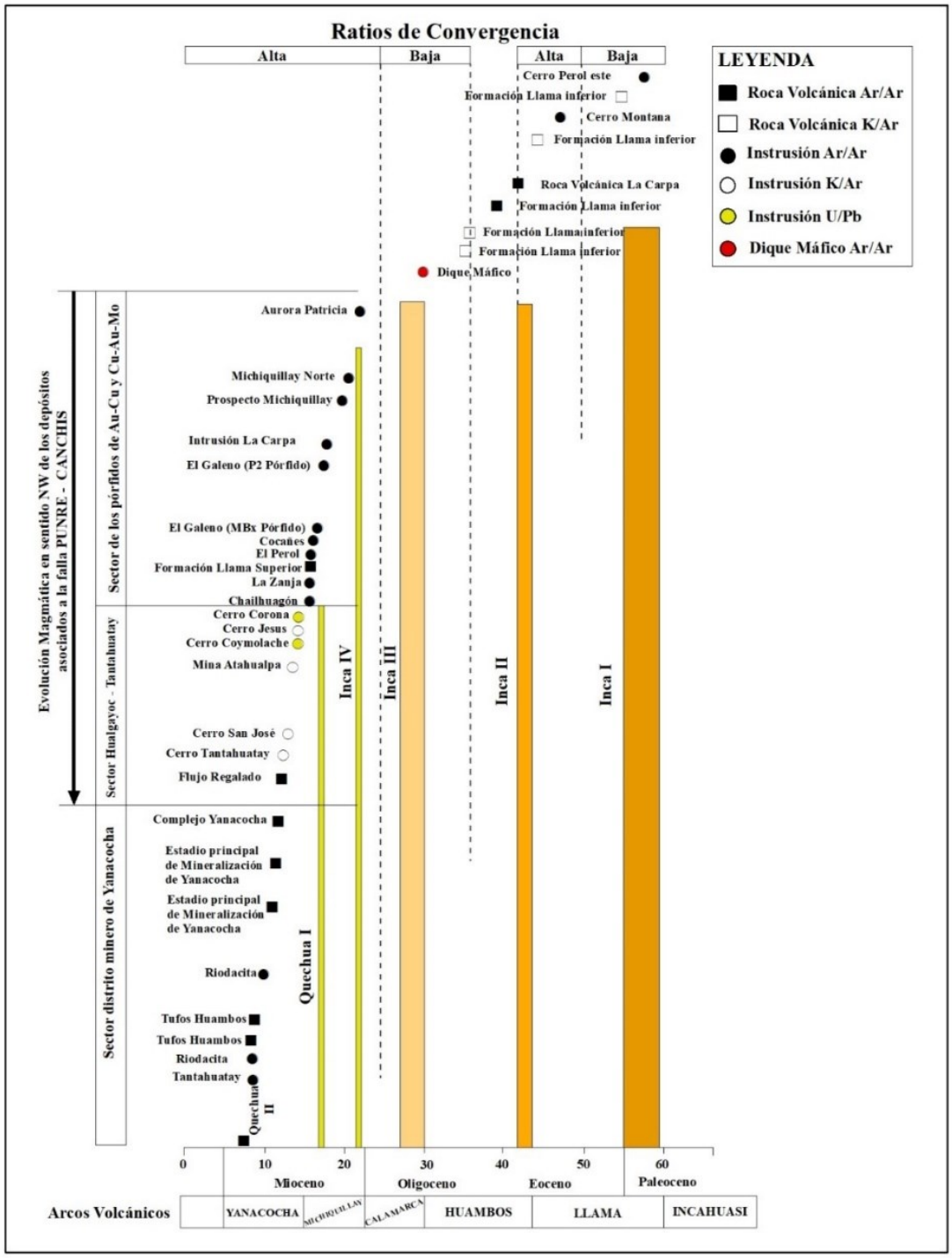

Figura 4 Edades de Mineralización de los intrusivos más importantes y dataciones en roca vs los ratios de convergencia de la placa de Nazca, faces orogénicas y arcos volcánicos (Modificado de Raymond Rivera 2007)

Los límites de las franjas por lo general corresponden a fallas regionales y contactos litológicos, también nuevos trabajos complementan esta delimitación con estudios de dataciones radiométricas y dominios geotectónicos; es así que en el departamento de Cajamarca se enmarca 09 franjas metalogenéticas.

6.1.1. Franja I.- Depósitos de Au en rocas meta-sedimentarias del Ordovícico-Silúrico-Devónico.

Esta franja se extiende en casi toda la cordillera oriental con una dirección SE-NO. En la región Cajamarca, corresponde a un pequeño segmento de rocas metamórficas del Complejo Marañón que afloran en el sector SE; y a rocas del Complejo Olmos que afloran en el NO de la región. No se han identificado grandes depósitos, pero se conocen algunas vetas auríferas de baja ley en estos sectores.

6.1.2. Franja II.- Depósitos Orogénicos de Au-Pb-Zn-Cu del Carbonífero-Pérmico.

En Cajamarca, esta franja se ubica en el extremo sureste de la región; y corresponde a un pequeño segmento alargado de dirección SE-NO, el cual ha sido definido en base a algunos relictos de afloramientos de las rocas intrusivas del batolito de Pataz. Esta franja tiene un mejor desarrollo en la región La Libertad; donde existen importantes yacimientos (Pataz, Parcoy, El Gigante, etc.)

6.1.3. Franja VI. - Pórfidos y Skarn de Cu-Au del Jurásico superior.

Se extiende por el noroeste del Perú, dentro del dominio tectónico Olmos-Loja y está limitada por fallas regionales N-S, mayormente inversas. Las rocas huéspedes están conformadas por secuencias carbonatadas y volcánicas del Jurásico.

La mineralización de Cu-Au se relaciona con stocks intrusivos del Jurásico superior, con edades

absolutas alrededor de 153 Ma. Los depósitos más conocidos se encuentran en Ecuador, entre ellos destacan: Nambija, Napintza, Cumay, Guaysini y Frutos del Norte.

6.1.4. Franja X.- Pórfidos de Cu-Mo y vetas polimetálicas del Cretáceo superior – Paleoceno.

Se ubica en el flanco oeste de la Cordillera Occidental, comprende el segmento norte del Batolito de la Costa constituidas por rocas intrusivas emplazadas en el sector oeste de la cuenca sedimentaria de Cajamarca. Se encuentra limitada hacia el este por el contacto litológico con los volcánicos Calipuy y hacia el oeste hasta donde llegan los afloramientos de los intrusivos.

6.1.5. Franja XVI.- Depósitos tipo MVT de Pb-Zn del Eoceno-Mioceno.

En Cajamarca esta franja solo corresponde un pequeño segmento ubicado en el lado noreste de la Región; donde existen afloramientos importantes de calizas y dolomitas del grupo Pucará. No se tiene registro de estos depósitos en este sector; sin embargo, en esta franja (en otros sectores del territorio peruano) están ubicados depósitos importantes como San Vicente, Piñón, Sillapata, Huacrash - Aynamayo, Puntayacu, Pichita Caluga, Cascas, Ninabamba, Raymondi Sur, Tambo María, Pampa Seca, San Roque, Bolívar, Soloco y Bongará. La edad de mineralización de estos depósitos se asume como eocena o miocena, relacionada con las épocas de mayor deformación que afectaron a esta zona, durante la evolución andina (Mégard, 1987; Carlotto et al., 2005).

6.1.6. Franja XVIII.- Epitermales de Au-Ag de baja sulfuración del Oligoceno.

Se extiende entre en el flanco Oeste del dominio volcánico Cenozoico de la Cordillera Occidental. Esta franja se encuentra sub-dividida en dos segmentos. Por el Norte se encuentra el segmento Otuzco-San Pablo-Porculla (7°-8°30') y por el sur Huaytará-Tantará-Tupe

(12°30’14°30’). Los controles de mineralización son fallas con orientaciones preferenciales NO-SE y E-O. A la región Cajamarca pertenece el segmento norte de esta franja y donde se encuentran pequeños depósitos en etapa de exploración, siendo el más representativo Los Pircos.

6.1.7. Franja XX-. Pórfidos de Cu-Mo, Skarns de Cu-Zn-Pb-Ag y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del Mioceno.

Se encuentra constituida por dos subfranjas. La primera está controlada por el sistema de fallas Punre-Canchis, el cual presenta una clara orientación NW. Entre los principales depósitos emplazados en esta franja tenemos los pórfidos de Michiquillay, El Galeno, Minas Conga con edades entre 21.30 y 15.58 Ma. La segunda subfranja se encuentra en la parte sur de nuestra zona de estudio y tiene una clara orientación E-W y se encuentra limitada por el sistema de fallas Quesquenda.

Entre los principales depósitos característicos tenemos: Cascabamba, Las edades de mineralización entre ambas subfranjas es muy parecido. Y se infiere tengan la misma composición geoquímica. Esta última subfranja se infiere está asociada al límite sur de la cuenca sedimentaria de Cajamarca, el límite tiene una clara orientación ESE (deflexión de Cajamarca) (Wilson, 2000).

6.1.8. Franja XXI-B.- Epitermales de Au-Ag hospedados en rocas volcánicas Cenozoicas.

Ocupan superficialmente la mayor parte de nuestra zona de estudio y se encuentra relacionada a las partes más altas de la región. Tenemos reconocidos dos tipos de depósitos epitermales, los de alta sulfuración y los de baja sulfuración. Los depósitos epitermales de alta sulfuración se encuentran emplazados en rocas volcánicas (Grupo Calipuy) y en rocas sedimentarias (Grupo Goyllarisquizga). Mientras que los depósitos de baja sulfuración por lo general solo se encuentran asociados a rocas volcánicas. En límite entre los depósitos de alta sulfuración y los de baja

sulfuración parece estar asociado al nivel de erosión (Enriquez, 2005). Las franjas de epitermales hospedados en rocas volcánicas (Grupo Calipuy) tiene una clara orientación NW, mientras que los que se encuentran asociados a rocas sedimentarias del Cretácico superior se encuentran en una franja con un rumbo E-W. Estos depósitos por lo general pertenecen al Mioceno tardío. Entre los principales depósitos de alta sulfuración hospedado en rocas volcánicas tenemos: Yanacocha, La Zanja, Sipán. Depósitos epitermales hospedados en rocas sedimentarias tenemos: Algamarca y Shahuindo.

6.1.9. Franja XXIV.- Depósitos de paleo placeres en rocas sedimentarias del Plioceno-Pleistoceno.

Esta franja se ubica en el lado oriental de la región; y corresponde a mineralizaciones de Au que han sido transportadas y depositadas en la cuenca Bagua. Este oro se encuentra hospedado en las secuencias sedimentarias de la Formación Tamborapa, que consiste en potentes capas de conglomerados intercalados con areniscas y lutitas.

El Au posiblemente ha sido erosionado de las lavas andesíticas y porfiríticas de los Volcánicos de la Formación Oyotún del Jurásico ubicadas hacia el oeste de esta franja.

Tabla 2

Mostrando los principales depósitos minerales de la región

UNIDAD	FRANJA	YACIMIENTO	MINERALIZACIÓN	EDAD
Shahuindo	XXI-a	Epitermales de alta sulfuración	Ag/Au	
Cerro Quilish	XXI	Epitermales de alta sulfuración	Au	
Sipán	XXI	Epitermales de alta sulfuración	Ag/Au	
La Zanja	XXI	Epitermales de alta sulfuración	Ag/Au	15.61 ±0.12
Yanacocha Distrito Minero	XXI	Epitermales de alta sulfuración	Ag/Au	11.79 ±0.14 a 6 ±3
Tantahuatay	XXI	Epitermales de alta sulfuración	Ag/Au/Cu	12.4 ±0.4 a 8.5 ±0.3
Los Pircos	XXI	Epitermales de baja sulfuración	Ag/Au	
Incahuasi	XX	Epitermales de baja sulfuración	Au	
Sinchao	XX	Polimetálicos con superposición epitermal	Ag/As/Au/Cu/Mo/Pb/ Zn	
Hualgayoc	XX	Polimetálicos con superposición epitermal	Ag/Au/Cu/Pb/Zn	
Cascabamba	XXI-a	Pórfidos de Cu-Au	Au/Cu	
Cerro Corona	XXI	Pórfidos de Cu-Au	Au/Cu/Mo	13.35 ± 0.27 a 14.4 ± 0.10
Minas Conga	XX	Pórfidos de Cu-Au	Au/Cu	15.58 ±0.11 a 15.58 ±0.12
El Galeno	XX	Pórfidos de Cu-Au	Au/Cu	17.50 ±0.18 a 16.53 ±0.18
La Granja	XXI	Pórfidos de Cu-Mo	Au/Cu/Mo/Zn	13.8 ±0.4
La Carpa	XX	Pórfidos de Cu-Mo	Cu/Mo	42.55 ±0.12
Michiquillay	XX	Pórfidos de Cu-Mo	Au/Cu	20.6 ±0.14 a 18.8 ±1.6
Algamarca	XXI-a	Vetas	Ag/Au/Cu/Pb	
El Dorado	XX	Vetas	Ag/Au/Cu/Pb/Zn	
Huaquillas	VI	Vetas	Au	

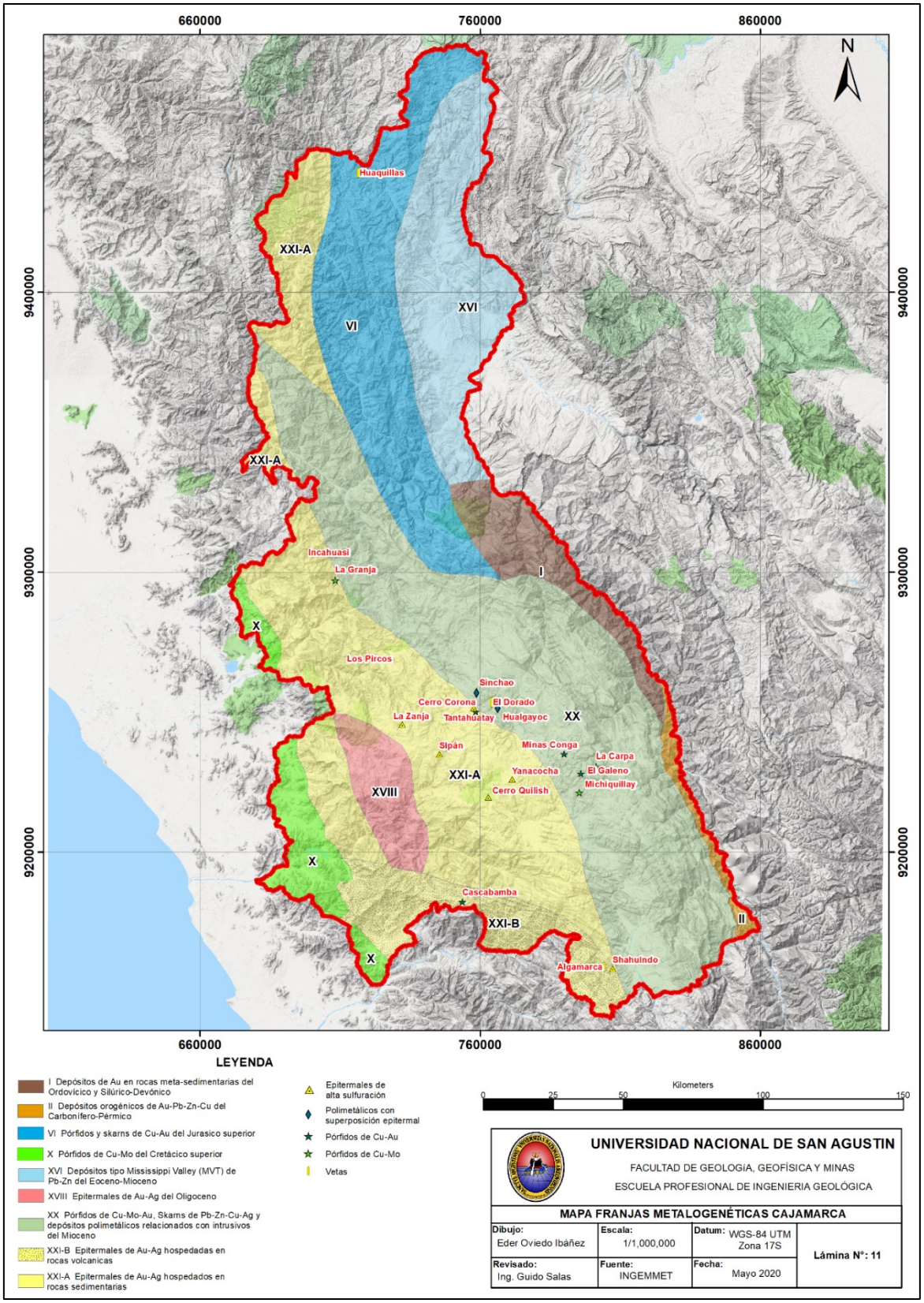

Lámina 11 ***Franjas Metalogenéticas Cajamarca***

6.2. METALOGENIA LOCAL.

La franja XX de los Pórfidos de Cu-Mo-Au, controlada en esta parte por el sistema de fallas Punre-Canchis, el cual presenta una clara orientación NW.

Esta zona de debilidad ha favorecido la formación de importantes depósitos tipo pórfido de Cu – Au – (Mo), como Michiquillay (20.6 ±0.14 a 18.8 ±1.6 MA), Galeno (17.50 ±0.18 a 16.53 ±0.18 MA) y Minas Conga (15.86 ±0.11 a 15.35 ±0.12 MA), formados durante la actividad magmática del Mioceno Temprano la cual intruyó la potente secuencia de rocas sedimentarias plegadas del Mesozoico. El Galeno está predominantemente alojado en cuarcitas, Michiquillay en cuarcitas y calizas, mientras que los depósitos de Minas Conga (Chailhuagón y Perol) se alojan principalmente en calizas y margas.

Las rocas magmáticas a lo largo de esta franja son típicamente de composición calco alcalina, es así que el intrusivo mineralizador en Michiquillay y el Galeno corresponde a un stock de composición dacítica, mientras que en Minas Conga a stock cuarzo – feldespático y dioríticos.

Muchos de estos pulsos de actividad intrusiva y volcánica son contemporáneos con la mineralización (tabla N° 03) y se emplazaron entre 21.85 y 15.35 MA, en esta zona.

Tabla 3

Dataciones radiométricas en el área de Michiquillay, El Galeno y Minas Conga

Muestra	Edad (Ma)	Error (Ma)	Unidad muestreada	Depósito mineral	Método	Referencias
NN	15.35	0.12	Biotita (alteración potásica)	Chailhuagón	Ar-Ar	Noble (2002)
N-21	15.58	0.12	Biotita	Chailhuagón	Ar-Ar	Llosa (2000)
H-46/535	15.86	0.1	Ortoclasa (alteración potásica)	Perol	Ar-Ar	Noble (2002)
O-34-96	16.11	0.18	Alunita (alteración argílica avanzada)	Cerro Cocañes	Ar-Ar	Noble (2002)
Ga-MBx	16.53	0.18	Biotita de brecha magmática	El Galeno	Ar-Ar	Davies & Williams (2005)
Galeno-1	17.43	0.09	Calcopirita, molibdenita, cuarzo (vetilla) en intrusivo porfirítico	El Galeno	Re-Os	Marinov (2011)
Ga-P2	17.5	0.3	Biotita hidrotermal de diorita porfirítica	El Galeno	Ar-Ar	Davies & Williams (2005)
Michi-7	18.68	0.09	Molibdenita (vetilla en cuarcita cerca de PF2)	Michiquillay	Re-Os	Marinov (2011)
Michi-23	18.7	1.4	Granodiorita porfirítica alterada	Michiquillay	K-Ar	Shibata (1982)
PMD003	18.8	1.6	Biotita de monzonita	Michiquillay	K-Ar	Llosa (1996)
Michi-1	19.39	0.1	Calcopirita, molibdenita (PF2 vetilla entre los minerales pórfido feldespático)	Michiquillay	Re-Os	Marinov (2011)
S-H22	19.77	0.05	Biotita de diorita	Michiquillay	Ar-Ar	Davies & Williams (2005)
Michi-3	19.9	0.1	Calcopirita, molibdenita, cuarzo (PF2 vetilla entre los minerales del pórfido feldespático)	Michiquillay	Re-Os	Marinov (2011)
Michi-4	20	0.1	Calcopirita, molibdenita, cuarzo (PQ1 vetilla en el pórfido de cuarcífero temprano)	Michiquillay	Re-Os	Marinov (2011)
NNN	20.02	0.15	Biotita de dique porfirítico	Michiquillay	Ar-Ar	Noble et al. (2004)
Michi-5	20.12	0.1	Molibdenita (PQ2 vetilla en el pórfido cuarcífero intermedio)	Michiquillay	Re-Os	Marinov (2011)
Michi-2a	20.2	0.08	Calcopirita, molibdenita (PF2 vetilla entre los minerales pórfido feldespático)	Michiquillay	Re-Os	Marinov (2011)
Michi-2	20.24	0.1	Calcopirita, molibdenita (PF2 vetilla entre los minerales pórfido feldespático)	Michiquillay	Re-Os	Marinov (2011)
S-59	20.6	0.14	Hornblenda de biotita	Michiquillay	Ar-Ar	Davies & Williams (2005)
PED-2b-66	20.6	0.6	Biotita de roca mineralizada	Michiquillay	K-Ar	Laughlin et al. (1968)
Michi-6	21.85	0.11	Molibdenita (vetilla en cuarcita cerca de PQ1 y PQ3)	Michiquillay	Re-Os	Marinov (2011)
Michi-43	28.2	4.9	Biotita de pórfido granodiorita alterada	Michiquillay	K-Ar	Shibata (1982)
S-16	29.4	1.4	Hornblenda de gabro hornbléndico	SE dé El Galeno	Ar-Ar	Davies (2002)
S-21	42.55	0.12	Hornblenda de andesita	La Carpa	Ar-Ar	Davies (2002)
BMC-1	43.6	3.7	Hornblenda de diorita	Cerro Cocañes Este	K-Ar	Llosa (2000)
S-46	57	3	Hornblenda de microdiorita	Cerro El Perol Este	Ar-Ar	Davies (2002)

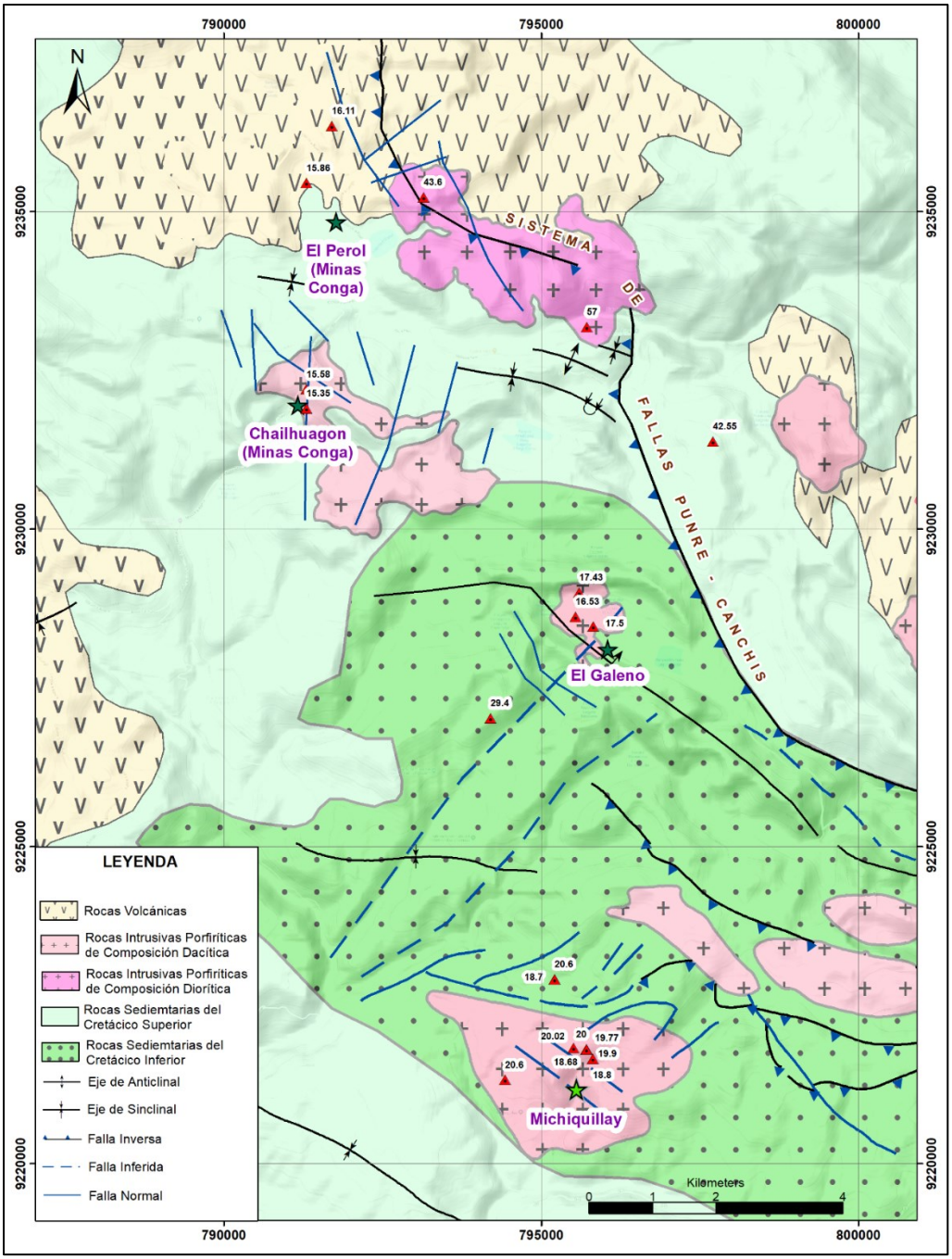

Figura 5 ***Mapa mostrando la geología simplificada y la tendencia de emplazamiento (NW) de los principales centros mineralizados del Mioceno, así como también las dataciones radiométricas realizadas en el área y la ubicación de la falla Punre - Canchis considerada como el principal control estructural para el emplazamiento de los cuerpos ígneos del área***

Como se puede observar en la tabla N° 03, La datación más antigua de mineralización, está en el pórfido Michiquillay con 21.85 Ma, anterior al emplazamiento de la mineralización en El Galeno con una edad de 17.43 Ma, en Minas Congo de debido a la poca ocurrencia de molibdenita (mineral utilizado para las dataciones de Re – Os), se desconoce su edad de mineralización pero se puede asumir que la mineralización debe tener una edad entre los 15.86 a 15.35 Ma por el emplazamiento de los intrusivos mineralizadores datados con estas fechas. Éstos datos geocronológicos muestran una clara migración de la actividad magmática hidrotermal de sur a norte en un lapso de tiempo aproximado de 6.5 Ma, que después de este periodo continúo migrando hacia el norte al sector de Hualgayoc y posteriormente retrocede al sur hacia el distrito minero Yanacocha.

Con los resultados de las dataciones realizadas en los diferentes estudios se considera al Proyecto Michiquillay como el Pórfido de mayor edad de mineralización reportado en el Mioceno en esta parte del Perú.

Tanto las alteraciones como la mineralización en estos 03 centros porfiríticos comparten una estrecha relación metalogenética siendo así que los tres sistemas porfiríticos presentan poco cuarzo, ensambles de alteración propilítico y carbonatos.

Las diferencias significativas entre los tres sistemas porfiríticos se relaciona en el ensamblaje de H_2S y la presencia o ausencia de una alteración fílica bien desarrollada, la alteración potásica intensa que consiste en feldespato K-biotita y magnetita diseminada, define el stock porfirítico principal de Chailhuagón (Minas Conga) mientras tanto Michiquillay y El Galeno carecen de magnetita hidrotermal diseminada, en todo el depósito.

En El Galeno, la elevada mineralización hipógena de Cu y Au se relaciona temporal y espacialmente con la alteración potásica y alta densidad de stockwork de cuarzo en intrusiones tempranas. En Michiquillay, los altos grados de mineralización hipógeno ocupan zonas de intensa

alteración potásica y están asociados con calcopirita, pirita, molibdenita y menor bornita. Los fluidos de la etapa tardía transportados a lo largo de las fallas resultaron en el desarrollo de un núcleo fílico rico en pirita de bajo grado. Gammons y Williams-Jones (1997) sugieren que los fluidos de etapa tardía asociados con la sobreimpresión fílica tienen el potencial de volver a movilizar cantidades significativas de Au y Cu. Tal escenario se propone para Michiquillay con fluidos en etapa tardía que removilizan la mineralización de Cu – Au relacionada con la alteración potásica lejos del centro del depósito.

En contraste con Michiquillay y El Galeno, la mineralización hipógena en Chailhuagón es deficiente en molibdeno, mientras que el Cu presenta leyes altas y se caracteriza por presentarse en bornita y calcopirita. Sin embargo, cuando la bornita está ausente o la calcopirita es más abundante que la bornita, la distribución del oro generalmente incrementa debido a que está estrechamente asociada con la calcopirita (Ballantyne et al. 1997, Ulrich y Heinrich 2001; Kesler et al. 2002).

En Michiquillay presenta un claro zoneamiento de la mineralización definidos como: zona de lixiviación, constituido por la ocurrencia de óxidos de Fe; zona de enriquecimiento secundario caracterizado por minerales de Calcosina y/o Covelina, y zona primaria la cual se ha clasificado en dos: denominados primario con alto contenido de pirita y primario con alto contenido de Calcopirita y sus minerales característicos en conjunto son la Pirita, Calcopirita, Molibdenita, Magnetita, Rutilo, Bornita, Esfalerita, Galena, etc.

Mineralización hipógena de Cu: El Cu se asocia a calcopirita, tanto diseminada como en vetillas “A” y “B”, principalmente relacionada a la alteración potásica. Las vetillas “A” son de cuarzo – calcopirita – pirita / cuarzo – feldespato potásico – calcopirita – pirita y local magnetita / cuarzo – magnetita - (Cp.), mientras que las vetillas “B” son de cuarzo – calcopirita – molibdenita / cuarzo

– molibdenita – calcopirita – pirita. El fuerte overprint sericítico / cuarzo - sericítico destruyó gran parte de la mineralización hipógena de Cu, lixiviando y reemplazando la calcopirita por pirita.

La pirita suele presentarse diseminada y en vetillas “D” y “DL”, alcanzando hasta un 10% vol., aunque en promedio suele ser 4%.

En la alteración Sericítica / cuarzo - sericítica - pirita (4-7%vol) los contenidos de Cu asociado a la calcopirita oscilan entre ~0.15 y 0.25%, mientras que en los pórfidos tempranos donde se preserva la alteración potásica (Bt / FK-Bt / Mt Cp-Py o Py-Cp / Mo) las leyes oscilan ~ 0.5-0.7%Cu + 120 – 200ppm Mo. No hay evidencias de Bornita en el sistema.

Mineralización Secundaria Cu: Bajo la zona de lixiviación se ha generado un discreto e inmaduro nivel de Cu secundario, caracterizado por un reemplazo parcial de calcosita – covelita sobre pirita – (calcopirita). Además, se observa el desarrollo de covelita - (covelita) bajo los 500m en algunas zonas de fallas.

Mineralización Cu tardío: Son comunes las vetas “DL” y tardías compuestas por cuarzo – pirita masiva, localmente Tennantita y eventualmente esfalerita – galena. Se interpreta estas evidencias como raíces del argílico avanzado y periféricas, respectivamente.

El Galeno: presenta dos estilos de mineralización, ambos relacionados con el centro hidrotermal del pórfido el Galeno.

Un evento temprano de bajo grado de mineralización hipógena de Cu con Mo y Au, alojada tanto por los sedimentos como por los intrusos. La calcopirita sin reemplazamiento de covelita o calcosita se encuentra solo en las áreas más profundas del sistema con rangos de cobre en la zona hipogénica que varían entre 0.1 y 0.2% de Cu. La calcopirita ocurre diseminada, fracturas, frecuentemente en venillas tipo “A”, “B” (ocasionalmente con pirita y molibdenita), también se observa intercrecida en pirita y esfalerita temprana, en zonas es reemplazada por bornita, covelita,

calcosita, digenita ± tetraedrita y tennantita.

Un evento posterior con mineralización enriquecida de Cu, cuyo origen aún no se ha determinado si es hipógena o supérgena. Está dominado por la mineralización de covelita con menos calcosita, esta mineralización de Cu enriquecida se asocia preferiblemente con la alteración fílica más fuerte, y también es más favorecido por las areniscas y lutitas impuras que las cuarcitas. La mineralización de covelita y calcosita ocurren a un máximo de 400 m de profundidad sobre la parte topográfica más alta del sistema.

Además, hay un evento de oxidación / lixiviación muy poco desarrollado y localizado superpuesto en la mineralización de Cu principal. Las zonas de mineralización de oro se alojan también en brechas las que se encuentran al este y al sureste del centro hidrotermal.

Perol y Chailhuagón: Están distanciados entre si 4Km en dirección NS y se han generado por una intrusión multi-fase de Pórfido Cuarzo-Feldespato con al menos 3 estadíos de emplazamiento en cada depósito. Las intrusiones tempranas contienen y son las principales fuentes de la mineralización económica de cobre y oro. En Perol, la alteración fílica se sobreimpone intensamente a la alteración potásica temprana como resultado de la alteración retrógrada. En Chailhuagón se preserva la intensa alteración potásica, característico de la alteración prógrada de los pórfidos. El rasgo estructural principal en Perol es de rumbo NW, sistema de fallas verticales paralelas que también controlan localmente el emplazamiento de brechas freáticas. El rasgo estructural principal en Chailhuagón es de rumbo NS, sistema de fallas verticales paralelas que controlaron el emplazamiento de los intrusivos de Chailhuagón. La mineralización económica de cobre-oro está asociada a la intensidad de venillas de cuarzo, a la alteración fílica y potásica en Perol y Chailhuagón respectivamente, y a los sulfuros diseminados de cobre (calcopirita, bornita, covelita, calcosita y digenita). En Perol, las brechas freáticas con skarn contienen mineralización

económica de cobre y oro, y están enriquecidas en zinc, plomo y plata, además de elementos como As, Sb y Bi, los que originan penalidad al concentrado si sus leyes son demasiado altas. En Chailhuagon la mineralización de sulfuros primarios es predominante y los sulfuros supérgenos de cobre están localmente y pobremente desarrollados. En Perol estos están desarrollados en cantidades significantes, comúnmente asociados con la alteración fílica, donde la calcopirita es reemplazada por calcosita supérgena, digenita y/o covelita y la pirita está recubierta por estos minerales.

Tabla 4

Resumen de los principales centros porfiríticos asociados al fallamiento Punre – Canchis

	El Galeno	Michiquillay	Chailhuagón	El Perol
Asociación Mineral	Cu - Au - Mo	Cu - Au - Mo	Au - Cu	Au - Cu
Estimación de Recursos	486 Mt @ 0.57% Cu + 0.14 g/t Au	631 Mt @ 0.69% Cu + 0.15 g/t Au	190 Mt @ 0.77 g/t Au + 0.28 %Cu	428 Mt @ 0.78 g/t Au + 0.31 %Cu
Tipo de Intrusión	Hornblenda - biotita - diorita	Hornblenda - biotita - diorita	Hornblenda - biotita - diorita	Hornblenda - biotita - diorita
Intrusiones Reconocidas	4	2	2	3
Dimensión del Intrusivo Principal	1250 X 600 m. con orientación al NW	5000 X 1500 m. con orientación al NW	2000 X 500 m. con orientación N -S	1600 X 650 m. con orientación NW
Roca Caja	Cuarcita, areniscas y calizas	Cuarcita, areniscas y calizas	Calizas y margas	Calizas y margas
Elevación (m.s.n.m)	3850 - 4000	3500 - 3750	3840 - 3900	3870 - 3960
Control Estructural	Localizado en la intersección de varias estructuras	Emplazado dentro de la parte levantada de una falla inversa	Localizado en la intersección de fallas de tendencia N y NW	Emplazado en el trend NW de falla el Perol
Brechas	Brechas hidrotermales y brechas magmáticas posteriores a la mineralización	Esporádicas brechas magmáticas	No	No
Principales Faces de Alteración	Potásica, cuarzo - magnetita, cuarzo - sericita, carbonatos - epídota - fluorita	Potásica, magnetita, cuarzo - sericita, epídota - clorita	Potásica + magnetita, cuarzo - sericita, skarn, cuarzo, carbonatos - epídota	Potásica + magnetita, cuarzo - sericita, skarn, argílica avanzada
Stockwork de Cuarzo	Moderado a fuerte	Moderado a fuerte	Fuerte	Fuerte a moderado

Controles de Mineralización	Relacionado a la intrusión dominante	Fallas NNW y alteraciones con tendencia NE	Relacionado a la intrusión y venilleos	Relacionado a la intrusión y venilleos
Principales Sulfuros Hipógenos	Pirita, calcopirita, molibdenita	Calcopirita, pirita, molibdenita	Calcopirita, bornita, pirita	Calcopirita, bornita, pirita
Principales Sulfuros Supérgenos	Calcosita, Covelita	Calcosita, Covelita	Calcosita, Covelita	Calcosita, Covelita
Potencia de Zona Supérgena	De 0.00 a 12.00 m.	De 0.00 a 40.00 m.	No	No
Potencia de Zona Lixiviada	Menos de 10.00 metros	Hasta aproximadamente 80.00 metros	No	No

CAPÍTULO VII

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA

7.1. CONCEPTOS BÁSICOS.

7.1.1. Ambiente Geoquímico.

Dentro de los principios fundamentales de la geoquímica está el reconocimiento de los ambientes geoquímicos que se desarrollan en la corteza terrestre, es así que la exploración geoquímica se basa en el conocimiento de que un depósito mineral normalmente presenta una envoltura de mineralización a su alrededor y que en un patrón de dispersión secundaria de elementos geoquímicos es a menudo originado durante los procesos de intemperismo y erosión del depósito. La Presión, temperatura y la disponibilidad de la mayoría de los componentes químicos son los parámetros de los ambientes geoquímicos que determinan los ensambles mineralógicos en un determinado punto. En base de estas variables, es posible clasificar todos los ambientes naturales de la tierra en dos grandes grupos: primario y secundarios.

Ambiente Primario.

Se extienden por debajo de los niveles inferiores de la circulación de aguas subterráneas a los niveles de profundidad donde las rocas son normalmente formadas, en esta zona ocurre procesos como el metamorfismo, magmatismo (fusión, cristalización, disolución y precipitación). Estos son ambientes de altas temperaturas y presiones, fluidos de circulación restringida y bajo contenido de oxígeno libre.

Las rocas formadas en el ambiente primario pueden alcanzar el ambiente secundario, y muchos cambios pueden resultar por la acción de una gran variedad de procesos geológicos de los cuales los más importantes son el intemperismo, la erosión, sedimentación, diagénesis y la acción

biológica.

Los minerales formados bajo condiciones primarias llegan a ser inestables en el ambiente secundario, por lo que suelen ser erosionados, con el resultado de que los elementos contenidos en ellos puedan ser liberados, transportados y redistribuidos.

Ambiente Secundario.

Denominado también como ambiente geoquímico supergénico, exógeno, comprende los procesos superficiales de meteorización, erosión y sedimentación (formación de suelos). Está caracterizada por bajas temperaturas, presiones casi constantes, libre movimiento de soluciones y abundante oxígeno libre, agua y Co_2.

Es durante los procesos de transporte y redistribución de elementos, que métodos geoquímicos extremadamente sensibles son particularmente aplicables, y pueden ser utilizados para encontrar ya sea la fuente primaria de la que provienen dichos elementos libres, o nuevos depósitos minerales resultantes de la redistribución de estos elementos.

7.1.2. Dispersión Geoquímica.

Se refiere a desviaciones hacia valores más bajos de los elementos contenidos en un depósito mineral con una distribución determinada de los minerales de mena o de elementos asociados a ellos, debido a que está siendo destruido química o mecánicamente por erosión (ambiente secundario), dicho de otro modo, es la capacidad de migración de un elemento desde su origen a través de medios diferentes mediante procesos físico químicos y mecánicos.

Cuando un elemento químico es liberado de las rocas mediante la meteorización, su migración supergénica, es decir su movilidad y dispersión, dependen en gran parte de factores tales como: *la solubilidad, el pH y el E*h de un ambiente, la adsorción y reacciones competidoras. Dicha dispersión puede ser mecánica y química.

Dispersión Mecánica.

Aplicada en la investigación de especies minerales, las cuales están relativamente estables bajo condiciones prevalecientes en la superficie (oro, platino, casiterita, tierras raras) donde las condiciones climáticas restringen el intemperismo geoquímico.

Dispersión Química.

La contribución de procesos químicos a través de la meteorización, comprende sobretodo una diferenciación del material en varias fracciones de movilidad. De acuerdo a esto, los elementos pueden ser considerados inmóviles (insolubles) o móviles (solubles).

La dispersión también puede ser de los siguientes tipos:

Dispersión Primaria:

Involucra todos los procesos de emplazamiento de minerales durante la formación del depósito (ambiente primario con temperatura y presión elevada), sin importar como se formó el cuerpo mineralizado. Los productos de dispersión primaria se conservan en tanto la roca en la que se hospedan se encuentre en equilibrio y no sea expuesta a alteraciones (meteorización, metamorfismo, etc.).

Podemos distinguir en la dispersión primaria dos clases de dispersiones:

La dispersión singenética: Los elementos se forma al mismo tiempo que la roca.

La dispersión epigenética: Se forma como material introducido de una u otra manera en una roca pre-existente.

Dispersión Secundaria

Comprende la redistribución de los modelos primarios, por medio de cualquier proceso posterior; a menudo se desarrollan bajo condiciones de baja temperatura y presión.

Los elementos de una roca alterada son sujetos a una erosión y una dispersión que los

transportan del sitio de origen. Mediante el transporte, una precipitación selectiva o una sedimentación pueden resultar en una redistribución de los productos de meteorización. Dicha movilidad de los elementos está supeditada a las propiedades mecánicas (fase móvil del mineral), viscosidad, solución, tamaño, forma y densidad de los granos y las características físico-químicas de cada elemento. Debido a ello, la exploración geoquímica se enfoca a la determinación de los elementos de la mena o a los elementos asociados a la mena dispersos, denominados elementos indicadores y elementos guías respectivamente.

7.1.3 Método Analítico de Inducción de Plasma (ICP).

El método analítico de Inducción de Plasma Acoplada es una técnica usada para detectar las trazas de metales en muestras provenientes del medio ambiente. La meta del ICP es hacer que los elementos emitan su onda específica de luz la cual puede ser medida. se utiliza para analizar simultáneamente muchos elementos y en niveles tan bajos como 1-10 partes por mil millones o ppb. El ICP funciona usando un plasma de argón en el que se inyecta una muestra líquida atomizada. La muestra se ioniza en el plasma y los iones emiten luz a diferentes longitudes de onda características que posteriormente se miden.

El argón necesita que los niveles de oxígeno y de agua sean bajos, ya que tienen un efecto de apantallamiento sobre la señal de algunos metales que da lugar a falsas lecturas bajas. También necesita que sean bajos los niveles de hidrocarburo, puesto que pueden dar lugar a depósitos de carbono sobre el espejo, lo cual reduciría la potencia de la señal. A veces, en el ICP se emplea el nitrógeno como gas de refrigeración.

En el ICP con espectrómetro de masas o ICP-MS, los iones producidos en el plasma de argón se inyectan en el espectrómetro de masas, separando así los iones en función de su relación de masa y carga. Es ideal para análisis de metales en concentraciones de tan solo partes por billón.

Las impurezas en el argón pueden provocar problemas graves con el ICP-MS debido a su alta sensibilidad.

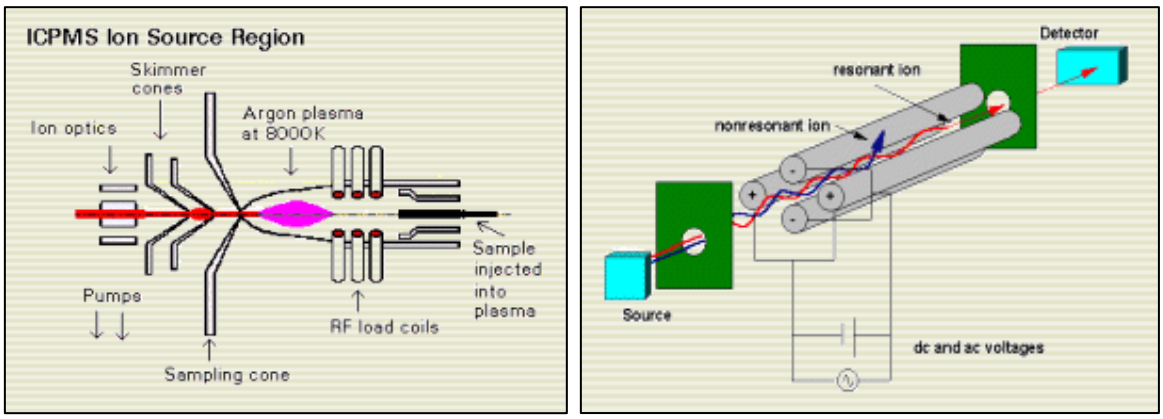

Figura 6 A la izquierda vemos un esquema del sistema de ionización por plasma (ICP). A la derecha vemos el analizador cuadrupolar (MS)

7.2 PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACION GEOQUIMICA.

Para un mejor entendimiento, antes de analizar la data geoquímica es necesario tener en cuenta algunos conceptos básicos de estadística, los cuales se detallan a continuación.

7.2.1 Medidas de Posición.

Media. Llamada también promedio o media aritmética, de un conjunto infinito de números, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumando.

Moda. Se define como el valor de la variable que se repite con mayor frecuencia y más de una vez. La dificultas que presenta es que se comporta erráticamente cuando se redondean los valores de los datos.

Mediana. *R*epresenta el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados, donde el 50% de las observaciones quedan por encima del valor calculado y el otro 50% por debajo.

7.2.2 Medidas de Dispersión.

Desviación Estándar. Es el parámetro más crítico, necesario para establecer los valores de background y las variaciones locales o regionales (Threshold) y las posibles o probables anomalías en una serie de concentración geoquímica, la cual puede ser calculada por la ecuación:

$$DS = \sum \sqrt{[(X - M)^2]/_{N-1}}$$

X=CLASE

M=MEDIA

N=NUMERO DE MUESTRA

Varianza. La varianza se define como el promedio o media de los cuadrados de las desviaciones de las medidas respecto a su media. A mayor valor indicará una mayor dispersión de los datos.

$$V = DS^2$$

7.2.3 Medidas de Forma.

Medias de asimetría. Se dice que una distribución de datos estadísticos es simétrica cuando la línea vertical que pasa por su media, divide a su representación gráfica en dos partes simétricas. En las distribuciones simétricas los parámetros media, mediana y moda coinciden, mientras que, si una distribución presenta cierta asimetría, de un tipo o de otro, los parámetros se sitúan como muestra el siguiente gráfico:

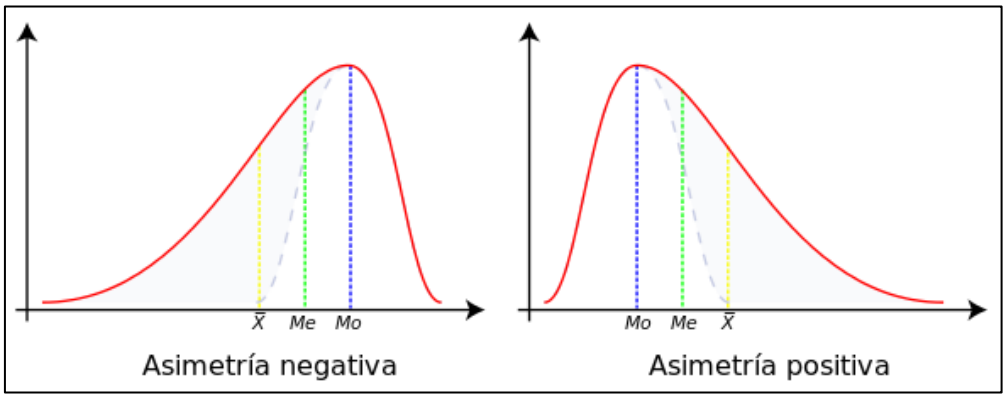

Figura 7 ***Tipos de asimetría***

Curtosis. Mide la mayor o menor concentración de datos alrededor de la media. Se suele medir con el coeficiente de curtosis:

Si este coeficiente es nulo, la distribución se dice normal (similar a la distribución normal de Gauss) y recibe el nombre de mesocúrtica.

Si el coeficiente es positivo, la distribución se llama leptocúrtica, más puntiaguda que la anterior. Hay una mayor concentración de los datos en torno a la media.

Si el coeficiente es negativo, la distribución se llama platicúrtica y hay una menor concentración de datos en torno a la media. sería más achatada que la primera.

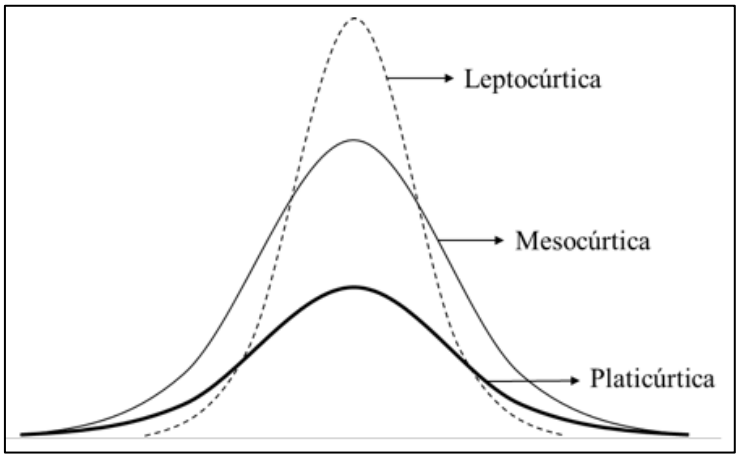

Figura 8 *Curtosis*

7.2.4 Otros Parámetros.

Background y Threshold: El background es el valor de fondo, el cual representa el valor de un elemento específico en un medio concreto; y el Threshold es el mismo valor más la desviación estándar.

Amplitud: Se define como el valor máximo menos el valor mínimo de una serie de datos.

$A = V_{max} - V_{min}$

Intervalo de una clase. es la amplitud dividida entre el número de clases.

I= A/Nº clase

Para nuestro análisis estadístico se utilizó 145 muestras tomadas por el método de rock chip de las cuales se ha dividido en 03 grupos teniendo en cuenta la litología. A continuación, se detalla el número de muestras por cada tipo de roca.

Tabla 5

Número de muestras por roca

LITOLOGIA	N° DE MUESTRAS
PÓRFIDO	107
ROCAS CALCÁREAS	19
CUARCITA - ARENISCA	19

A continuación, se detalla la estadística básica para estas 03 poblaciones.

Tabla 6

Estadística básica en el PORFIDO

PORFIDO							
	Cu (ppm)	**Mo (ppm)**	**Au (ppb)**	**As (ppm)**	**Ag (ppb)**	**Pb (ppm)**	**Zn (ppm)**
N° de Muestras	107.00	107.00	107.00	107.00	107.00	107.00	107.00
Mínimo	5.90	0.32	3.30	1.00	10.00	0.87	0.80
Máximo	2029.60	636.57	599.40	1113.10	13139.00	1318.93	1650.00
Rango	2023.70	636.25	596.10	1112.10	13129.00	1318.06	1649.20
Media	468.70	66.03	99.26	126.23	420.44	44.44	33.39
Desviación Estándar	331.50	101.96	125.26	189.69	1438.22	166.77	170.56
Mediana	406.98	25.32	48.50	57.50	116.00	6.90	4.00
Moda	128.00	1.06	6.80	3.30	80.00	1.76	2.00
Varianza	109894.44	10396.72	15688.85	35983.24	2068469.61	27813.12	29091.62
Curtosis	5.62	13.01	3.83	7.73	57.06	40.09	74.00

Tabla 7

Estadística básica en ARENISCAS - CUARCITAS

ARENISCAS CUARCITAS							
	Cu (ppm)	**Mo (ppm)**	**Au (ppb)**	**As (ppm)**	**Ag (ppb)**	**Pb (ppm)**	**Zn (ppm)**
N° de Muestras	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
Mínimo	5.80	0.75	3.00	2.00	19.00	1.58	3.00
Máximo	528.46	86.12	148.30	343.80	282.00	157.00	864.00
Rango	522.66	85.37	145.30	341.80	263.00	155.42	861.00
Media	144.67	13.10	30.60	55.49	77.63	19.33	62.29
Desviación Estándar	149.21	25.73	36.06	79.62	76.07	36.71	195.22
Mediana	87.20	1.86	16.90	28.00	60.00	5,76	13.00
Moda	5.80	0.75	7.90	2.00	20.00	1.58	9.00
Varianza	22264.20	15174.80	41198.60	172600.47	218659.00	31347.27	759743.98
Curtosis	1.96	2.09	3.59	6.69	2.77	8.14	12.80

Tabla 8

Estadística básica en ROCAS CALCAREAS

ROCAS CARBONATADAS							
	Cu (ppm)	**Mo (ppm)**	**Au (ppb)**	**As (ppm)**	**Ag (ppb)**	**Pb (ppm)**	**Zn (ppm)**
N° de Muestras	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
Mínimo	2.50	0.19	0.05	1.00	5.00	1.40	12.00
Máximo	211.00	1.56	4.80	42.10	760.00	31.80	2330.00
Rango	208.50	1.37	4.75	41.10	755.00	30.40	2318.00
Media	19.71	0.65	1.00	7.25	61.05	9.49	189.42
Desviación Estándar	46.96	0.37	1.20	9.06	171.19	8.34	521.56
Mediana	6.10	0.66	0.70	4.30	10.00	7.40	57.00
Moda	3.10	0.19	0.60	4.00	10.00	1.40	12.00
Varianza	2205.58	0.13	1.45	82.09	29304.39	69.51	272023.37
Curtosis	12.30	0.37	4.03	9.24	12.45	1.71	12.77

7.3 EVALUACION GEOQUIMICA.

Se realizó la evaluación geoestadístico a los resultados geoquímicos de 145 muestras, utilizando el método de interpolación Kriging, teniendo en cuenta que este método es más completo con diferentes características, entre los que se incluyen principalmente, el análisis estadístico exploratorio de los datos y el modelado de variogramas y cuando se sabe que hay una influencia de la distancia entre los datos.

Adicionalmente se preparó histogramas de frecuencia log normal, para conocer la distribución de los diferentes elementos analizados.

También se determinó el Background y el Threshold, para determinar la intensidad de las anomalías geoquímicas, para lo cual se tuvo en cuenta lo siguiente:

- ***Anomalía muy débil.***

Se considera como anomalía muy débil a los valores que están por encima del valor del Threshold.

- ***Anomalía débil (o probable).***

Se considera como anomalía débil o probable a los valores que están por encima de, Threshold + 1 desviación estándar.

- ***Anomalía moderada (o significativa).***

Se considera como anomalía moderada o significativa a los valores que están por encima de, Threshold + 2 desviación estándar.

- ***Anomalía fuerte (o cierta).***

Se considera como anomalía fuerte o cierta a los valores mayores a, el Threshold + 3 desviación estándar.

A continuación, se calcula la intensidad de las anomalías para las rocas calcáreas, areniscas cuarcita y el pórfido.

Tabla 9

Intensidad de anomalías en el PÓRFIDO

PORFIDO							
INTENSIDAD	**Cu (ppm)**	**Mo (ppm)**	**Au (ppb)**	**As (ppm)**	**Ag (ppb)**	**Pb (ppm)**	**Zn (ppm)**
FUERTE	1735	433	549	817	5868	675	688
MODERADA	1403	331	424	627	4430	508	517
DEBIL	1071	229	299	437	2992	341	346
MUY DEBIL	>739	>127	>174	>247	>1554	>174	>175
THRESHOLD	739	127	174	247	1554	174	175
BACKGROUND	407	25	49	57	116	7	4

Tabla 10

Intensidad de anomalías en ARESNICAS Y CUARCITAS

ARENISCAS CUARCITAS							
INTENSIDAD	**Cu (ppm)**	**MO (ppm)**	**Au (ppb)**	**AS (ppm)**	**Ag (ppb)**	**Pb (ppm)**	**Zn (ppm)**
FUERTE	684	105	161	347	364	153	794
MODERADA	534	79	125	267	288	116	598
DEBIL	385	54	89	188	212	80	403
MUY DEBIL	>236	>28	>53	>108	>136	>43	>208
THRESHOLD	236	28	53	108	136	43	208
BACKGROUND	87	2	17	28	60	6	13

Tabla 11

Intensidad de anomalías ROCAS CALCÁREAS

ROCAS CALCÁREAS							
INTENSIDAD	**Cu (ppm)**	**MO (ppm)**	**Au (ppb)**	**AS (ppm)**	**Ag (ppb)**	**Pb (ppm)**	**Zn (ppm)**
FUERTE	194	2.1	6	41	695	41	2143
MODERADA	147	1.8	4	31	524	32	1622
DEBIL	100	1.4	3	22	352	24	1100
MUY DEBIL	>53	>1	>2	>13	>181	>16	>579
THRESHOLD	53	1.0	2	13	181	16	579
BACKGROUND	6.1	0.7	0.7	4	10	7	57

- ***Valores anómalos para rocas encajonantes.***

El presente trabajo tiene por objetivo determinar valores anómalos que nos permitan usarlos como parámetros guía en una prospección en los alrededores del sistema porfirítico Michiquillay y también en una prospección de ámbito regional dentro de la franja La franja XX de los Pórfidos de Cu-Mo-Au.

Partiendo del hecho que el sistema porfirítico Michiquillay es un depósito mineral confirmado, se ha tomado los valores de background de las rocas encajonantes como valores anómalos guía aplicables en una prospección geoquímica de ámbito regional, teniendo en cuenta el grado de dispersión de cada elemento dentro del sistema porfirítico Michiquillay, de tal manera que:

El Cu y Mo, presentan un background elevando en el pórfido y va disminuyendo a medida que nos alejamos de este, debido a que dentro de un sistema hidrotermal porfirítico tienden a presentar una distribución central por sus altas temperaturas de precipitación y agentes de movilidad.

El Au, As y Ag, también ocurre similar a la distribución de Cu y Mo, estos minerales precipitan en las partes altas de un sistema hidrotermal a temperaturas entre 100 a 200 °C.

El Pb, Zn. Estos metales base tienen una temperatura de precipitación más baja por eso que tienden a precipitar en zonas más alejadas del centro del sistema hidrotermal, un claro ejemplo de esto, se puede observar en los background de las areniscas – cuarcitas y en las rocas calcáreas, las cuales presentan background mayores que el pórfido mineralizador.

Tabla 12

Valores de background guías para exploración en esta franja asociada al fallamiento Punre – Canchis

VALORES DE BACKROUND GUIAS POR TIPO DE ROCA							
TIPO DE ROCA	**Cu (ppm)**	**Mo (ppm)**	**Au (ppb)**	**As (ppm)**	**Ag (ppb)**	**Pb (ppm)**	**Zn (ppm)**
Rocas Porfiríticas	407	25	49	57	116	7	4
Arenisca - Cuarcita	87	2	17	28	60	6	13
Rocas Calcáreas	6	1	1	4	10	7	57

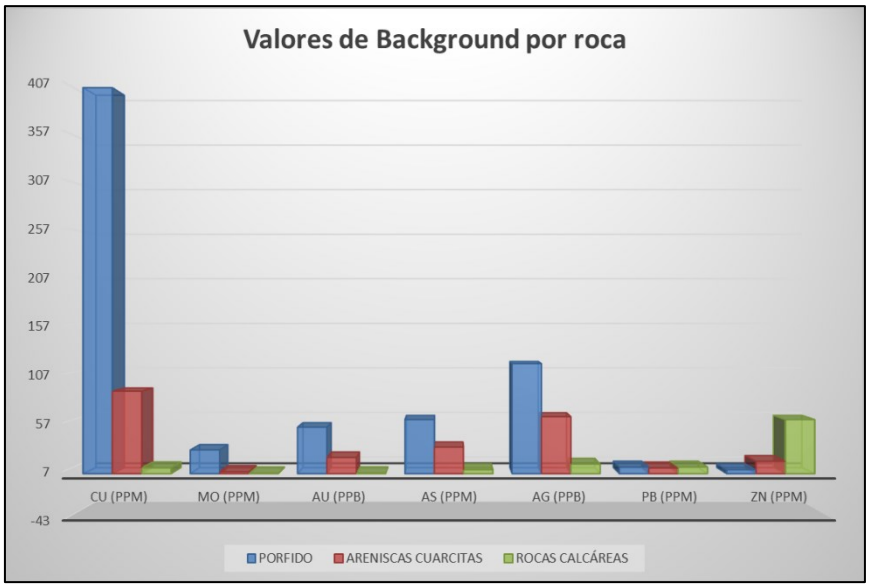

Figura 9 ***Valores de background por roca***

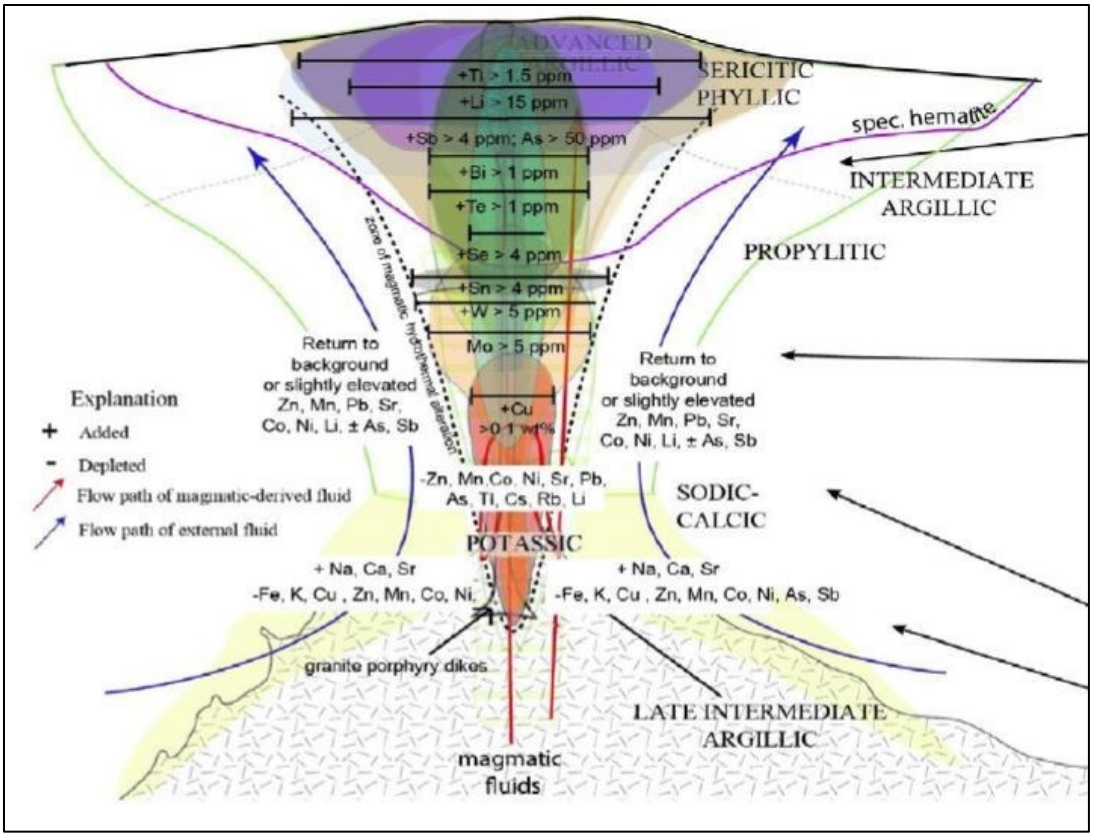

Figura 10 ***Variación vertical de elementos traza en un sistema Porfirítico de Cu (Halley et al. 2015)***

7.3.1 Distribución Geoquímica.

COBRE (Cu)

En el Pórfido: El cobre en esta roca presenta valores desde 5.90 a 2029.60 ppm, con una distribución log normal con sesgo negativo lo que representa buena concentración de valores altos, donde el 50% de la población está por sobre el background (407 ppm) y el 17% sobre el Threshold (739 ppm). Las anomalías, moderada a fuerte se ubican en la parte central con una orientación aproximada de N45°E.

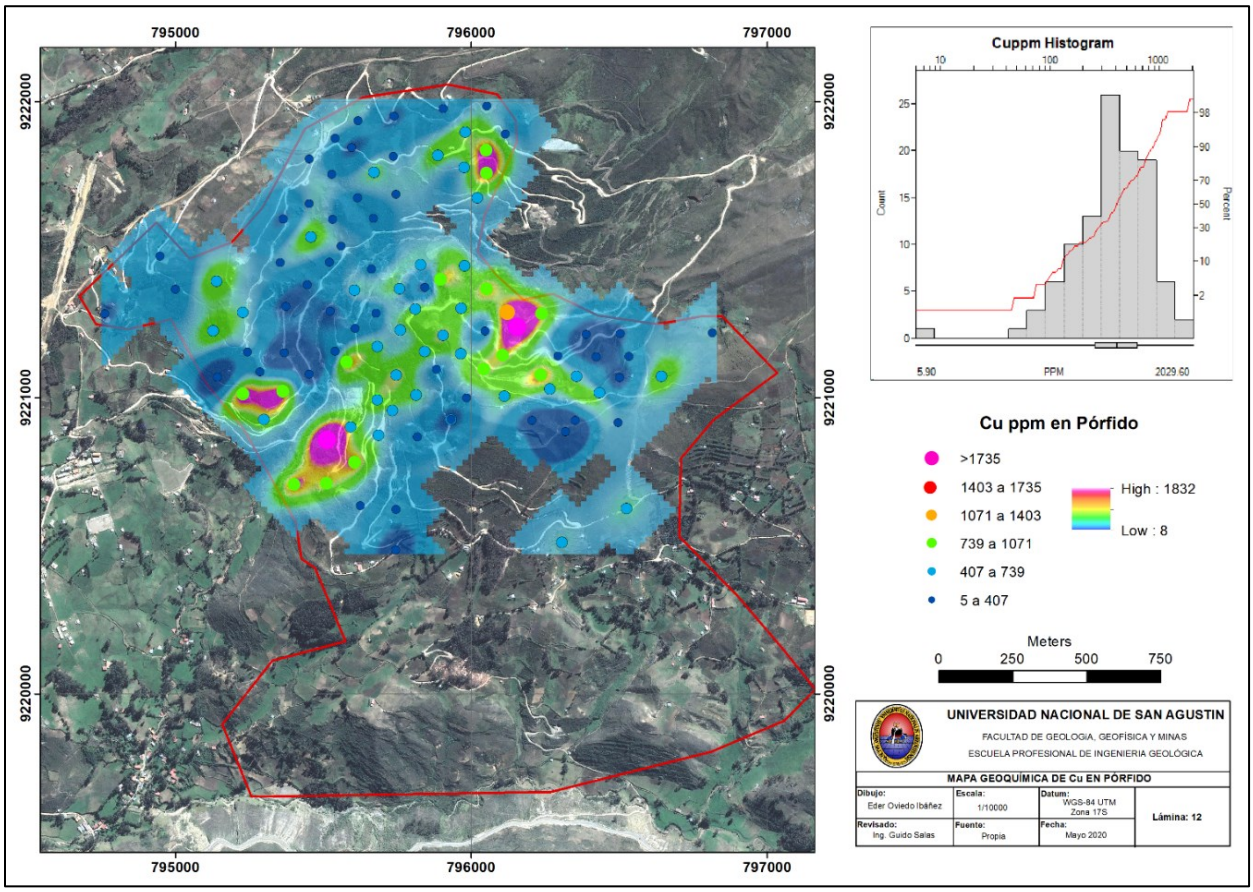

Lámina 12 ***Geoquímica de Cu en los Pórfidos***

En Areniscas – Cuarcitas: El cobre se presenta en un rango de 5.80 a 528.46 ppm, con una distribución log normal con sesgo negativo al igual que en el pórfido, donde el 47% de la población tiene valores por encima del background y solo un 10% sobre el Threshold. Las anomalías de cobre están en el rango de muy débil a débil, la cual se va intensificando de sur a norte hacia la parte central de la zona de estudio.

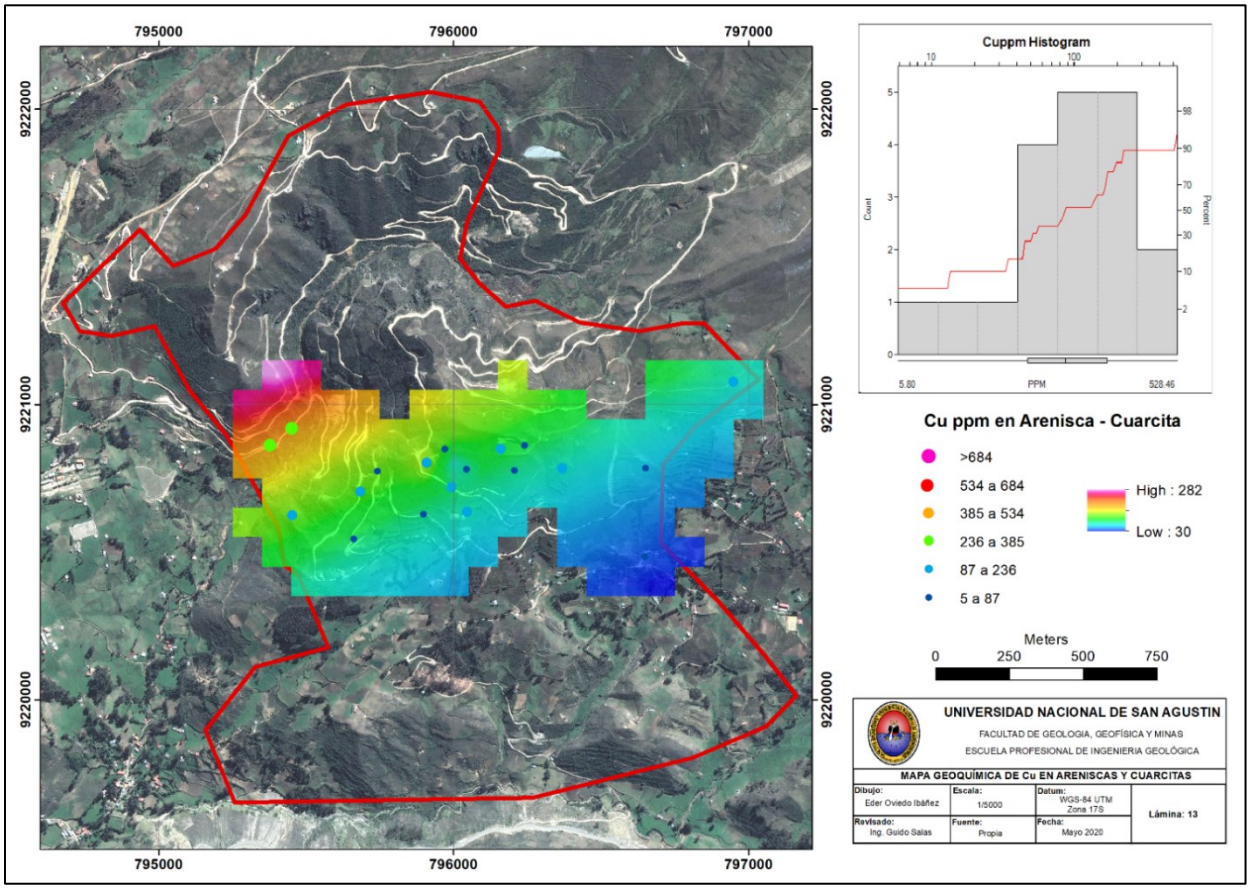

Lámina 13 ***Geoquímica de Cu en areniscas y cuarcitas***

***En rocas Calcáreas**:* Estas rocas afloran en la parte sur de la nuestra área de estudio, el cobre presenta valores desde los 2.5 a 211 ppm, el histograma presenta una distribución log normal con sesgo positivo, el 53% de la población tiene valores mayores al background (6 ppm), y solamente una muestra representa una fuerte anomalía.

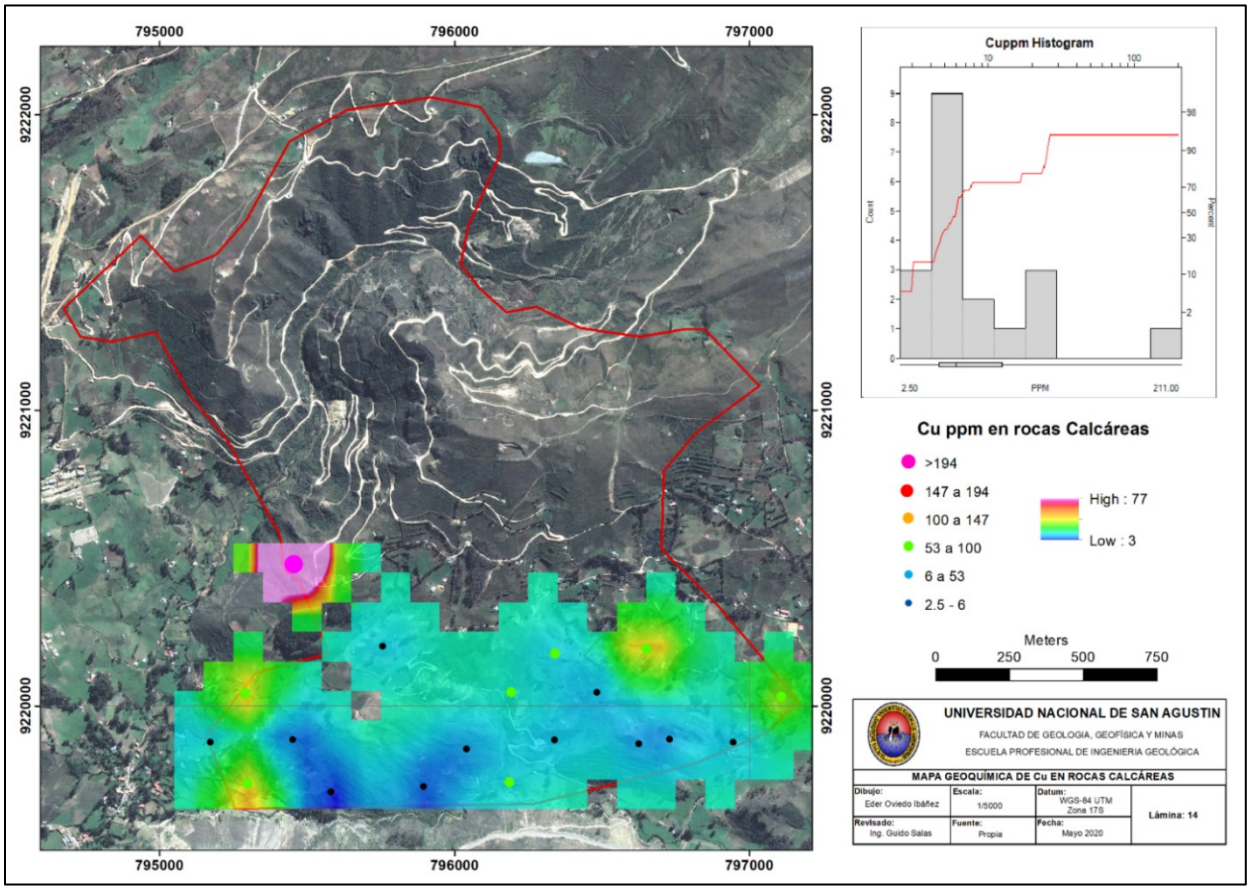

Lámina 14 ***Geoquímica de Cu en rocas calcáreas***

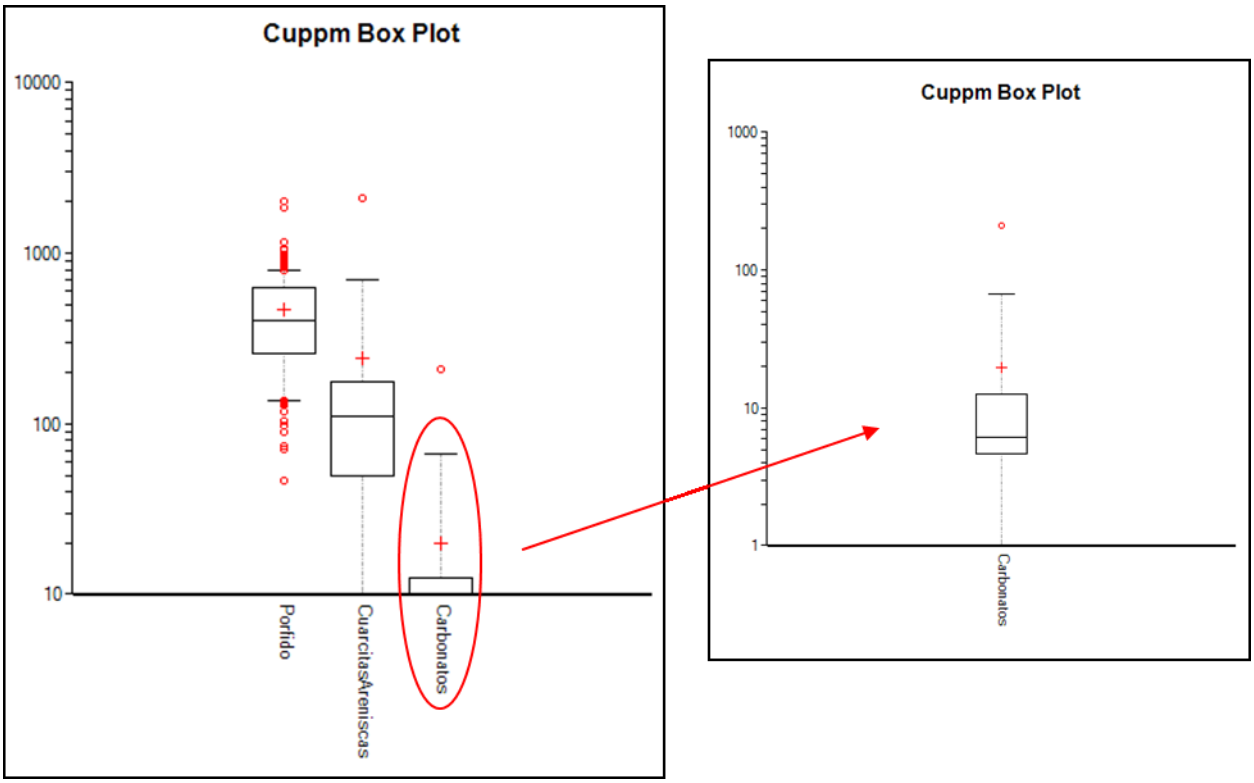

Figura 11 ***Box plot mostrando la distribución de los valores de cobre en los 03 grupos de rocas, con +/- una desviación estándar de la MEDIA. Se puede observar una distribución simétrica con ligera concentración de valores altos en el pórfido, en la cuarcita – arenisca la distribución asimétrica con una mayor dispersión en los valores bajos, en las rocas calcáreas la distribución es asimétrica con mayor dispersión en los valores altos.***

MOLIBDENO (Mo)

En el Pórfido: El molibdeno presenta valores desde 0.32 a 636.57 ppm, el histograma expresa una distribución log normal con ligero sesgo negativo, la que indica una regular concentración de valores altos, es así que el 51% de la población tiene valores mayores al background (25 ppm) y un 16% de la población está sobre el Threshold (127 ppm). Las anomalías modelan una forma elongada semicircular en el centro y hacia el norte de la zona de estudio, con una intensidad que va desde muy débil hasta fuerte.

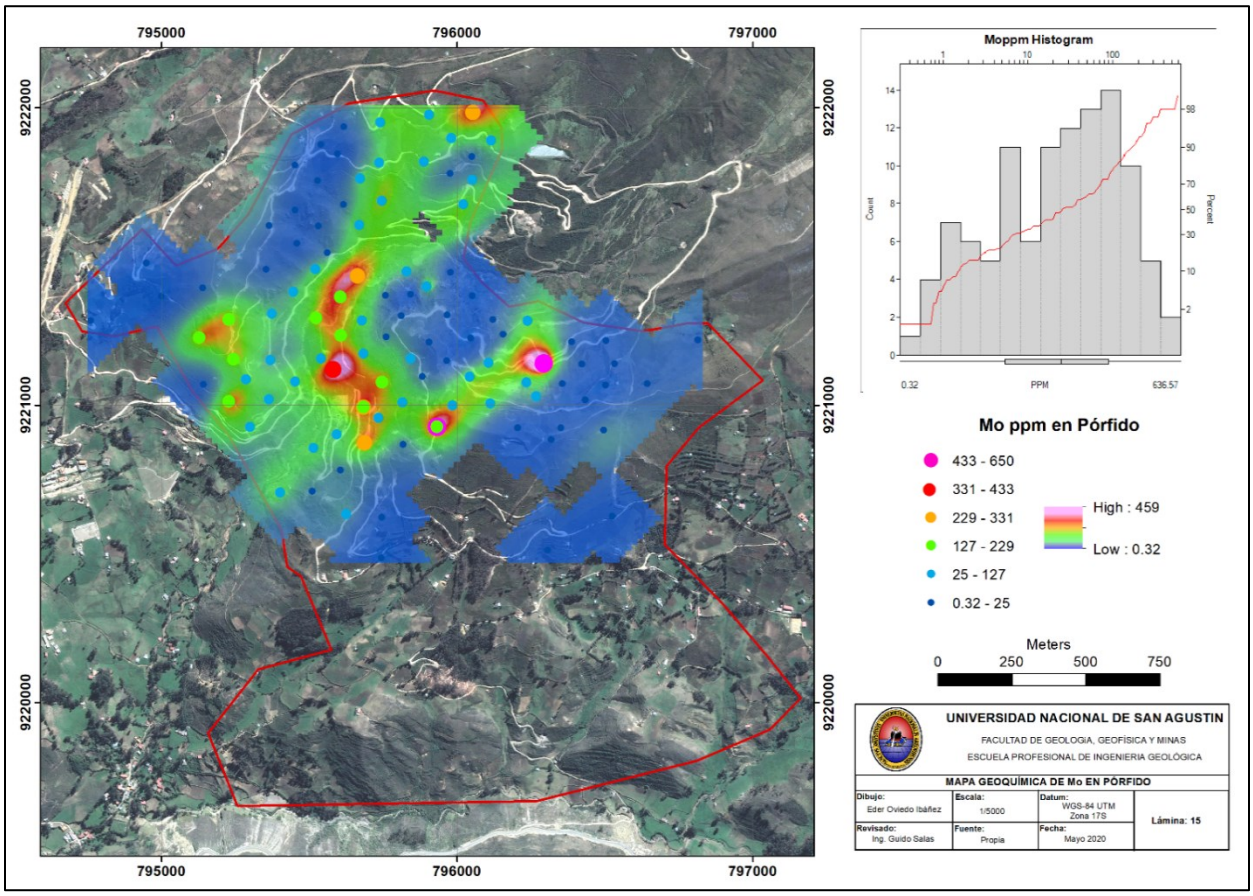

Lámina 15 ***Geoquímica de Mo en los pórfidos***

En Areniscas – Cuarcitas: Los valores de molibdeno en esta roca ocurren desde los 0.75 a 86.12 ppm, el histograma presenta una distribución log normal con sesgo negativo, donde el 42% de los valores está por encima del background (2 ppm) y un 14% por sobre el Threshold (28 ppm). Los valores modelan una moderada anomalía a ambos lados de la margen de rio Michiquillay con una tendencia N315E.

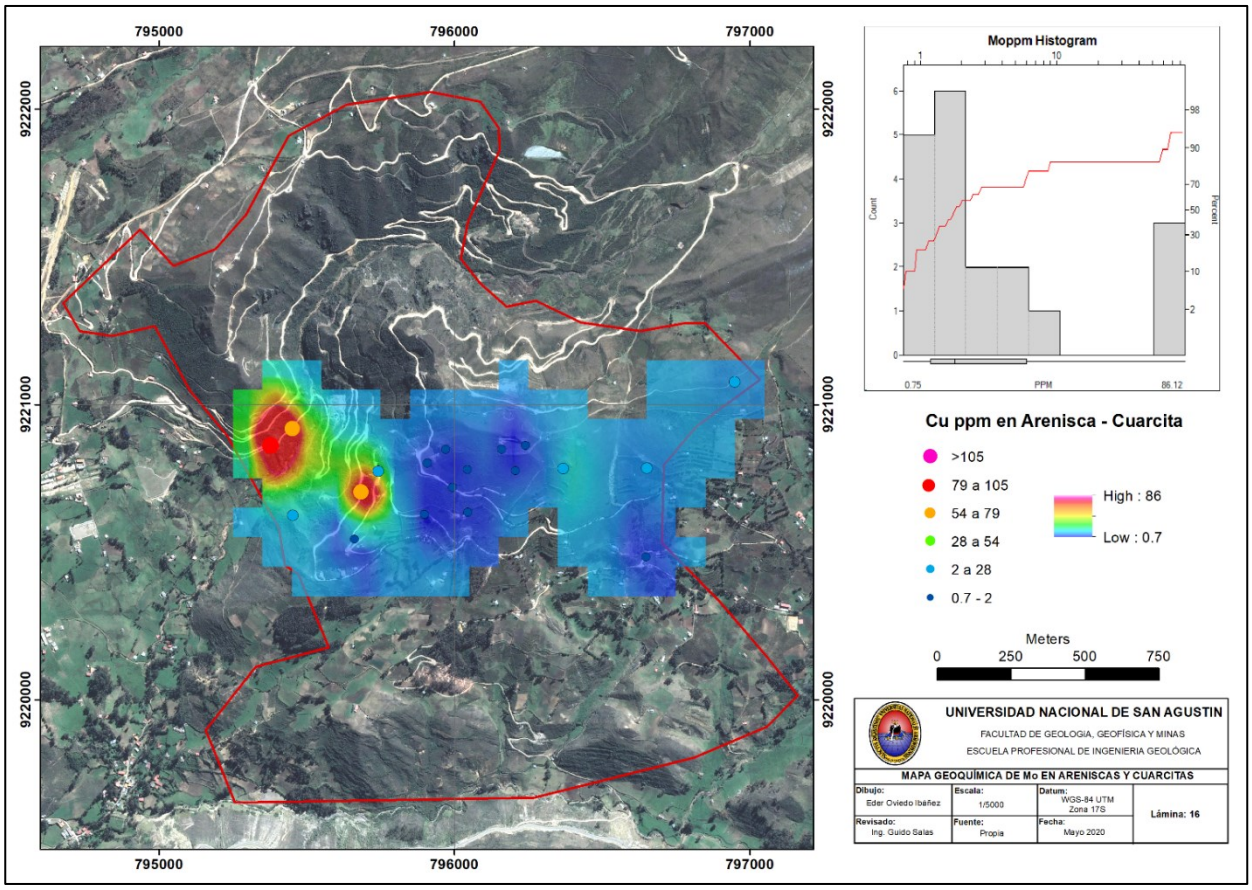

Lámina 16 Geoquímica de Mo en areniscas y cuarcitas

En rocas Calcáreas: Los valores en esta roca están desde los 0.19 a 1.56 ppm, los cuales son muy bajos debido a que se encuentra alejada de los pórfidos mineralizadores, el histograma presenta una distribución log normal donde el 41% de la población tiene valores por sobre el background (0.7 ppm), solo 02 valores están sobre el Threshold (1 ppm), los cuales generan una débil anomalía puntual.

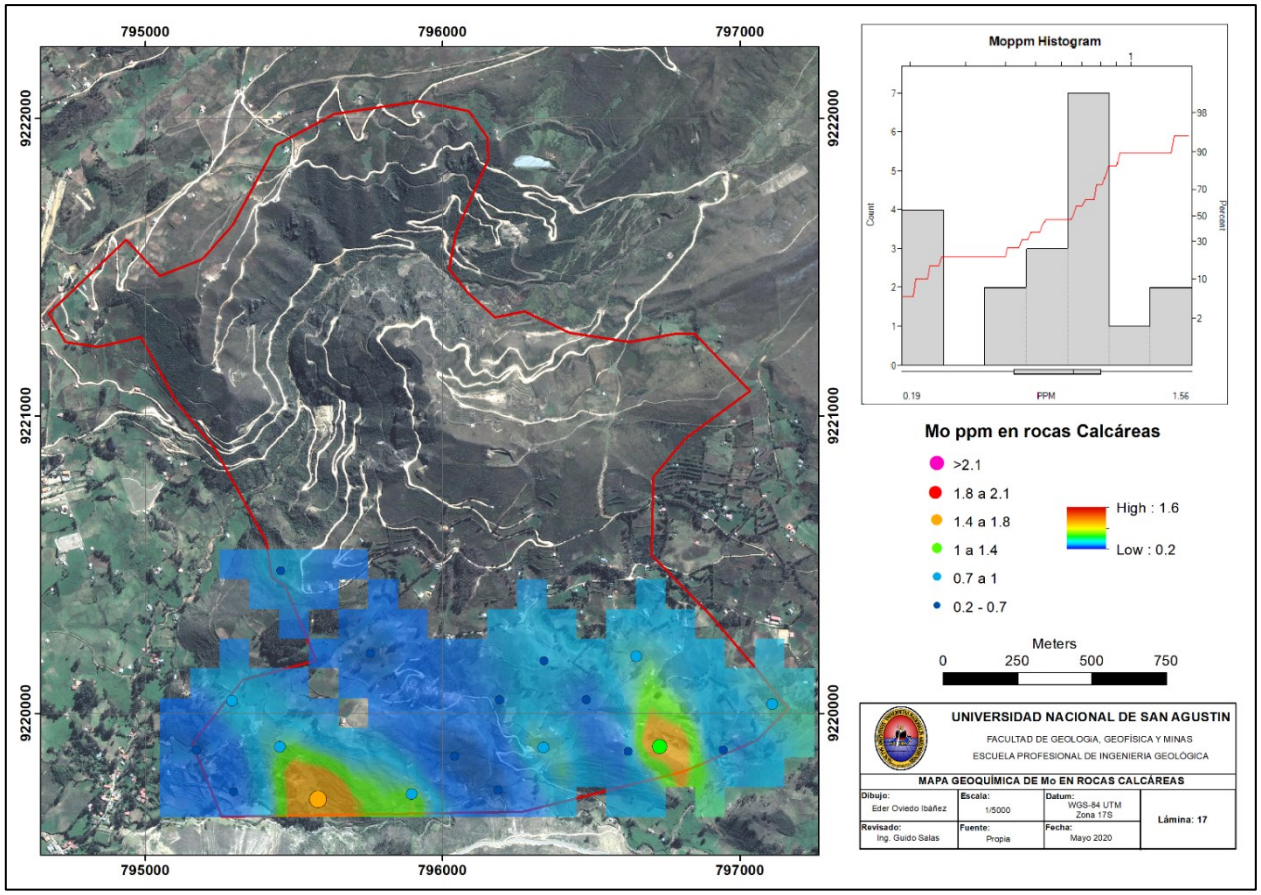

Lámina 17 ***Geoquímica de Mo en rocas calcáreas***

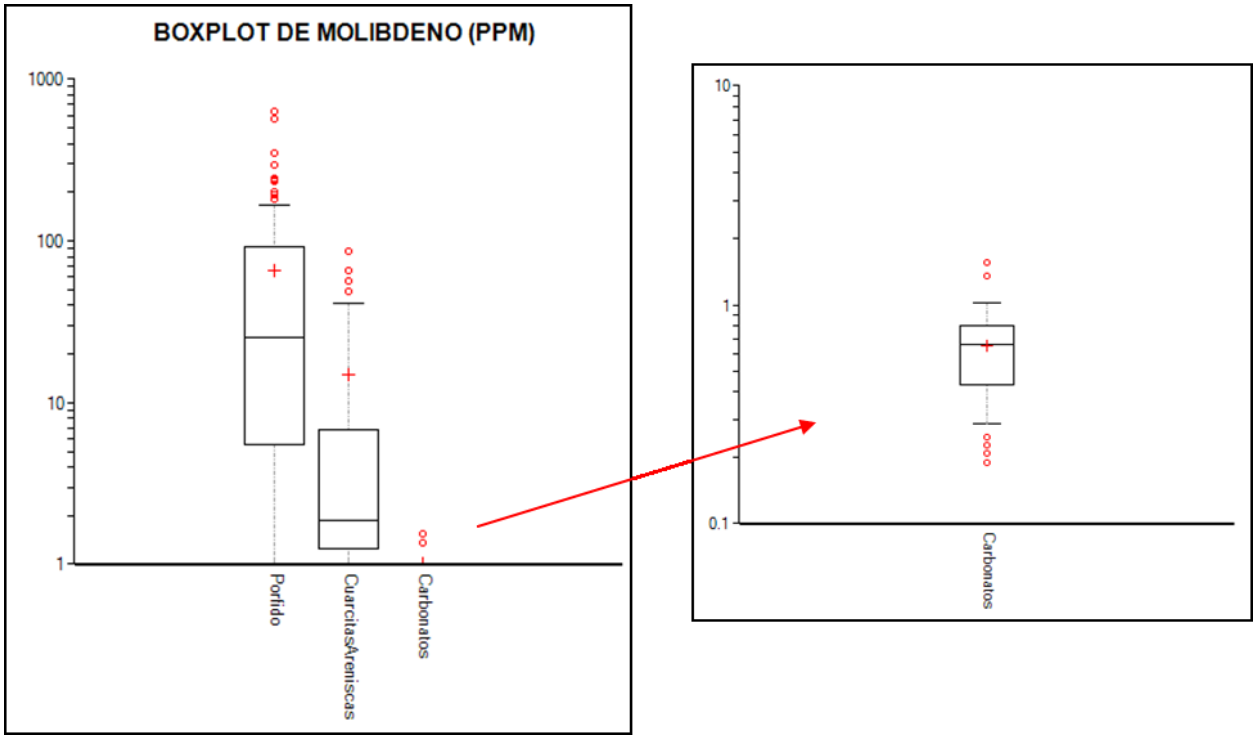

Figura 12 ***Box plot mostrando la distribución de los valores de molibdeno en los 03 grupos de rocas con +/- una desviación estándar de la MEDIA. Se puede observar una distribución asimétrica en el pórfido y en la cuarcita – arenisca, con una mayor dispersión de valores altos, mientras que las rocas calcáreas presentan valores de molibdeno bajos, pero con una distribución simétrica con ligera dispersión en los valores bajos.***

ORO (Au)

En el Pórfido: la distribución de oro en el pórfido presenta valores desde 3.30 a 599.40 ppb, el histograma presenta una distribución log normal gaussiana, donde el 48% de la población tiene valores mayores al background (49 ppb) y un 18% de la población está sobre el Threshold (174 ppb). La zona anómala se ubica en la parte central de la zona de estudio con una orientación aproximada N45°E, con una intensidad que va desde muy débil hasta fuerte.

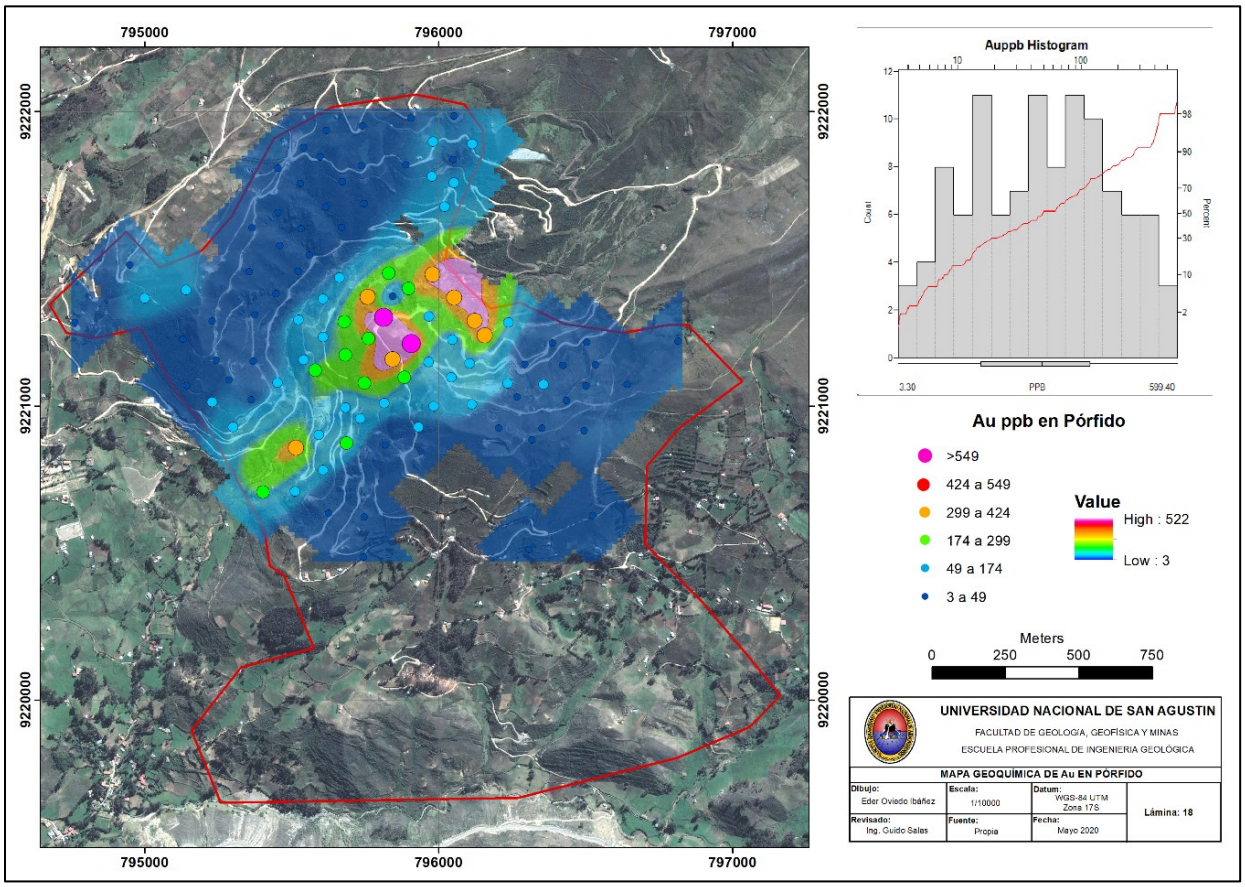

Lámina 18 ***Geoquímica de Au en los pórfidos***

En Areniscas – Cuarcitas: Los valores de oro en esta roca ocurren desde los 3 a 148.30 ppb, el histograma tiene un comportamiento bimodal, la primera población corresponde a valores que están más alejados del intrusivo, y presenta una distribución log normal con sesgo positivo, la segunda población corresponde a muestras tomadas cerca de contactos con los pórfidos y presenta una distribución log normal con sesgo negativo. De manera general el 47% de los valores está por encima del background (17 ppb) y solo 04 muestras tienen valores por sobre el Threshold (53 ppb). Presenta una anomalía modera puntual en la parte oeste en la margen derecha del rio Michiquillay, así como también presenta anomalías muy débiles en la parte central y este.

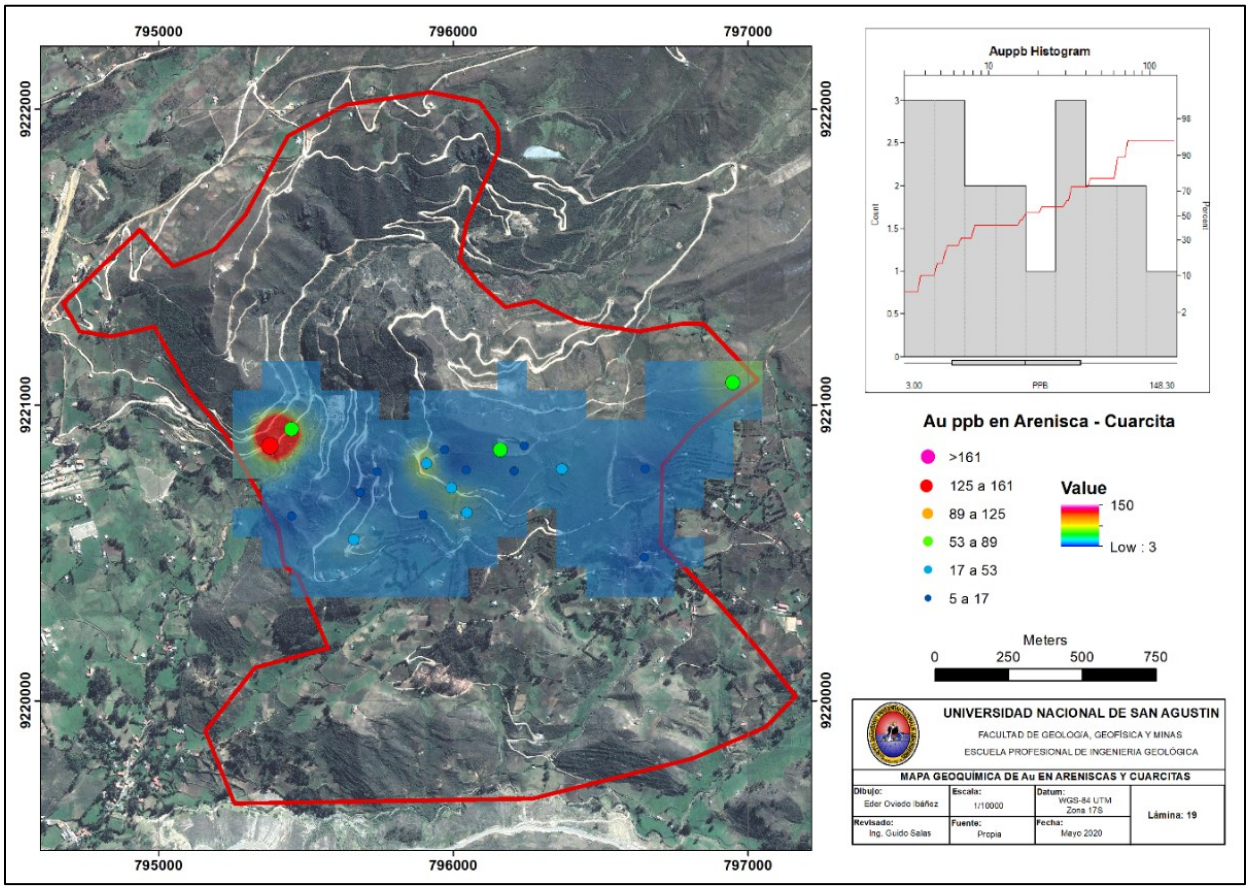

Lámina 19 ***Geoquímica de Au en Areniscas y Cuarcitas***

En rocas Calcáreas: Los valores en esta roca se distribuyen desde los 0.05 a 4.80 ppb, el histograma presenta una distribución log normal con ligero sesgo positivo, donde el 42% de la población tiene valores por sobre el background (0.7 ppb), solo 02 valores están sobre el Threshold (2 ppm), los cuales generan una débil a moderada anomalía puntual.

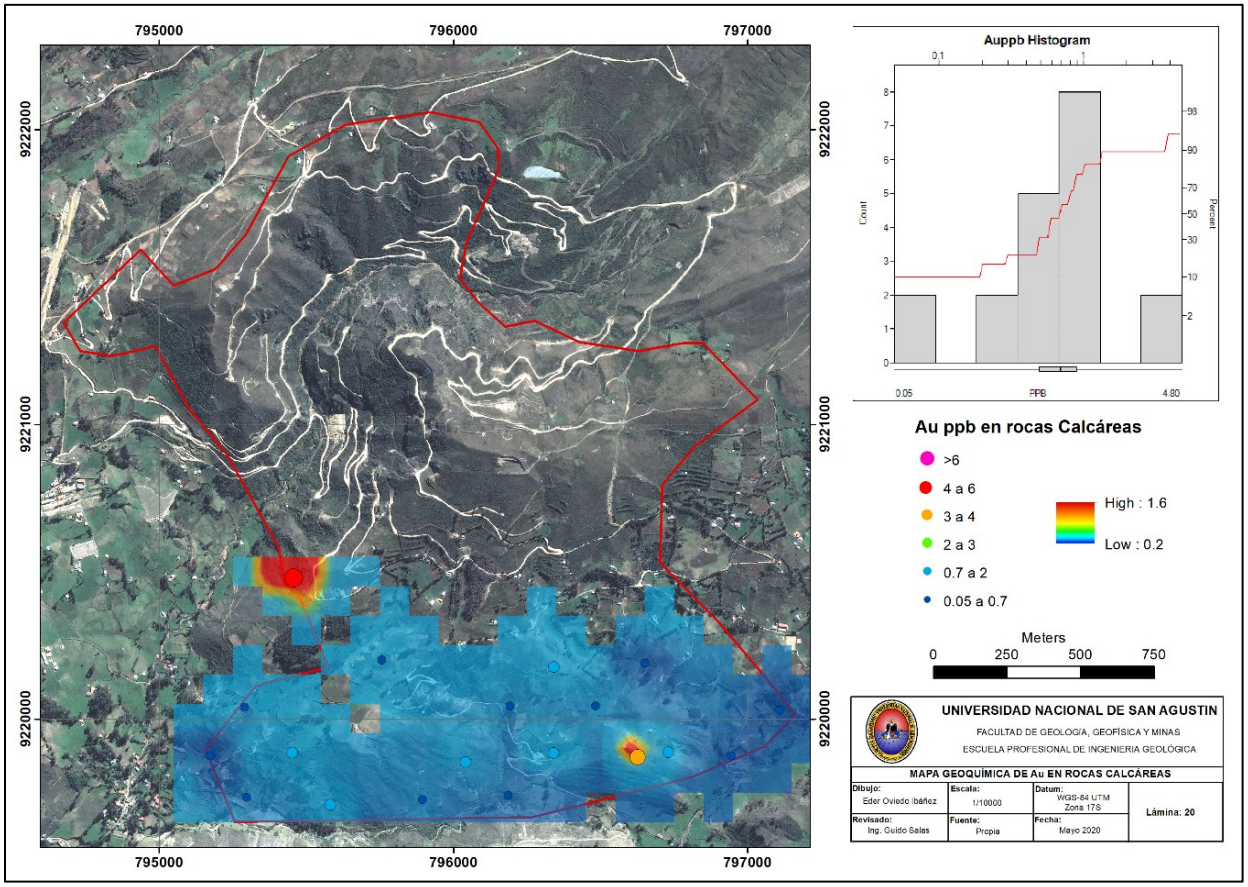

Lámina 20 ***Geoquímica de Au en rocas calcáreas***

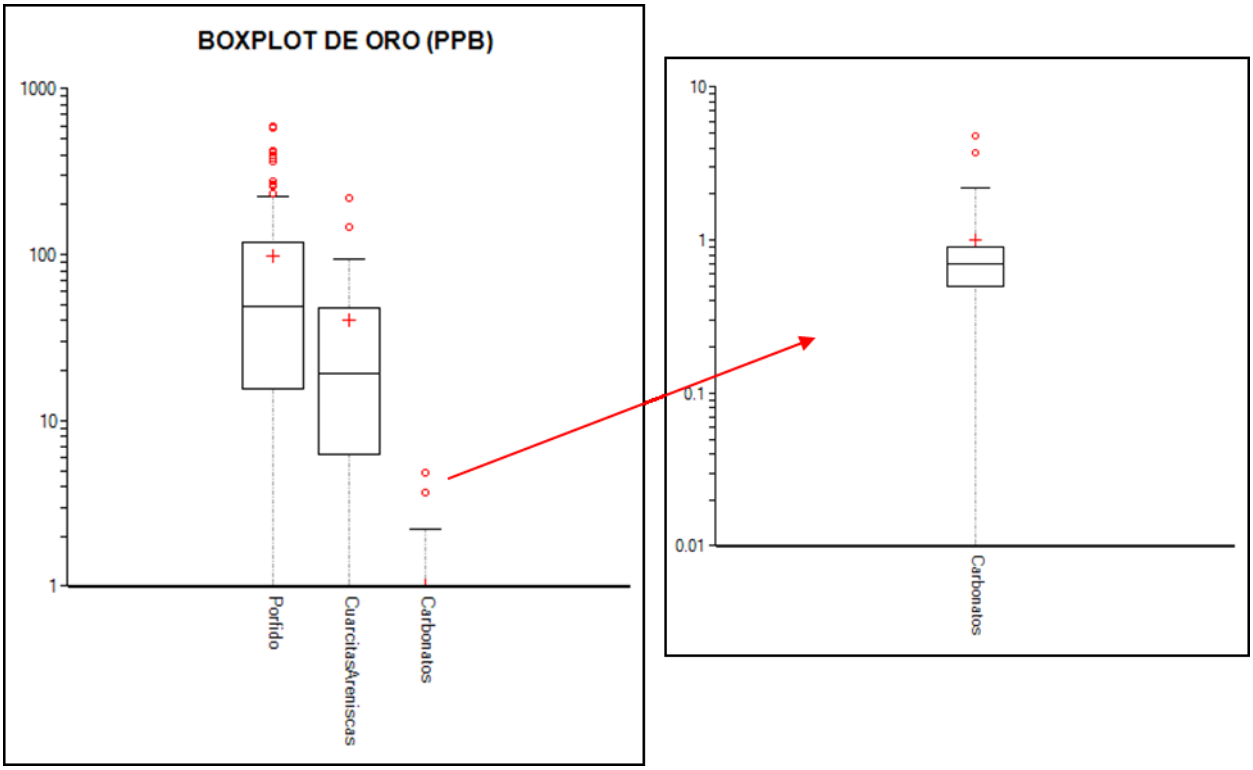

Figura 13 ***Box plot mostrando la distribución de los valores de oro en los 03 grupos de rocas con +/- una desviación estándar de la MEDIA. Se puede observar una distribución asimétrica en el pórfido con una mayor dispersión en los valores altos y una regular en la cuarcita – arenisca, mientras que las rocas calcáreas presentan valores de molibdeno bajos, pero con una buena distribución.***

ARSÉNICO (As)

En el Pórfido: El arsénico en el pórfido presenta valores desde 1 a 113.1 ppm, el histograma presenta una distribución log normal con leve sesgo negativo, donde el 50% de la población tiene valores mayores al background (57 ppm) y un 14% de la población está sobre el Threshold (247 ppm). La anomalía se extiende en buena parte de la zona de estudio con una intensidad hasta moderada.

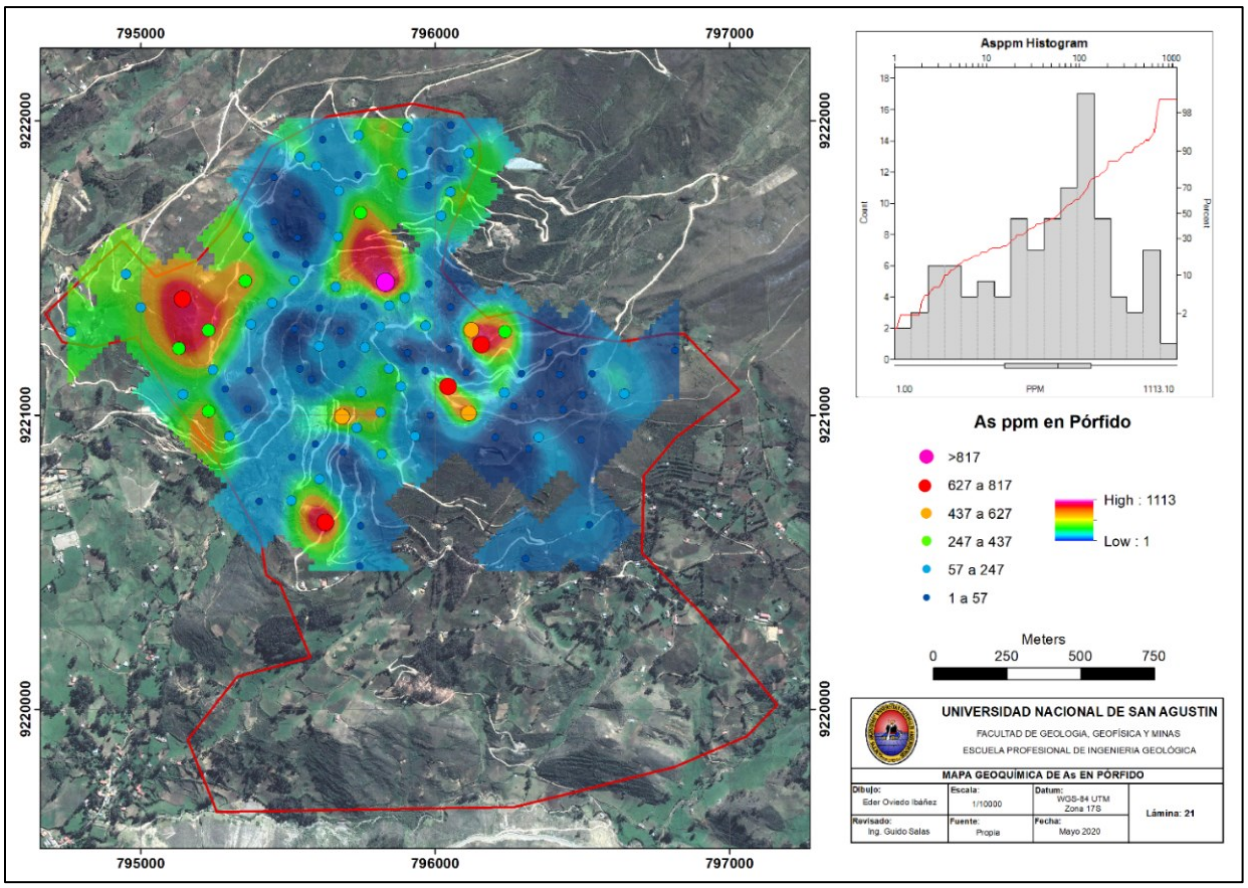

Lámina 21 ***Geoquímica de As en los pórfidos***

En Areniscas – Cuarcitas: Los valores de arsénico en esta roca ocurren desde los 2 a 343.80 ppm, el histograma presenta una distribución log normal donde el 47% de los valores está por encima del background (28 ppm) y solo 03 muestras tienen valores por sobre el Threshold (108 ppm). El arsénico en esta roca presenta una anomalía puntual con una intensidad que va de muy débil a modera, en la parte oeste, en las márgenes izquierda y derecha del rio Michiquillay.

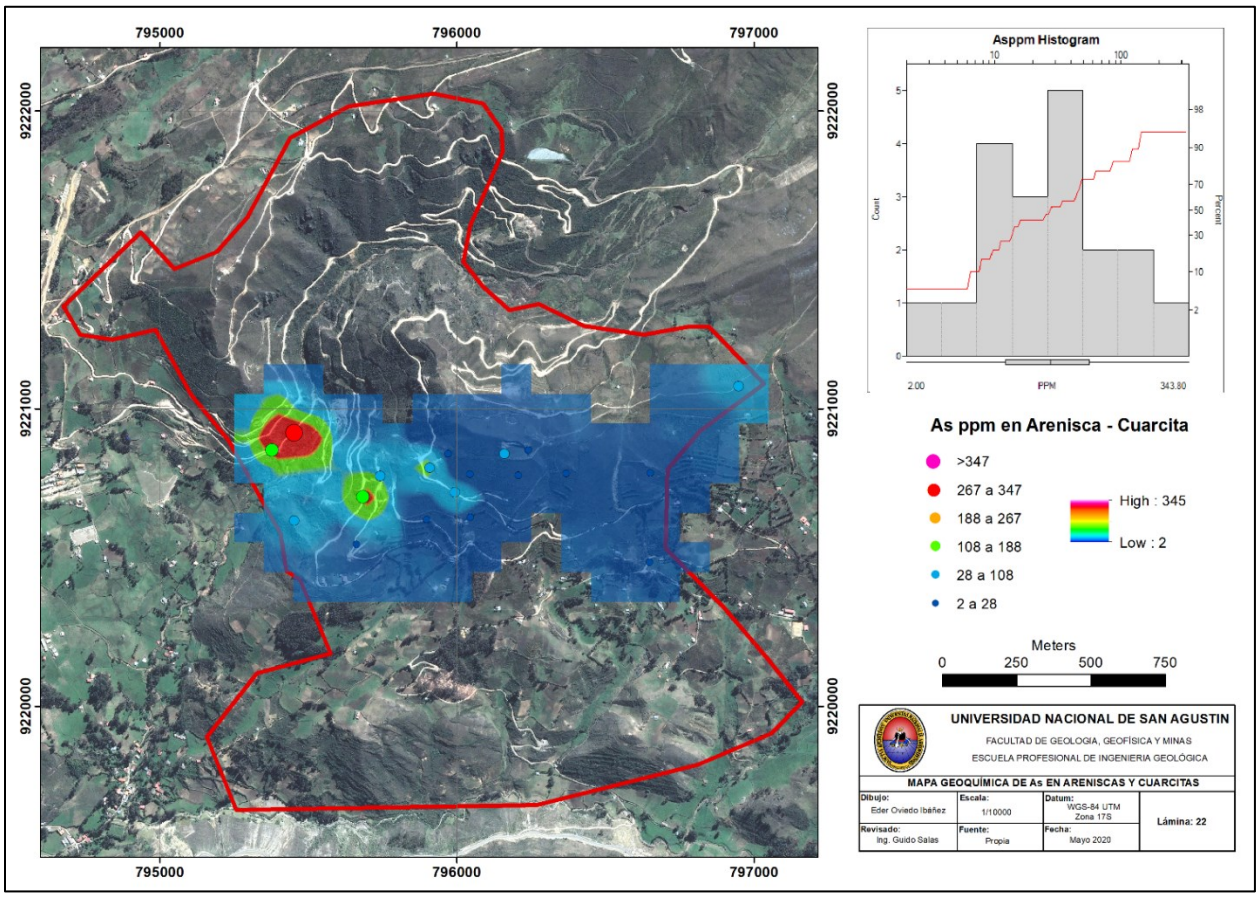

Lámina 22 ***Geoquímica de As en areniscas y cuarcitas***

En rocas Calcáreas: El arsénico en rocas calcáreas ocurre desde los 1 a 42.10 ppm, el histograma presenta una distribución log normal con distribución gaussiana, donde el 53% de la población tiene valores por sobre el background (4 ppm), solo 02 valores están sobre el Threshold (13 ppm), la anomalía más resaltante se observa en la margen norte del muestreo de esta roca, y también se tiene una muy débil anomalía al suroeste.

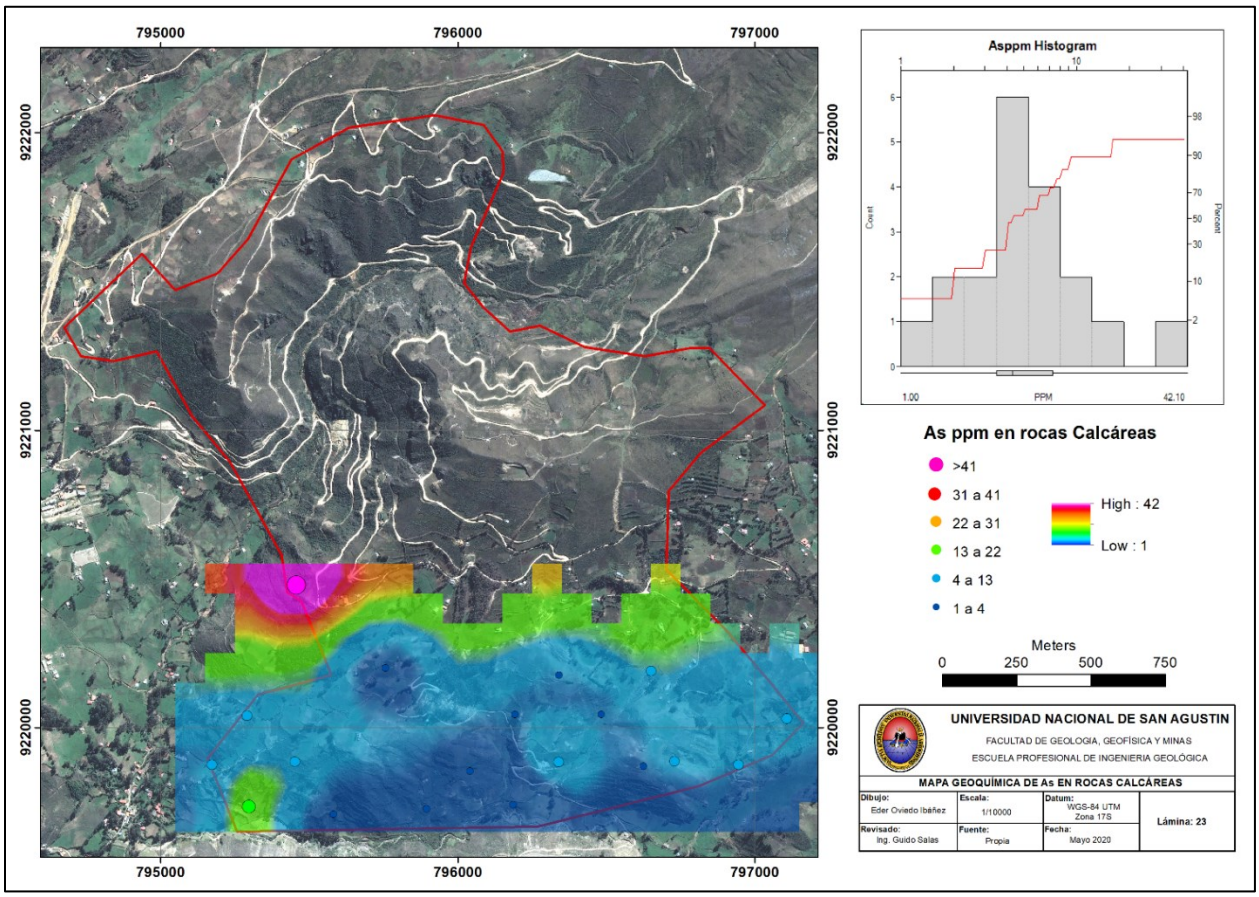

Lámina 23 ***Geoquímica de As en rocas calcáreas***

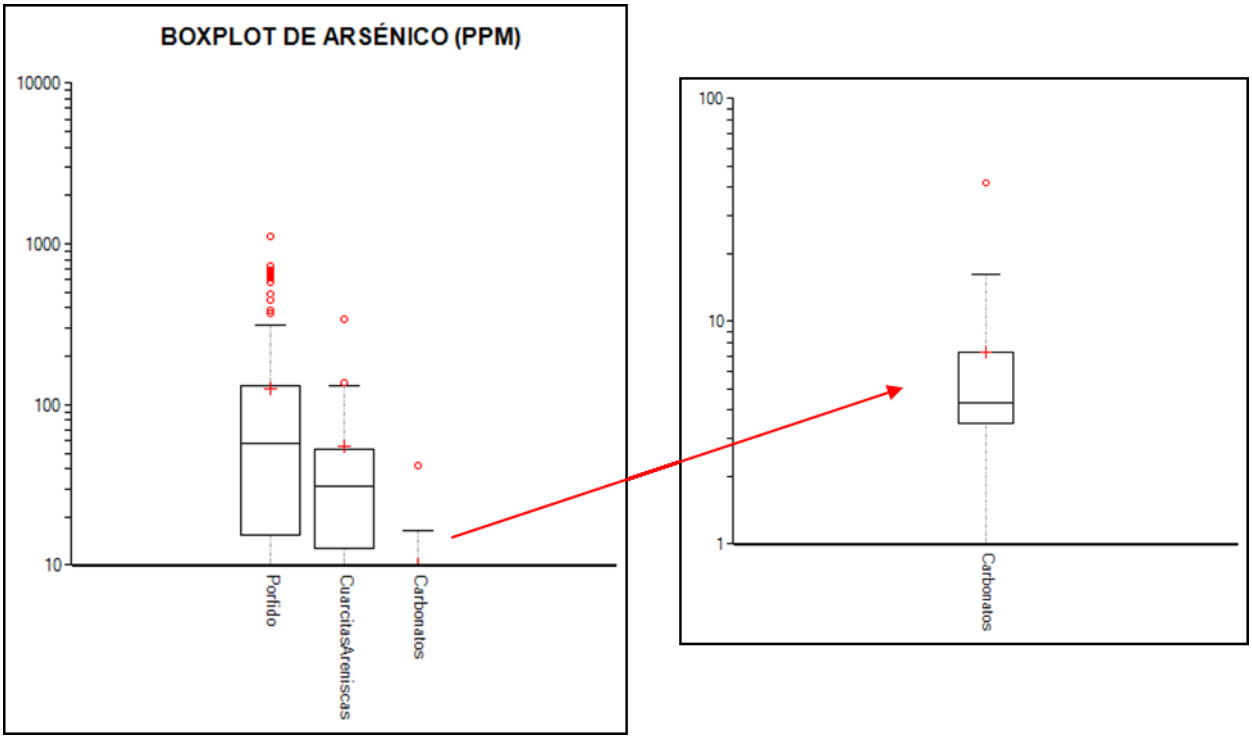

Figura 14 ***Box plot mostrando la distribución de los valores de Arsénico en los 03 grupos de rocas con +/- una desviación estándar de la MEDIA. Se puede observar una distribución asimétrica en los 03 tipos de roca, con una mayor dispersión de los valores bajos en el pórfido y cuarcitas – arenisca, mientras que en las rocas calcáreas se observa mayor dispersión en valores altos.***

PLATA (Ag)

En el Pórfido: La plata en esta roca presenta valores desde 10 a 13139 ppb, el histograma presenta una distribución log normal con sesgo positivo, donde el 50% de la población tiene valores mayores al background (116 ppb) y solo 04 muestras tienen valores sobre el Threshold (1554 ppb). La anomalía se observa de manera puntual originada por estos valores altos.

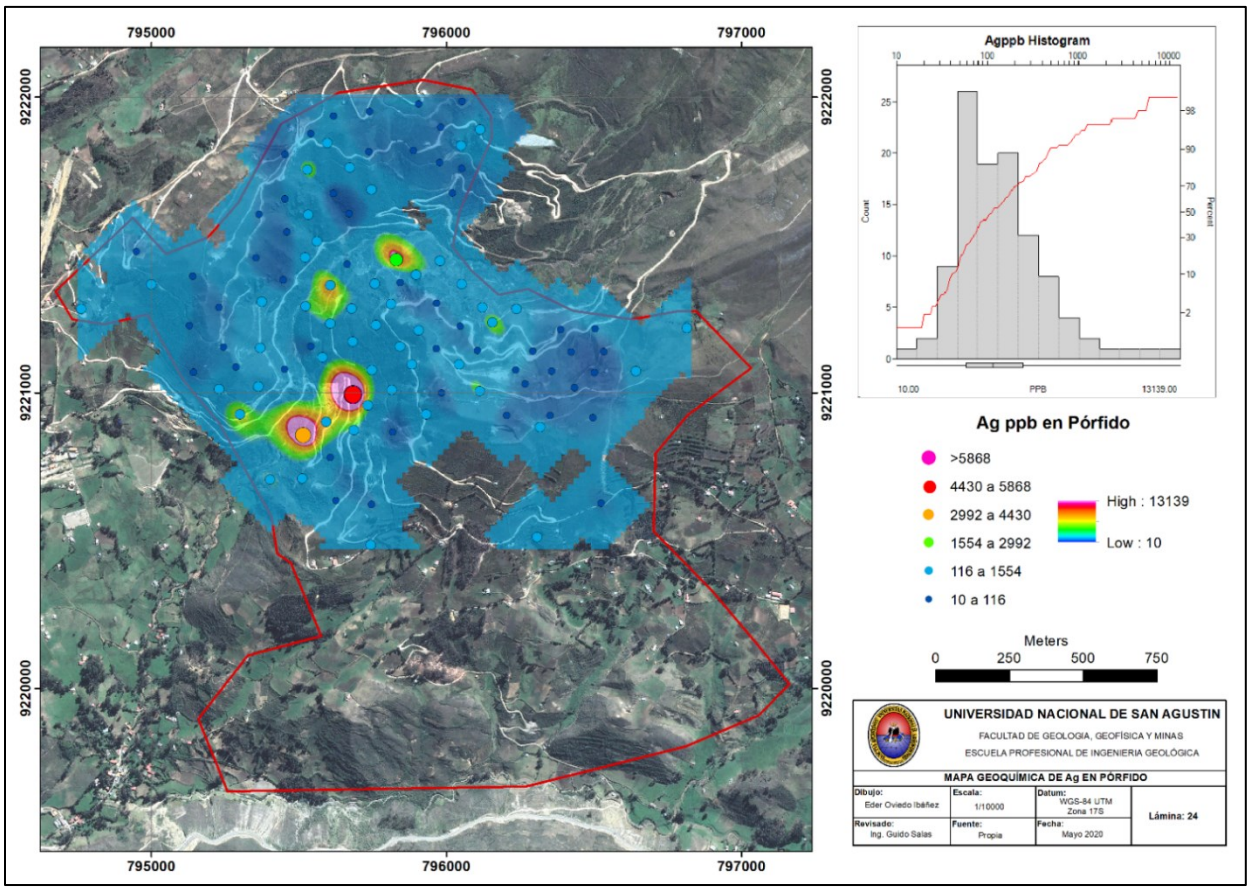

Lámina 24 ***Geoquímica de Ag en los pórfidos***

En Areniscas – Cuarcitas: Los valores de plata en esta roca se presentan desde los 19 a 282 ppb, el histograma presenta una distribución log normal donde el 42% de los valores está por encima del background (60 ppb) y solo 02 muestras tienen valores por sobre el Threshold (136 ppb). Las mismas que generan una débil anomalía puntual tanto al este como al oeste de la zona de estudio.

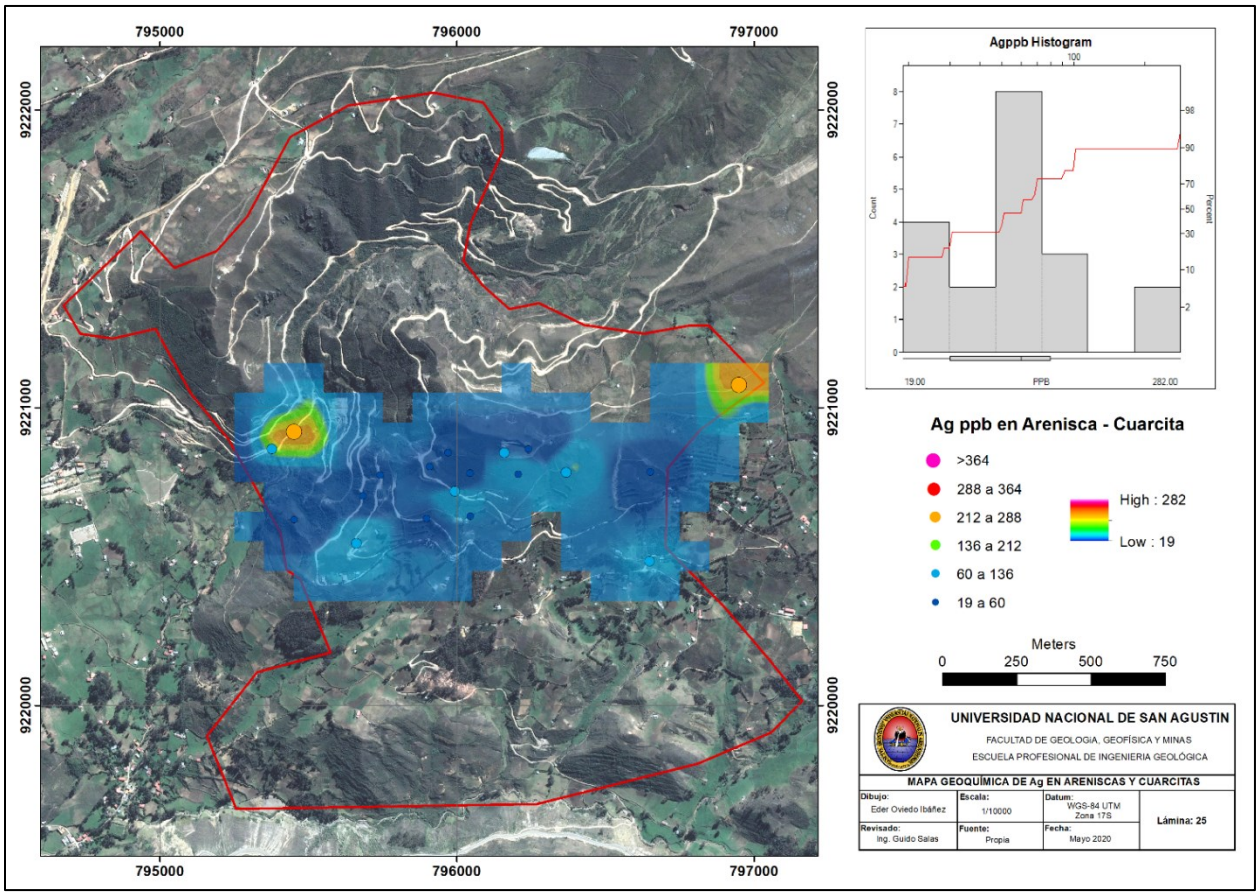

Lámina 25 ***Geoquímica de Ag en areniscas y cuarcitas***

En rocas Calcáreas: La plata en rocas calcáreas ocurre desde los 5 a 760 ppb, el histograma presenta una distribución log normal con sesgo positivo lo que demuestra que mayormente la población está representada por valores bajos, tal es así que solo el 32% de la población tiene valores por sobre el background (10 ppb), y solamente 01 valor está sobre el Threshold (181 ppb), el cual genera una fuerte anomalía puntual al noreste de la zona de estudio.

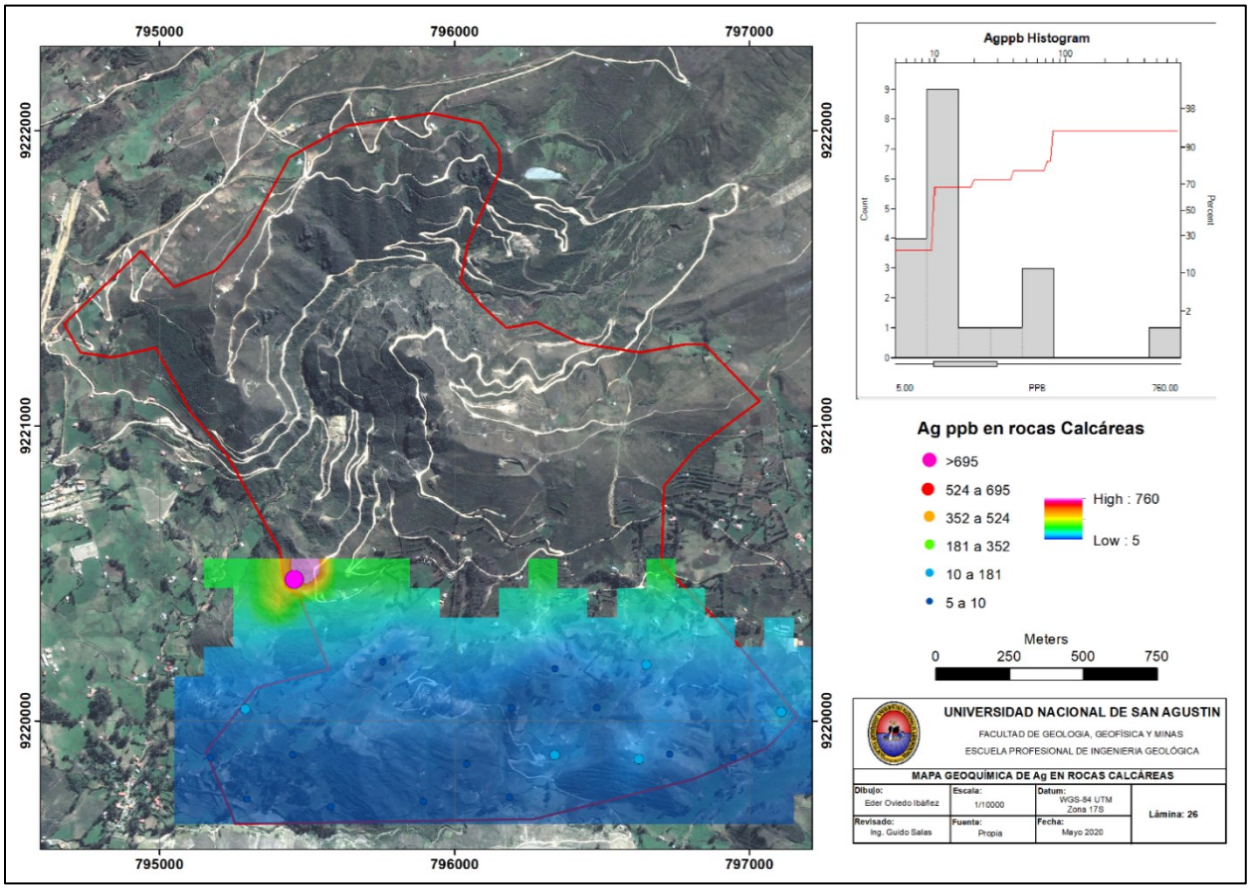

Lámina 26 Geoquímica de As en rocas calcáreas

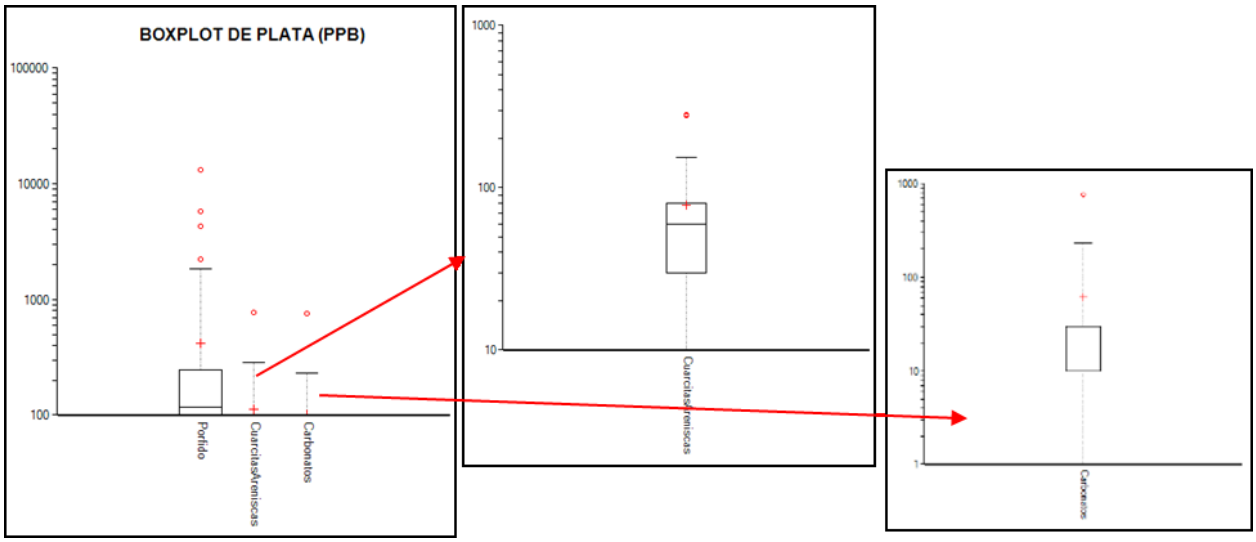

Figura 15 ***Box plot mostrando la distribución de los valores de Plata en los 03 grupos de rocas con +/- una desviación estándar de la MEDIA. Se puede observar una distribución asimétrica en los 03 tipos de roca, con una mayor dispersión de los valores bajos en cuarcitas – arenisca y rocas calcáreas, mientras que en el pórfido se observa mayor dispersión en valores altos.***

PLOMO (Pb)

En el Pórfido: El plomo presenta valores desde 0.87 a 1318.93 ppm, el histograma tiene una distribución log normal con sesgo positivo bien marcado lo que indica un buen porcentaje de valores bajos, es así que el 50% de la población tiene valores mayores al background (7 ppm) y solo 04 muestras tienen valores sobre el Threshold (174 ppm), los mismos que generan anomalías puntuales como se observa en la lámina N° 27.

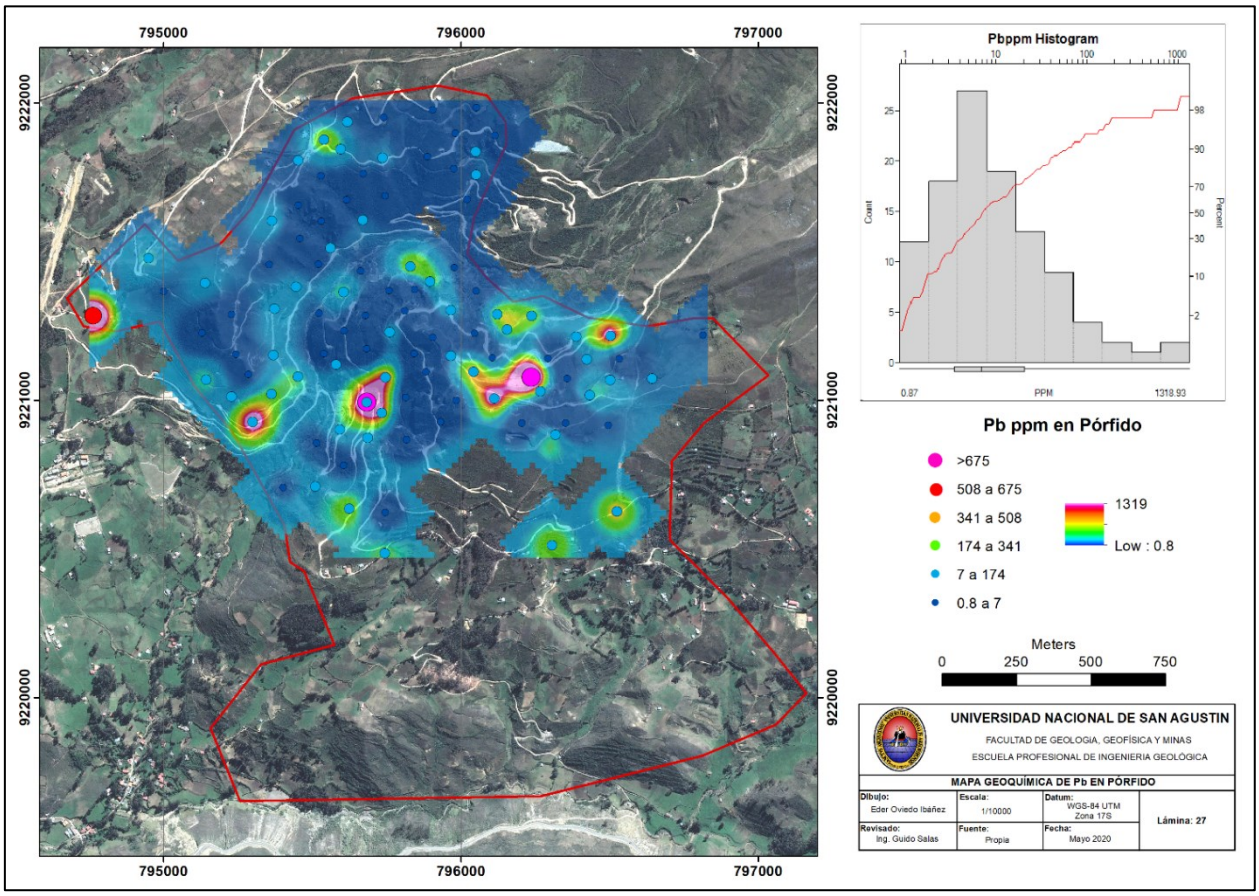

Lámina 27 Geoquímica de Pb en los pórfidos

En Areniscas – Cuarcitas: Los valores de plomo en esta roca se ocurren desde los 1.58 a 157 ppm, el histograma presenta una distribución log normal con sesgo positivo, donde el 47% de los valores está por encima del background (6 ppm) y solo 01 muestras tiene presenta un valor por sobre el Threshold (43 ppm), la misma que genera una fuerte anomalía puntual.

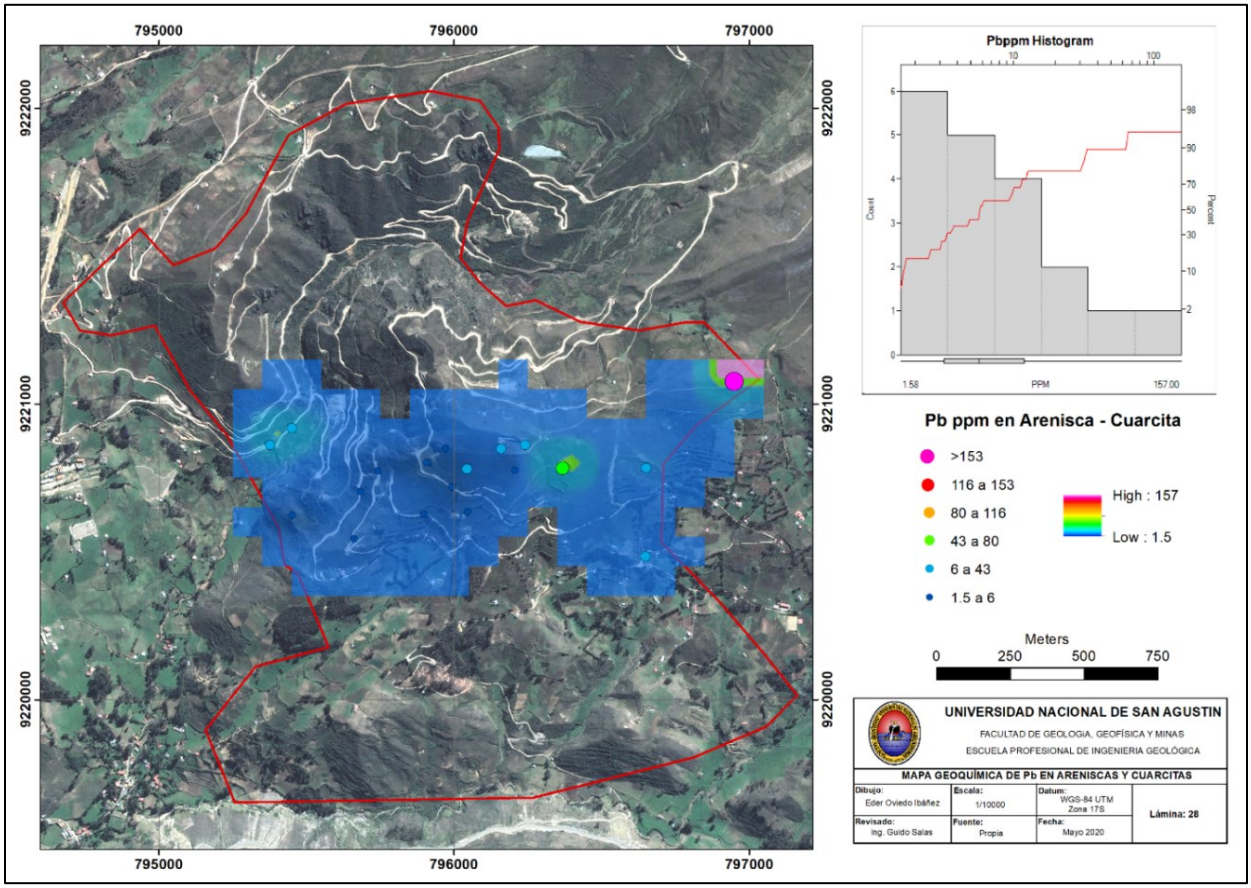

Lámina 28 ***Geoquímica de Pb en areniscas y cuarcitas***

En rocas Calcáreas: El plomo ocurre desde los 1.40 a 31.80 ppm, el histograma presenta un comportamiento bimodal donde la primera población presenta valores bajos los que se asocian a zonas alejadas de los intrusivos y la segunda población corresponde a zonas cercanas a diques o cuerpos del pórfido Michiquillay. Ambas poblaciones presentan un histograma con distribución log normal, la primera población con sesgo positivo lo que demuestra que mayormente la población está representada por valores bajos, y la segunda población presenta una distribución gaussiana. De manera general el 63% de la población tiene valores por sobre el background (7 ppm), y solamente 02 valores están sobre el Threshold (17 ppm), los cuales generan anomalías puntuales con débil y moderada intensidad.

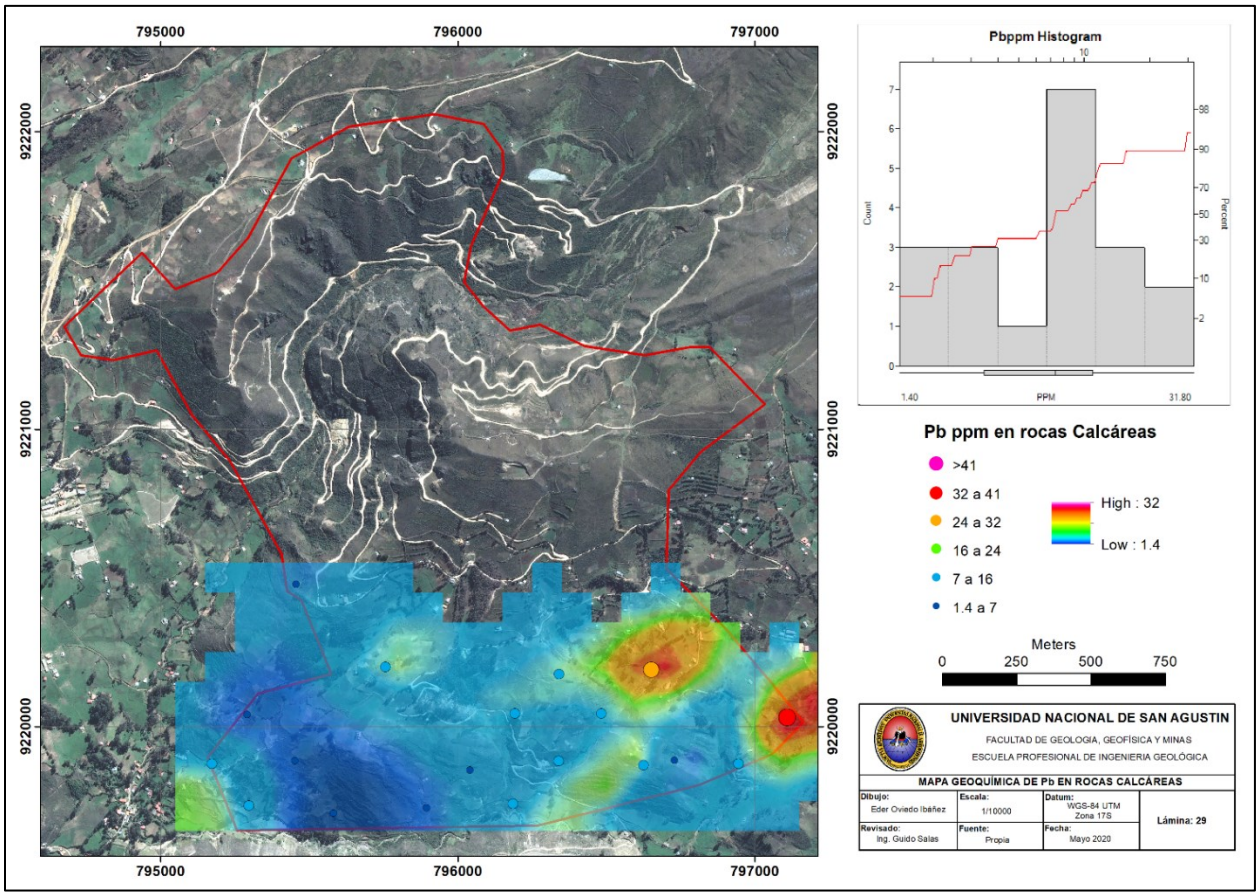

Lámina 29 Geoquímica de Pb en rocas calcáreas

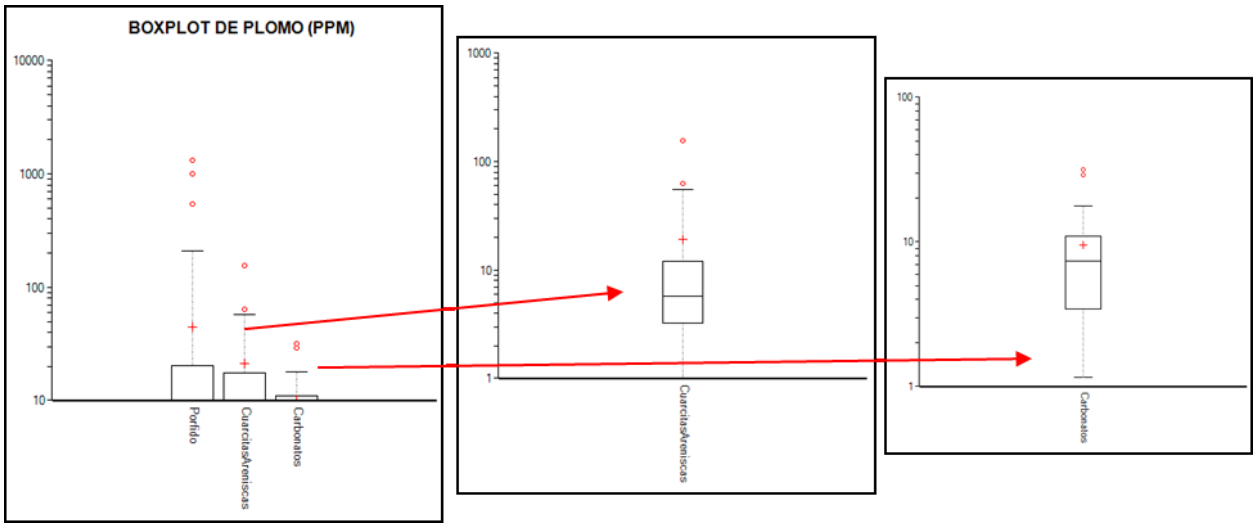

Figura 16 ***Box plot mostrando la distribución de los valores de Plomo en los 03 grupos de rocas con +/- una desviación estándar de la MEDIA. Se puede observar una distribución asimétrica en los 03 tipos de roca, con los valores bajos más dispersos.***

ZINC (Zn)

En el Pórfido: El Zinc en esta roca presenta valores desde 0.8 a 1650 ppm, el histograma presenta una distribución log normal con sesgo positivo, donde el 49% de la población tiene valores mayores al background (4 ppm) y solo 03 muestras tienen valores sobre el Threshold (174 ppm), los cuales generan anomalías puntuales en la parte sur y hacia el noreste.

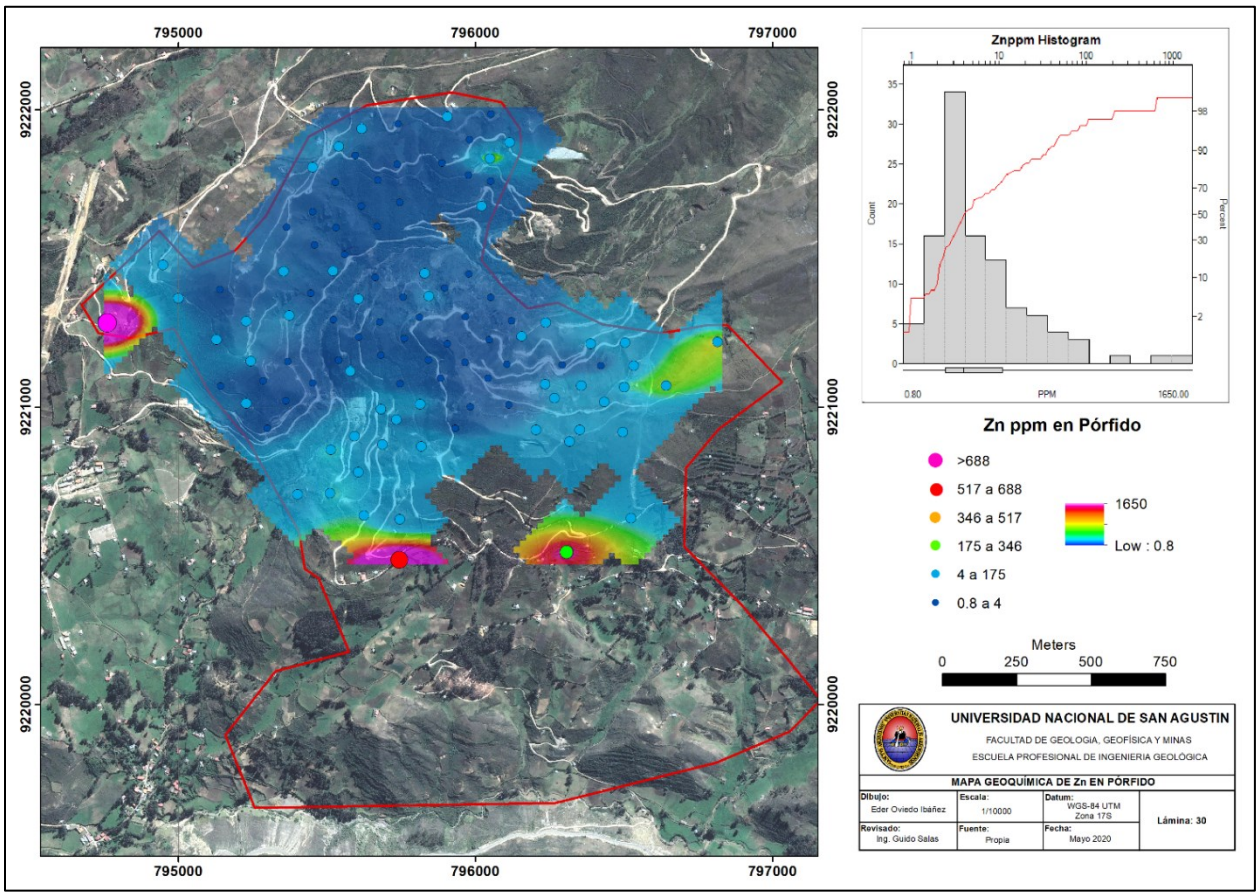

Lámina 30 ***Geoquímica de Zn en los pórfidos***

En Areniscas – Cuarcitas: Los valores de Zinc en esta roca se presentan desde los 3 a 864 ppm, el histograma presenta una distribución log normal con sesgo positivo, donde el 47% de los valores está por encima del background (13 ppm) y solo 01 muestra presenta valor por sobre el Threshold (208 ppm), la misma que genera una fuerte anomalía puntual al este de la zona de estudio.

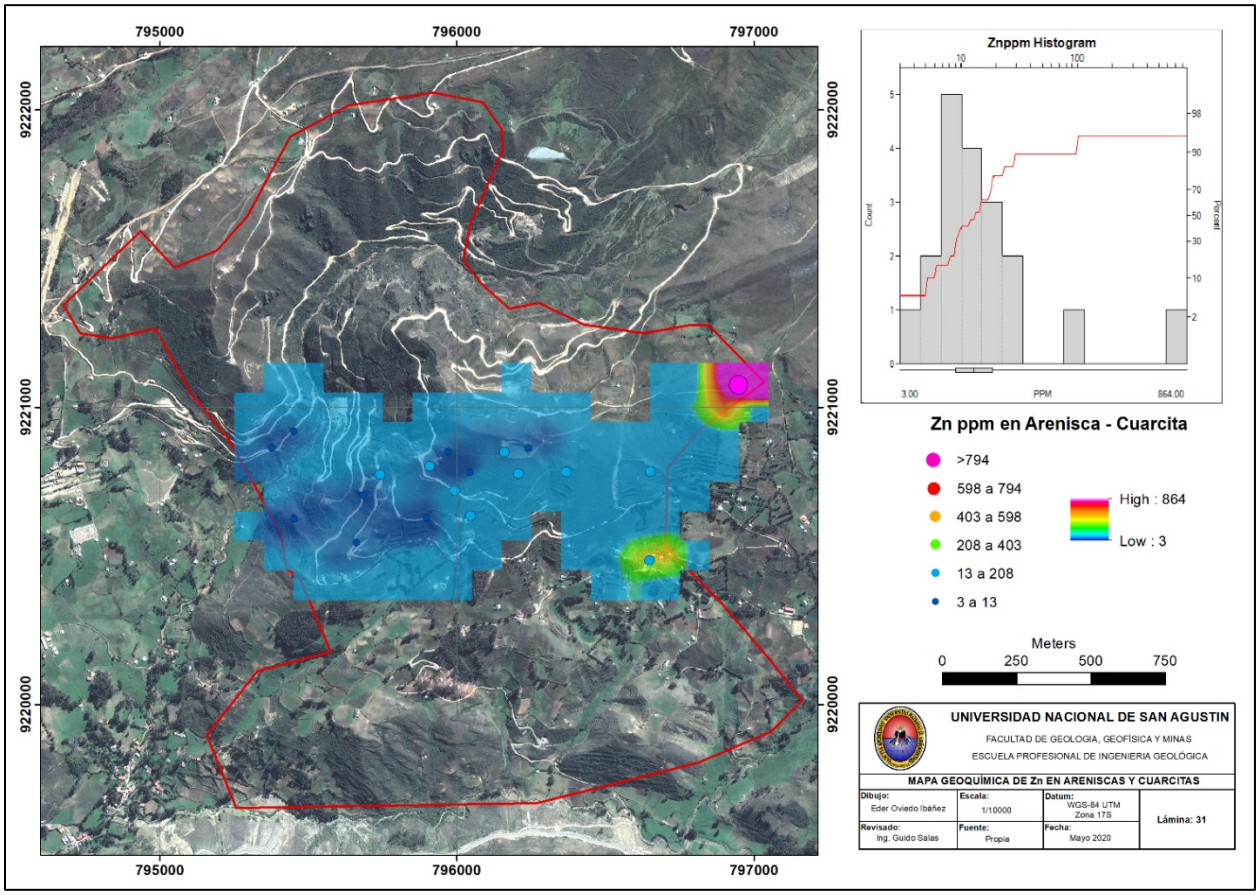

Lámina 31 ***Geoquímica de Zn en areniscas y cuarcitas***

En rocas Calcáreas: El Zinc ocurre desde los 12 a 2330 ppm, el histograma presenta una distribución log normal con sesgo positivo lo que demuestras que mayormente la población está representada por valores bajos, tal es así que el 47% de la población tiene valores por sobre el background (57 ppm), y solamente 01 valor está sobre el Threshold (579 ppm), el cual genera una fuerte anomalía puntual al noreste de la zona de estudio.

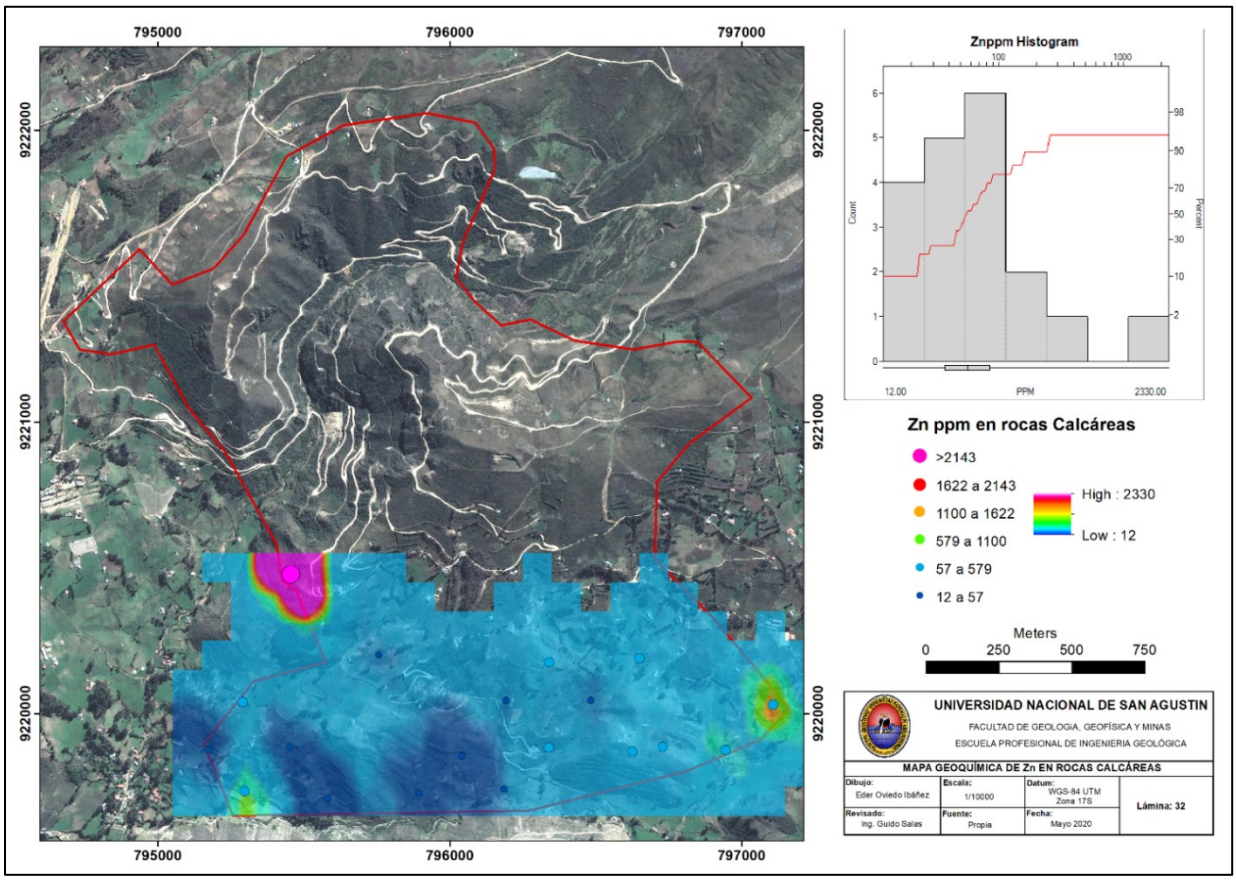

Lámina 32 ***Geoquímica de Zn en rocas calcáreas***

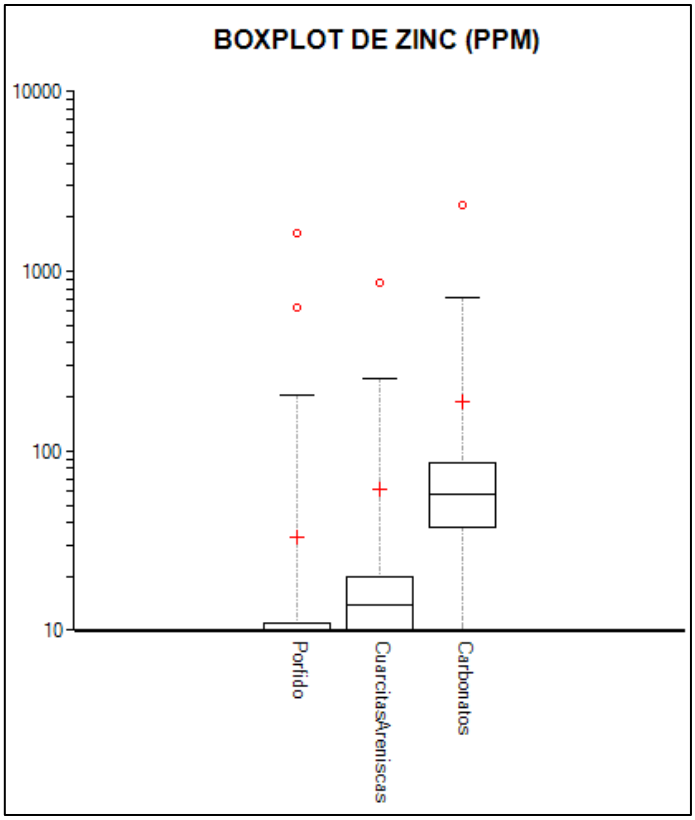

Figura 17 ***Box plot mostrando la distribución de los valores de Zinc en los 03 grupos de rocas con +/- una desviación de la MEDIA. Se puede observar una distribución asimétrica en los 03 tipos de roca, con concentración de valores bajos en el pórfido y arenisca – cuarcita, mientras que en las rocas calcáreas la distribución es más uniforme con una ligera concentración de valores bajos.***

7.3.2 Correlación de Pearson.

El coeficiente de correlación de Pearson es una prueba que mide la relación o asociación estadística entre dos variables continuas. Los valores van de +1 a -1 donde el valor de 0 indica que no hay asociación entre las dos variables. Un valor mayor que 0 indica una asociación positiva; es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, también lo hace el valor de la otra. Un valor menor que 0 indica una asociación negativa; es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, el valor de la otra disminuye.

Clasificación:

Correlación muy fuerte

Correlación fuerte

Correlación moderada

Correlación débil

Correlación muy débil

Correlación nula.

Correlaciones en el Pórfido.

Las correlaciones entre Au-Ag, Cu-Au, Pb-Ag son débiles positivas, mientras que la correlación entre Zn-Mo es débil negativa.

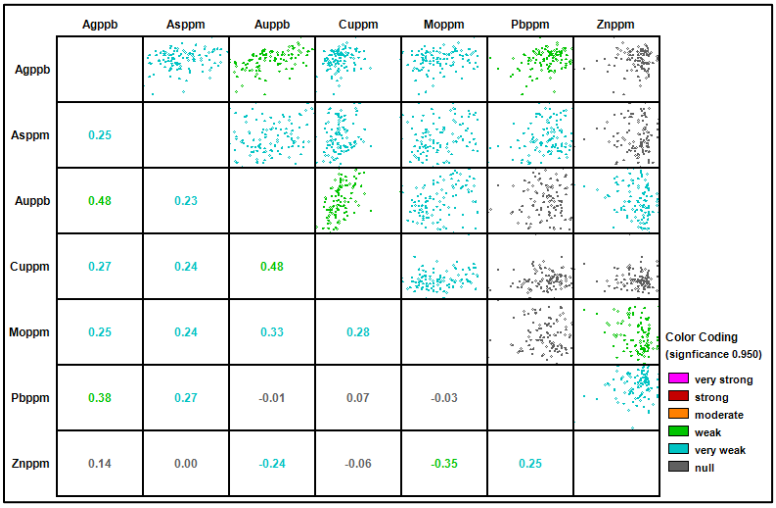

Figura 18 ***Correlaciones de elementos en el Pórfido***

Correlaciones en Areniscas – Cuarcitas

Se observa una correlación moderada positiva entre Au-Ag, Cu-As, Mo-As; las correlaciones entre Cu-Mo, Ag-Pb, Ag-Zn.

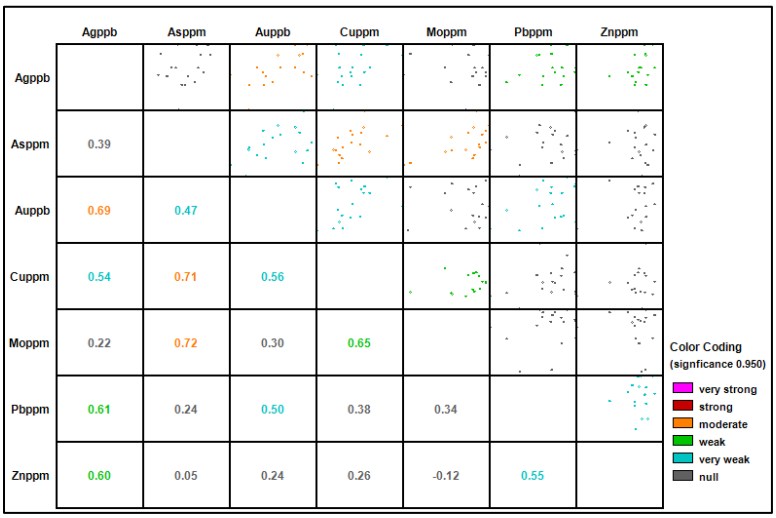

Figura 19 ***Correlaciones de elementos en Areniscas - Cuarcitas***

Correlaciones en rocas Calcáreas

Se observa una fuerte correlación entre Cu-Zn, mientras que entre Cu-Ag, Cu-As, Ag-Zn, Zn-As, la correlación es moderada y en Ag-As es débil.

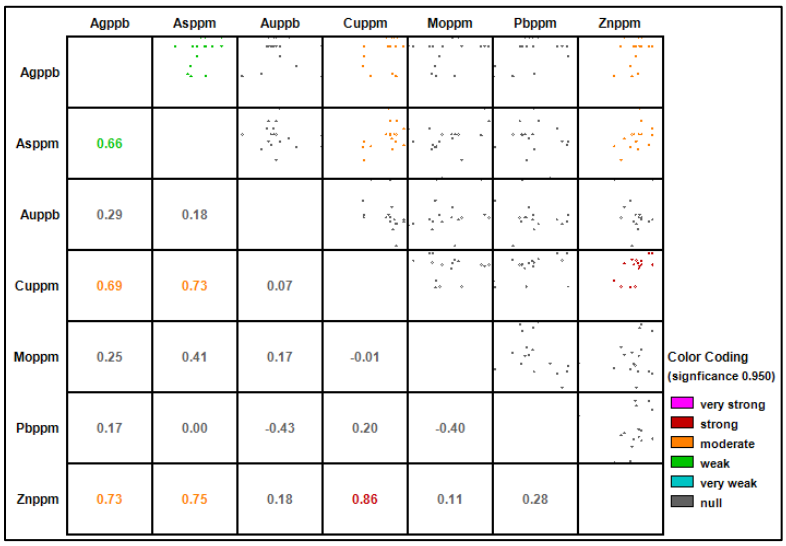

Figura 20 ***Correlaciones de elementos en Rocas Calcáreas***

CONCLUSIONES

1. El pórfido de Cu Au Mo Michiquillay presenta una estrecha relación metalogenética con los demás depósitos minerales como El Galeno y Minas Conga, por su distribución espacial, sentido de evolución geocronológica y debido a que tienen como control estructural principal al fallamiento regional, Punre – Canchis.

2. Los 03 depósitos minerales estudiados tienen como roca caja a cuarcitas, calizas y margas, cortadas por stocks mineralizantes de composición dacítica (Michiquillay y Galeno), stocks cuarzo – feldespáticos y dioríticos (Minas Conga).

3. Muchos de estos pulsos de actividad intrusiva y volcánica son contemporáneos con la mineralización y se emplazaron entre 21.85 y 15.35 MA, es así que la datación más antigua de mineralización, está en el pórfido Michiquillay con 21.85 Ma, en El Galeno 17.43 Ma, en Minas Conga se desconoce su edad de mineralización, pero se puede asumir que la mineralización debe tener una edad entre los 15.86 a 15.35, lo que muestra una clara migración de la actividad magmática hidrotermal de sur a norte hasta el sector de Hualgayoc y posteriormente retrocede al sur hacia el distrito minero Yanacocha.

4. El alto ratio y la velocidad de convergencia de la placa de nazca durante el mioceno temprano ha jugado un rol importante en la reactivación de la falla Punre – Canchis, favoreciendo el emplazamiento de los sistemas porfiríticos de Michiquillay, El Galeno y Minas Conga, asociados a su vez al arco volcánico Michiquillay con rocas de composición calcoalcalina.

5. Se ha recolectado 145 muestras de roca por el método “chip sample” cubriendo un área de 2.3 x 1.5 km., bajo una malla de muestreo detallada de 100 x 100 en la zona de los pórfidos (107 muestras) y en las rocas caja de 200 x 200 (38 muestras), con el objetivo de determinar el comportamiento geoquímico de los elementos traza en las diferentes rocas y así poder identificar parámetros que nos permitan reconocer nuevas áreas con interés exploratorio en otras partes de la zona de estudio.

6. Se ha hecho el análisis geoquímico por tipo de roca (Pórfido, Arenisca - cuarcita y rocas calcáreas), de 07 elementos (Cobre, molibdeno, oro, arsénico, plata, plomo, zinc), los cuales son considerados pathfinders para depósitos tipo pórfido de Cu - Mo – Au.

7. Los comportamientos de los 07 elementos analizados en el pórfido presentan una dispersión mayormente en los valores que se encuentran por debajo de la media (valores bajos), siendo así que, a excepción de Zinc, el resto de elementos tiene concentración mayormente de valores altos (por encima de la media).

8. Se ha determinado los valores de background guías para la búsqueda de nuevos targets de exploración en la franja asociada al fallamiento Punre - Canchis.

Tabla 13

Valores de Background guías por tipo de roca

VALORES DE BACKROUND GUIAS POR TIPO DE ROCA							
TIPO DE ROCA	**Cu (ppm)**	**Mo (ppm)**	**Au (ppb)**	**As (ppm)**	**Ag (ppb)**	**Pb (ppm)**	**Zn (ppm)**
Pórfido	407	25	49	57	116	7	4
Areniscas Cuarcitas	87	2	17	28	60	6	13
Rocas Calcáreas	6	1	1	4	10	7	57

9. Dentro de las correlaciones más importantes en este tipo de depósitos se encuentra la de Cu – Mo, en nuestra área de estudio el Cu presenta una muy débil a débil correlación con Mo, esto debido a que el molibdeno ocurre mayormente en venillas de cuarzo y asociado a la alteración cuarzo –sericita, mientras que el cobre ocurre diseminado y relacionado a zonas de alteración potásica. Similar situación ocurre con la asociación de Cu – Au la cual está en el rango de nulo a débil, debido a que el oro ocurre mayormente en la capa lixiviada. Una correlación resaltante es la de Cu – As (moderada), en las rocas caja lo cual está relacionado a la presencia de sulfosales de cobre en estas rocas.

RECOMENDACIONES

1. Con los background definidos para ésta área, se recomienda realizar una campaña de prospección geoquímica en toda el área con la finalidad de identificar nuevos targets exploratorios.

2. Actualizar las dataciones en los 03 depósitos estudiados con la finalidad de tener edades más certeras.

3. El presente trabajo se ha centrado solamente en los depósitos más representativos del tramo sur del fallamiento Punre – Canchis, por lo que se recomienda realizar un trabajo similar para la parte norte de este trend de fallamiento.

BIBLIOGRAFIA

1. Acosta J., (2017), Depósitos Minerales del Perú, Lima: Sociedad Geológica del Perú.

2. Acosta J., Valencia M., Rivera R., Vargas L., Chira J., (2006), Aplicación de la Dispersión Mecánica y Química en la Prospección de Pórfidos de Cobre: Ejemplo "La Granja" en el Norte del Perú. XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú. Lima, Perú.

3. Bazán O. (2013), Tectónica Andina y su Componente Cizallante - Alusivo al Norte del Perú. Universidad Nacional de Cajamarca.

4. Bazán O., (2016), Evolución Geotectónica de la Deflexión de Cajamarca y su Implicancia en la Metalogenia del Norte del Perú. XVIII Congreso Peruano de Geología. Lima, Perú.

5. Bazán O., Lagos A., (2018), Implicancias Tectónicas en el Magmatismo y Metalogenia de la Región Cajamarca. XIX Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú. Lima, Perú.

6. Burgoa C., Hopper D., Ambrus J., (2015), Exploración Profunda de un Pórfido Cu-Au bajo el Litocap Valeriano: Geología y Zonación del Sistema Hidrotermal, Región de Atacama, Chile. XIV Congreso Geológico Chileno. La Serena.

7. Carlotto V., Quispe J., Acosta H., Rodríguez R., Romero D., Cerpa L., Mamani M., Díaz-Martínez E., Navarro P., Jaimes F., Velarde T., Lu S. y Cueva E. (2009), Dominios

Geotectónicos y Metalogénesis del Perú. Bol. Soc. Geol. Perú 103: 1-89.

8. Córdova J., Hoyos D., (N.A), Geología del Pórfido de Cu-(Au-Mo) EL Galeno, Cajamarca, Perú. Lima, Perú.

9. Cruzado G., Crisólogo M., (2011), Estudio Geológico Región Cajamarca, Gobierno Regional de Cajamarca, Cajamarca.

10. Davies Ch., Williams P., (2005), Article The El Galeno and Michiquillay Porphyry Cu–Au–Mo Deposits: Geological Descriptions and Comparison of Miocene Porphyry Systems in the Cajamarca District, Northern Peru. Mineralium Deposita (2005) 40: 598–616, DOI 10.1007/s00126-005-0026-6.

11. Gutierrez A., (2014), Tesis, Mineralización y Caracterización Geometalúrgica de los Pórfidos Cu-Au de Perol-Chailhuagon, Minas Conga, Lima, Perú.

12. Heras K., (2017), Tesis, Estudio de las Estructuras de Emplazamiento de Cuerpos Ígneos Plutónicos entre la Comunidad de Michiquillay y el Sector el Punre. Cajamarca, Perú.

13. Huanacuni D., (2010), Recursos Minerales del Distrito la Encañada Departamento de Cajamarca. Lima, Perú. INGEMMET.

14. Lillo J., Oyarzun R. (2013), Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera: Principios Básicos, URL www.aulados.net/GEMM/GEMM.html.

15. Ponzoni E. (1980), Metalogenia del Perú, Lima, Perú. INGEMMET.

16. Raymond R., Quispe J., Rodriguez I., Villarreal E., (2008), Comparación entre los Sistemas Porfiríticos Cu-Au-Mo y Au-Cu del Norte del Perú (Región Cajamarca). INGEMMET.

17. Rivera R., (2007), Características Metalogénicas de los Yacimientos Asociados al Vulcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú, Región Cajamarca. Lima, Perú. INGEMMET.

18. Rodriguez I., Huanacuni D., Villarreal E., (2011), Informe de Franjas Metalogenéticas y Áreas Potenciales de la Región Cajamarca. Lima, Perú.

19. Vasquez C., (2011), Estudio Hidrográfico de la Región Cajamarca, Gobierno Regional de Cajamarca, Cajamarca.