

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**PATHFINDERS APLICADOS A LA EXPLORACIÓN DEL PROSPECTO
CAMPANA, BATOLITO DE LA COSTA, SEGMENTO TRUJILLO – LA
LIBERTAD**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

AUTOR:

Bach. Díaz León Miguel Angel

ASESOR:

Dr. Ing. Quispe Mamani Crispín Zenón

CAJAMARCA - PERÚ

2023

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

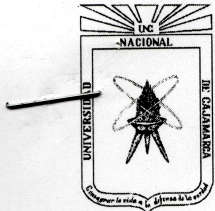
- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : Miguel Angel Díaz León
DNI : 47540626
Escuela Profesional : Ingeniería Geológica
2. Asesor : Crispín Zenón Quispe Mamani
Facultad : Ingeniería
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
1. Título de Trabajo de Investigación: PATHFINDERS APLICADOS A LA EXPLORACIÓN DEL PROSPECTO CAMPANA, BATOLITO DE LA COSTA, SEGMENTO TRUJILLO – LA LIBERTAD.
2. Fecha de evaluación : 16 de febrero del 2023
3. Software antiplagio: ☐ TURNITIN ☒ URKUND (OURIGINAL) (*)
4. Porcentaje de Informe de Similitud : 0%
5. Código Documento : D158751979
6. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 31 de mayo del 2024

 FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: Crispín Zenón Quispe Mamani DNI : 29243825	 Firmado digitalmente por: FERNANDEZ LEON Yvonne Katherine FAJ 20148258801 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 31/05/2024 10:35:55-0500 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
--	--

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "PATHFINDERS APLICADOS A LA EXPLORACIÓN DEL PROSPECTO CAMPANA, BATOLITO DE LA COSTA, SEGMENTO TRUJILLO - LA LIBERTAD."

ASESOR : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 102-2023-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 22 de febrero del 2023, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veinticuatro días del mes de febrero** del año en curso, siendo las doce horas (12:00 .m.), en Auditorium de la Escuela Geológica Edificio 4J-210, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Vocal : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario : M. Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación publica de la tesis titulada "PATHFINDERS APLICADOS A LA EXPLORACIÓN DEL PROSPECTO CAMPANA, BATOLITO DE LA COSTA, SEGMENTO TRUJILLO - LA LIBERTAD", presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica MIGUEL ANGEL DÍAZ LEÓN, asesorado por el Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA:⁵..... PTS.

EVALUACIÓN PÚBLICA:¹¹..... PTS.

EVALUACIÓN FINAL :¹⁶..... PTS ^{Dr. E. C. S. E. C.} (En letras)

En consecuencia se lo declara ...^{APROBADO}... con el calificativo de ...^{Dr. E. C. S. E. C.}... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las^{12:00 p.m.}... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor

DEDICATORIA

A mi madre, por su infatigable esfuerzo por sacar adelante a su familia.

A mi padre, por su constante apoyo moral a lo largo de este camino.

A mis hermanos, por su afecto e incondicionales muestras de cariño.

A la juventud estudiosa que nunca se cansa de aprender y volverse mejores personas.

AGRADECIMIENTO

Al alma mater Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, escuela académico profesional de ingeniería geológica, que me abrió sus puertas; y a los Docentes EAPIG.

Agradezco a Dios por permitirme estar en la tierra y poder realizar esta investigación.

Al Dr. Zenón Quispe Mamani que supo guiarme y asesorarme durante todo el proceso de desarrollo de esta tesis.

A mi amigo, el Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado, por sus grandes enseñanzas y consejos durante toda mi educación universitaria.

Al Ing. Homero Calua Zambrano, gran amigo, que me acompañó y orientó durante muchos días en campo, soportando las inclemencias del tiempo y el cansancio de las largas caminatas.

Al M.Cs. Franklin Montoya Toroverero por sus acertadas observaciones y recomendaciones en la metodología de la presente tesis.

Nada de esto habría sido posible sin la ayuda de todos los que intervinieron en mi formación, mi agradecimiento eterno para todos ustedes.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE PLANOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	1
---------------------------------	---

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
2.1.1	ANTECEDENTES INTERNACIONALES	4
2.1.2	ANTECEDENTES NACIONALES	5
2.1.3	ANTECEDENTES LOCALES	7
2.2	BASES TEÓRICAS	8
2.2.1	PARÁMETROS GEOQUÍMICOS	8
2.2.1.1	FONDO GEOQUÍMICO O BACKGROUND	8
2.2.1.2	UMBRAL GEOQUÍMICO O THRESHOLD	9
2.2.1.3	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON (R)	9
2.2.1.4	ANOMALÍA GEOQUÍMICA	9
2.2.1.5	DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA	10
2.2.2	PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA MINERA	10
2.2.2.1	CICLO GEOQUÍMICO	11
2.2.2.2	AMBIENTE GEOQUÍMICO	11
2.2.2.3	DISPERSIÓN GEOQUÍMICA	12
2.2.2.4	MOVILIDAD GEOQUÍMICA DEL ELEMENTO	13
2.2.2.5	AGRUPACIONES GEOQUÍMICAS	13
2.2.2.6	ELEMENTOS INDICADORES (PATHFINDER)	14
2.2.2.7	MINERALES PATHFINDER	14

	Pág.
2.2.3 MUESTREO GEOQUÍMICO	16
2.2.3.1 MUESTREO EN PROYECTOS DE PORSECCIÓN GEOQUÍMICA	16
2.2.3.2 ASPECTOS A CONSIDERAR LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	17
2.2.3.3 DENSIDAD DE INTERVALO DE MUESTREO	18
2.2.3.4 ERRORES DE MUESTREO	20
2.2.3.5 CLASES MUESTREO	20
2.2.4 GEOESTADÍSTICA MINERA - GEOQUÍMICA	24
2.2.4.1 MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL.....	24
2.2.4.2 MEDIDAS DE DISPERSIÓN.....	25
2.2.4.3 MEDIDAS DE LA FORMA DE DISTRIBUCIÓN.....	26
2.2.4.4 REPRESENTACIÓN DE DATOS	27
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	27

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	30
3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y POLÍTICA	30
3.1.2 ACCESIBILIDAD	30
3.2 CLIMA Y VEGETACIÓN	33
3.3 HIDROLOGÍA.....	34
3.4 GEOLÓGICO ESTRUCTURAL REGIONAL.....	34
3.5 GEOLOGÍA LOCAL	37
3.5.1 CENOZOICO – PALEÓGENO	38
3.5.1 CENOZOICO – CUATERNARIO	42
3.6 GEOMORFOLOGÍA.....	44
3.6.1 PENILLANURA.....	44
3.6.2 TERRAZAS.....	45
3.6.3 PIEDEMONTE ALUVIAL.....	45
3.6.4 MONTAÑAS DE ROCAS INTRUSIVA	46
3.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	48
3.8 GEOQUÍMICA	52
3.8.1 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON.....	55
3.8.2 ELEMENTOS INDICADORES (PATHFINDERS)	56
3.8.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	56
3.9 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	65

	Pág.
3.9.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	65
3.9.2 PROCEDIMIENTO UTILIZADO POR EL INVESTIGADOR.....	66
3.9.3 TRATAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	67
3.9.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	67

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	68
4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	72

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	73
5.2 RECOMENDACIONES.....	74

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
---------------------------------	----

ANEXOS

ANEXOS A: MUESTREO GEOQUÍMICO	81
ANEXOS B: PLANOS	84
ANEXOS C: DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA ESPACIAL.....	92
ANEXOS D: COMPÓSITO DE LAS CONCENTRACIONES MINERALES	100

LISTA DE ABREVIATURAS

WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984.
UTM	:	Universal Transversal de Mercator.
GPS	:	Sistema de posicionamiento global.
UNC	:	Universidad Nacional de Cajamarca.
Dr.	:	Doctor.
INGEMMET	:	Instituto geológico minero y metalúrgico del Perú.
Segermar	:	Servicio geológico minero argentino.
Senamhi	:	Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú
S.A.C	:	Sociedad anónima cerrada.
msnm	:	Metros sobre el nivel del mar.
CIG	:	Unidad informal sierra del jardín.
SGS	:	Sociedad general de vigilancia.
IF	:	Inclusiones fluidas.
SD	:	Desviación estándar.
GGs	:	Agregados de cuarzo masivo.
MVT	:	Tipo Mississippi Valley.
VHMS	:	Yacimientos sulfuros masivos volcanogénicos.
SASPlanet	:	SAS.Planeta.
IOCG	:	Depósitos de óxidos hierro, cobre y oro.
VAG	:	Granitos de arco volcánico.
WPG	:	Granitos de intraplaca (Rift).
Syn-COLG	:	Granitos sincolisionales
ORG	:	Granitos de dorsal oceánica.
TAS	:	Total Alkali Silica.
Na ₂ O+K ₂ O	:	Minerales alcalinos (wt%).
SiO ₂	:	Silicatos (wt%).
I, II, III,...	:	Evento tectónico.
10x, 20x	:	Aumento microscópico
AC-001	:	Código de muestreo.
Qda.	:	Quebrada.
Q-fl	:	Depósito Fluvial.
Q-al	:	Depósito Aluvial.
Q-Pr.0	:	Depósito proluvial reciente.
Q-ed	:	Depósito Eluvial-deluvial.
Q-cd	:	Depósito Coluvial-deluvial.
B-xl	:	Diatrema.
Pe-pmzgr-agui	:	Pórfido Monzogranito.
Pe-mzgr	:	Monzogranito.
Pe-gr-agui	:	Granito.
Pe-gdi-agui	:	Granodiorita.
Pe-di-agui	:	Diorita.
Pe-ap-agui	:	Aplita.

Ki-j	:	Formación Junco.
Js-si	:	Formación Simbal.
MDT	:	Modelo digital del terreno.
MDE	:	Modelo digital de elevaciones.
P-all	:	Penillanura.
P-at	:	Piedemonte aluvio torrencial.
RMC-ri	:	Montañas de roca intrusiva.
et al.,	:	Y otros.
17-f	:	Cuadrángulo geológico.
Eu	:	Anomalía negativa.
LILE	:	Elementos liófilos de ión grande.
TRL	:	Tierras raras ligeras.
HFSE	:	Elementos de alta densidad de campo.
REE	:	Elementos de tierras raras.
Az.	:	Azimut.
Bz.	:	Buzamiento.
Esc.	:	Escala.
Pág.	:	Página
h	:	Hora
Ma.	:	Millones de años
Km.	:	Kilómetro.
m.	:	Metro.
cm.	:	Centímetro.
mm.	:	Milímetro.
m ² .	:	Metros cuadrados.
m ³ .	:	Metros cúbicos.
cm ² .	:	Centímetros cuadrados.
Km ² .	:	Kilómetros cuadrados.
Ha	:	Hectareas.
g	:	Gramos.
t	:	toneladas.
%	:	Porcentaje.
°	:	Grado.
ppm	:	Partes por millón.
Au, Cu,...	:	Elementos químicos de análisis.
Qz	:	Cuarzo.
Fsp	:	Feldespatos potásicos.
Plg	:	Plagioclasa.
Bt	:	Biotita.
Hb	:	Hornblenda.
ef	:	esfalerita.
cp	:	Calcopirita.
mt	:	Magnetita.
py	:	Pirita.
°C	:	Temperatura.
±	:	Mas o menos
F1	:	Población de fluidos hidrotermales.

Eq.	:	Equivalencia.
v.s	:	Versus
N	:	Norte.
S	:	Sur.
E	:	Este.
W	:	Oeste.

LISTA DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 2.1.	Elementos indicadores (Pathfinders) – yacimientos minerales. Fuente: Rivera, 2007.	15
Cuadro 3.1.	Coordenadas de los vértices del área de investigación.	30
Cuadro 3.2.	Accesibilidad al área de investigación.	31
Cuadro 3.3.	Geomorfológico - Prospecto Campana.	46
Cuadro 3.4.	Unidades morfogenéticas – Prospecto campana.	48
Cuadro 3.5.	Cronología de eventos geoestructurales tectónicos de los sistemas de fallas, zona de Pataz. Fuente: Sánchez, 2010.	49
Cuadro 3.6.	Correlación de elementos – Pearson.	54
Cuadro 3.7.	Rangos de valores experimentales de correlación de elementos. Fuente: Trujillo y Espinoza, 2003.	55
Cuadro 3.8.	Elementos pathfinder usados para detectar mineralización.	56
Cuadro 3.9.	Criterios y tipo de investigación. Fuente: Hernández y Mendoza, 2018.	66
Cuadro 5.1.	Reporte de laboratorio SGS del Perú S.A.C. – Prospecto Campana.	82
Cuadro 5.2.	Data parte por millón - Prospecto Campana.	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Distribución geoquímica. Fuente: Hosking, 1965	11
Figura 2.2. Trazos de curvas. Fuente: Walpole, et al., 2012	27
Figura 3.1. Instalaciones litológicas y geomorfológicas – Prospecto Campana.	31
Figura 3.2. A. Ruta de accesibilidad: Cajamarca – Trujillo. B. Acceso al Prospecto Campana. Fuente: Gooogle Maps, 2022.	32
Figura 3.3. Diagrama meteorológico – Trujillo. Fuente: SENAMHI, 2021-2022.	33
Figura 3.4. Estructuras principales de la Deflexión Cajamarca. Fuente: Bazán, 2016.	36
Figura 3.5. Dominios estructurales del sur del Perú. Fuente: Navarro et al., 2010.	37
Figura 3.6. A. Granito de coloración rosado, ubicado en la ladera de la quebrada de atribución fluvial. B. Muestra de granito de textura porfirítica.	38
Figura 3.7. Cuerpo intrusivo granodiorítico de color blanquecino, con seudoestratificación subhorizontal. B. Granodiorita de textura granular o porfirítica con contenidos de: Cuarzo, hornblendas, biotitas y plagioclasas; con matriz microcristalina (aplítica).	39
Figura 3.8. A. Dique diorítico de espesor: 2.80 a 3.20 m., con Az = 48 y Bz = 75°SE, cortando verticalmente a granito. B. Muestra de diorita de color verduzco grano grueso, de textura equiangular con alto contenido de plagioclasas.	40
Figura 3.9. Diatrema intrusivo compuesto de material brechoso subredondeados a redondeados: 0.25 a 0.60 m., englobado por matriz cementante diorítica.	41
Figura 3.10. Depósito Fluvial de coloración grisácea de orientación E-W, de ancho 30 a 50 m., delimitado por Depósito Aluvial de coloración rojiza por contenidos de limos y arcillas.	42
Figura 3.11. Erosión eólica, formando geoformas de alveolos en granito, por meteorización física de impacto de partículas finas, formando oquedades pulidas a redondeadas de 0.50 a 1.00 m. en la superficie de la roca.	44
Figura 3.12. Terrazas presentan zona de acumulación de material gravoso a arcilloso, compuestas por depósitos cuaternarios, ubicadas en las partes bajas como: planicies y lomadas redondeadas; generadas por: Transporte y acumulación de sedimentos, fluviales o eólicos.	45

	Pág.
Figura 3.13. Vista panorámica de las unidades geomorfológicas de la zona de investigación del prospecto Campana.	46
Figura 3.14. Veta de cuarzo y hematita, con orientación Az = 235° y Bz = 45°NW, con espesor 0.80 a 0.90 m. con puntos de Jarosita y Limolita como patina.	50
Figura 3.15. Veta de magnetita, pirita, calcopirita, limolita con brechamiento de cuarzo, con orientación Az = 240° y Bz = 85°NW, con espesor 0.20 a 0.40 m.	50
Figura 3.16. Veta de cuarzo, epidota, magnetita, hematita y limolita, con orientación Az = 45° y Bz = 84°SE, con espesor 0.30 a 0.40 m.	51
Figura 3.17. Veta de cuarzo prismático con magnetita, orientación Az = 45° y Bz = 86°SE, con espesor 0.40 a 0.50 m.	51
Figura 3.18. Veta de oligisto micáceo con magnetita y limolita, orientación Az = 238° y Bz = 78°NW, con espesor 0.55 a 0.70 m. emplazado en roca caja de granito.	52
Figura 3.19. Veta de magnetita con alteraciones de hematita, con orientación Az = 255° y Bz = 78°NW, con espesor 2 a 5 cm. emplazado en roca caja de granito, englobando xenolitos diorita.	52
Figura 3.20. Trazado de la recta de Henry para análisis de Au.	57
Figura 3.21. Trazado de la recta de Henry para análisis de Pb.	58
Figura 3.22. Trazado de la recta de Henry para análisis de Ag.	60
Figura 3.23. Trazado de la recta de Henry para análisis de Cu.	61
Figura 3.24. Trazado de la recta de Henry para análisis de Be.	62
Figura 3.25. Trazado de la recta de Henry para análisis de Bi.	63
Figura 3.26. Trazado de la recta de Henry para análisis de Zn.	65
Figura 4.1. Venillas de magnetita de 2 cm. de espesor Presentando oxidaciones superficiales de coloración rojizas y venillas tensionales de epidota de 2 cm. de espesor, definido por movimiento cinemático dextral. (Calua, 2015).	70
Figura 4.2. A. Fotomicrografía LR-N: Mostrando pirita (py) – evento 1, englobado por esfalerita (ef) y calcopirita (cp) – evento 2 con agregados de cuarzo masivo (GGS). B. Fotomicrografía LR-N: Muestra magnetita (mt) masiva orientada en dirección de veta. (Calua, 2015).	70
Figura 5.1. Compósito de concentraciones elementos.	101

LISTA DE PLANOS

	Pág.
PLANO 01 IMAGEN SATELITAL SASPLANET - BING MAPS	85
PLANO 02 MDT – MDE – UBICACIÓN	86
PLANO 03 GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL REGIONAL	87
PLANO 04 GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL LOCAL	88
PLANO 05 GEOMORFOLÓGICO	89
PLANO 06 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	90
PLANO 07 ALTERACIONES HIDROTERMALES	91
PLANO 01 DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA ESPACIAL – ORO (Au)	93
PLANO 02 DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA ESPACIAL – PLOMO (Pb)	94
PLANO 03 DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA ESPACIAL – PLATA (Ag)	95
PLANO 04 DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA ESPACIAL – COBRE (Cu)	96
PLANO 05 DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA ESPACIAL – BERILIO (Be)	97
PLANO 06 DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA ESPACIAL – BISMUTO (Bi)	98
PLANO 07 DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA ESPACIAL – ZINC (Zn)	99

RESUMEN

El Prospecto Campana se ubica en el batolito de la costa, localizado en el departamento: La Libertad a 28 Km. de la ciudad de Trujillo, provincia: Trujillo, distrito: Laredo y centro poblado: Quirihuac, planteándose los objetivos: Establecer la zonificación de pathfinders en la exploración del prospecto campana, el cartografiado geológico-estructural, alteraciones hidrotermales, anomalías y establecer niveles de elementos; reforzada con material bibliográfico y cartografiado. El cartografiado geológico estructural está asociada a secuencias volcánicas del Alto Guitarras del Paleógeno por cuerpos plutónicos (Granito y granodiorita) y stocks de orientación NW-SE, siendo cortado: Longitudinalmente y transversalmente por diques: Dioríticos, Riolíticos y Andesíticos; y un diatrema de 500 a 800 m. de diámetro, compuesto por brechas de clastos xenolitos de granito subredondeados a redondeados: 0.25 a 0.60 m., englobado por matriz cementante diorítica. Los movimientos tectónicos sectorizados en tres zonas de dominio estructural: WNW-ESE, NNE-SSW y NE-SW; caracterizándose por movimientos cinemáticos de fallas: Dextrales y sinestrales, mediante los emplazamientos de diques y vetas (Cuarzo-magnetita, hematita, piritita y calcopirita, de espesor: 0.20 a 0.80 m., con orientación (Az/Bz): 235°/80°, 235°/45° y 45°/85° respectivamente) y venillas (Epidota de orientación 285°/80° con espesor 1 a 3 cm. de potencia y magnetita, emplazadas por esfuerzos tensionales y dextrales con orientación 230°/75° y 2 cm. de potencia). Por consiguiente, las anomalías de mineralización relacionada un yacimiento tipo pórfido, ubicándose a una profundidad aproximada de 1,300 a 1,900 m., mediante los estudios por inclusiones fluidas (IF). Se ha obtenido la correlación de 31 isovalores de las muestras estableciendo anomalías en: Au (Solo la muestra AC-017 tiene 0.231 ppm, ubicándolo en rangos: 0.205 ppm a 0.255 ppm), Ag (Solo 3 muestras: AC-017 tiene 8.60 ppm, AC-018 tiene 5.70 ppm y AC-031 tiene 9.20 ppm ubicándolo en rangos: 4.70 ppm a 9.20 ppm) y Cu - Zn (Solo 2 muestras: AC-003 tiene 709.50 ppm/1745 ppm y AC-036 tiene 628.70 ppm/487.50 ppm, ubicándolos en rangos: 595 a 710 ppm/312.8 a 1747.8 ppm).

Palabras clave: Pathfinder, anomalía, intrusivo, alteración, vetas, dominio estructural.

ABSTRACT

The Campana Prospect is located in the batholith of the coast, located in the department: La Libertad, 28 km from the city of Trujillo, province: Trujillo, district: Laredo and populated center: Quirihuac, considering as objective: Establish the zoning of pathfinders in the exploration of the Campana prospect, the geological-structural mapping, hydrothermal alterations, anomalies and establish element levels; reinforced with bibliographic and mapped material. The structural geological mapping is associated with volcanic sequences of the Alto Guitarras Paleogene by plutonic bodies (Granite and Granodiorite) and NW-SE oriented stocks, being cut: Longitudinally and transversally by dikes: Diorite, Rhyolite and Andesite; and a diatreme of 500 at 800 m. in diameter, composed of subrounded to rounded granite xenolith clast breccias: 0.25 at 0.60 m., encompassed by dioritic cementitious matrix. The tectonic movements divided it into three structural domain zones: WNW-ESE, NNE-SSW and NE-SW; characterized by kinematic movements of faults: Dextral and sinistral, through the emplacements of dikes and veins (Quartz-magnetite, hematite, pyrite and chalcopyrite, thickness: 0.20 to 0.80 m., with orientation (Az/Bz): 235°/80°, 235°/45° and 45°/85°) and veinlets (Epidote oriented 285°/80° with thickness 1 to 3 cm thick and magnetite, located by tensile and dextral efforts with orientation 230°/75° and 2 cm of potency). Therefore, the mineralization anomalies related to a porphyry-type deposit, located at an approximate depth of 1,300 at 1,900 m., through studies by fluid inclusions (IF). The correlation of 31 isovalues of the samples has been obtained, establishing anomalies in: Au (Only sample AC-017 has 0.231 ppm, locating in ranges: 0.205 ppm to 0.255 ppm), Ag (Only 3 samples: AC-017 has 8.60 ppm, AC-018 has 5.70 ppm and AC-031 has 9.20 ppm and, placing in ranges: 4.70 ppm to 9.20 ppm) and Cu - Zn (Only 2 samples: AC-003 has 709.50 ppm/1,745 ppm and AC-036 has 628.70 ppm/487.50 ppm, ranging from: 595 a 710 ppm/312.8 a 1747.8 ppm).

Keywords: Pathfinder, anomaly, intrusive, alteration, veins, structural domain.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

La exploración del batolito de la costa en el sector de Trujillo, en La Libertad – Perú, se realizó mediante aplicación de elementos guía (pathfinders) y geoquímica. Dentro del contexto geológico encontramos grandes afloramientos de plutones y aislados stocks con dirección cordillerana (NW-SE) con extensiones variadas de 30 a 800 m², con edad del Cretácico Superior al Paleógeno-Neógeno, que fluctúa entre los 54 a 23 Ma. (Stewart, 1974). El batolito de la costa presenta en su totalidad rocas intrusivas (zona septentrional del cuadrángulo 17f de Salaverry). Se observan también brechas generadas durante el ascenso del cuerpo intrusivo de composición granítica que a su paso fragmentó y englobó cuerpos intrusivos de composición microdiorítica pre-existentes, así mismo la zona de estudio cuenta con vetas compuesta de cuarzo, magnetita y sulfuros con dirección NE (Aranda, 2015). La fuente de mineralización se presume que sea un pórfido emplazado a 1,600 m. Es importante mencionar los controles estructurales y estratigráficas que observamos en campo; principalmente se aprecia diques de composición diorítica, riolítica y andesítica, metodológicamente esta investigación es exploratoria, descriptiva y explicativa con la finalidad de determinar el potencial económico del prospecto.

El Batolito de la Costa formado por el proceso de subducción, ha generado grandes depósitos a lo largo del Perú, es por estos motivos que debe ser explorada con todas las herramientas geológicas disponibles, como la geoquímica (pathfinders) para la búsqueda de minerales aprovechables. Por lo que nos lleva a realizar la pregunta: ¿Qué papel juegan los elementos

pathfinders para vectorizar targets de exploración en el Prospecto Campana del batolito de la Costa, Trujillo? y por lo cual tenemos como hipótesis: La zonificación de pathfinders en la exploración en el Prospecto Campana del batolito de la costa, segmento Trujillo - La Libertad, está determinada por la dispersión geológica y los valores anómalos que tienen relación directa con un depósito mineral de Au-Cu, que a su vez pueden ser extrapolados a otras regiones dentro de la misma franja metalogenética. Generando un buen potencial minero.

Para la exploración del Prospecto Campana se necesita de estudios geoquímicos, geológicos que a partir de datos obtenidos y junto con el estudio de afloramientos produzca un modelo del terreno, imprescindible tanto para escoger los lugares donde realizar las exploraciones posteriores; es por ello que se necesita hacer uso de la geoquímica para incrementar las posibilidades de encontrar contenido mineral. Esta investigación también es útil para futuras investigaciones más detalladas y que estudiantes o profesionales puedan aumentar el conocimiento geológico del prospecto. Como objetivo general tenemos, establecer la zonificación de pathfinders en la exploración del Prospecto Campana del batolito de la costa, segmento Trujillo - La Libertad. Y como específicos Elaborar el cartografiado geológico, identificar los tipos de alteraciones hidrotermales, determinar anomalías en la zona de estudio, y establecer un nivel base de contenidos de elementos como Au, Ag y Cu.

La presente investigación sigue el siguiente orden de capítulos:

Capítulo I: Correspondiente al planteamiento del problema, formulación, justificación, delimitación, objetivos e hipótesis de la investigación.

Capítulo II: Correspondiente al marco teórico, donde se describen los antecedentes, las bases teóricas y definición de términos de la investigación.

Capítulo III: Correspondiente a Materiales y Métodos que describen la ubicación geográfica y política, accesibilidad, metodología utilizada,

procedimiento empleado, instrumentos para la recolección de datos además del marco geológico regional y local del prospecto.

Capítulo IV: Correspondiente al análisis y discusión de resultados en el que se detalla la metodología de muestreo empleada, los límites de detección por cada elemento analizado, el control de calidad de los análisis, la población estadística a ser analizada, el procesamiento estadístico que se llevó a cabo para que finalmente se pueda calcular los parámetros geoquímicos y generar los blancos exploratorios.

Capítulo V: Muestra las conclusiones y recomendaciones obtenidas en base a los objetivos planteados y al análisis de la data obtenida.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Cáceres (2008), en su tesis “Exploración geológica y geoquímica del prospecto de cobre Texas, cordillera de Domeyko, II región, Chile”. Realizó un muestreo geoquímico de superficie para determinar los valores umbrales exploratorios en la zona e identificar si existen valores anómalos en cuanto a contenido de elementos. Obtenido correlaciones: Unidad informal Sierra del Jardín (CIG) y Formación La Tabla (Riolitas y andesitas) y rocas intrusivas datando de 290 ± 9 Ma. correspondientes al Pérmico. Reconocimientos minerales de alteración identificando asociaciones minerales que corresponden a alteración hidrotermal tipo pórfido cuprífero, con presencia de alteración: Potásica y propilítica, afectando a las rocas Paleozoicas que se encuentran al E de la Falla Sierra de Varas. Además, en la zona del cerro Pico de Oro se identificó alteraciones: Propilítica, cuarzo-sericítica, argílica y argílica avanzada, afectando a rocas volcánicas cretácicas. El análisis se hizo para aquellos elementos que pueden considerarse como guía exploratorio por pórfido cuprífero: Cu, Mo, Pb, Zn y As; con valores de Cu no superando el umbral, la alteración presente no desarrolla algún tipo de mineralización.

Schwartinsky (2015), realizó “Comparación geoquímica de las zonas de alteración hidrotermal El Plomo y Ortiga, distrito Los Bronces, Anglo American Chile”. El Plomo y Ortiga, se ubican al W del yacimiento Río Blanco-Los Bronces, ubicándose dentro de la franja Mioceno - Plioceno de pórfidos de Chile central entre las latitudes 33° y 35° S. Presenta secuencias volcánicas de La Formación

Farellones (22 – 11 Ma.) sobreyaciendo por una discordancia progresiva a la secuencias volcano-clásticas de la Formación Abanico (36 – 16.1 Ma.) y diferentes cuerpos intrusivos Miocenos desde plutones de dimensiones batolíticas, hasta stocks relativamente pequeños dispersos en orientación N-S. Por consiguiente, el lugar: El plomo (análisis univariable define tendencia NW - NNW sobre zona de fallas NNW, no presentando anomalías de Cu (<175 ppm), sin embargo, el Pb y Zn muestran anomalías importantes: 224 ppm y 603 ppm. La relación Cu/[Pb+Zn] muestra zonación de un centro enriquecido en Cu con un halo enriquecido en Pb-Zn) y Ortiga (El ACP reportó el componente: As, Au, Sr, Mo, Te, Fe, Bi, Se, Tl y Sb; conjunto de elementos característicos de un sistema epitermal de alta sulfidización proximal a la fuente de los fluidos hidrotermales. Los elementos Mg, Al, Li, Zn, Co, Y, Ni, V, Mn, Sc, Ca, Ga, Ce, La, Cu presentan anomalías negativas en las zonas de argílico avanzado marcando claramente el límite con la zona argílica).

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Cueva (2017), investigó “Prospección geoquímica del prospecto Isabel distrito de Jircán – Huánuco”. El Prospecto Isabel se ubica en la cordillera Oriental del centro del Perú a altitud 3,700 msnm, políticamente en el departamento de Huánuco, provincia de Huamiles, distrito de Jircan. El prospecto está conformado por 7 concesiones haciendo un total de 4,600 has. La geología lo comprende esquistos: Micáceos y verdes, pertenecientes al Complejo metamórfico del Marañón de edad Precámbrica, y cuerpos intrusivos fuertemente silicificados. Realizando muestreo sistemático convencional y aleatorio obteniendo 172 muestras de fragmentos de roca que pertenecen a una sola población metamórfica para los cuales se analizaron 12 elementos de mayor importancia económica y asociativa (Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, As, Au, Cd, Sb, Ba, Mn y Fe), haciendo un total de 2052 valores tratados estadísticamente. Aplicándose estadística univariado procediendo a calcular parámetros geoquímicos: Background y Threshold, obteniendo 73 anomalías de encontrándose principalmente en los cerros: Santa Punta, Puytush Grande, Huishuros, Cajaragra, Huarmi Huanushgan y Tambococha.

Rivera (2014), realizó “Caracterización geoquímica de los intrusivos de las superunidades de Yarabamba – Challaviento y de los volcánicos de los grupos Toquepala y Barroso y análisis correlacional con la mineralización en el Sur del Perú”. Se ubica en los departamentos: Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna; con variedades litológicas predominantes de rocas: Plutónicas (Monzonita, granodiorita y tonalita) y volcánicos (andesita/traquiandesita, dacita/traquidacita y riolitas), identificando cuatro unidades geológicas calcoalcalinas de alto K con carácter metaluminoso con excepción del Grupo Toquepala que es peraluminoso. Por consiguiente, los diagramas de variación Harker presentan correlaciones negativas con respecto a la sílice para la mayoría de óxidos con excepción: Na y K, con correlaciones positivas. Fundamentado mediante los diagramas de discriminación tectonomagmática: Y vs. Nb, (Y+Nb) vs Nb, (Y+Nb) vs Rb, muestras que los granitoides caen en el campo de granitos de arco volcánico. Los elementos: Traza y tierras raras, mostrando características típicas de rocas asociadas a subducción con enriquecimiento de elementos: LILE (<100) y TRL con respecto a HFSE (<10) y TRP. Además, las anomalías son: Negativas (Nb) y positivas (Th y Ce) indicando relaciones con el marco tectónico de subducción de placas. Geoquímicamente, se diferencia tres series graníticas principales: Granitoides máficos, intermedios y félsicos, con relaciones: SiO₂ vs Sm/Yb permitiendo determinar que los volcánicos félsicos de Toquepala son más antiguos seguido por las Superunidades: Yarabamba y Challaviento, siendo más joven el Grupo Barroso; mediante las edades radiométricas.

Quino (2017), realizó “Exploración geoquímica y determinación de elementos pathfinder – target proyecto: Achanizo Chaparra – Caravelí - Arequipa”. El Proyecto Achanizo, está localizada en el departamento de Arequipa, distrito de Chaparra, provincia de Caraveli, a una altitud 1,800 msnm., obteniendo como resultados: Que los elementos indicadores “Target” de (Cu, Pb, Zn) tiene una correlación entre moderada a perfecta entre elementos guías “Pathfinder”: As, Mo, Co, Sn, Al, Ni y Sc, ayudando los elementos a interpretar la zona de mineralización y probar la presencia de un cuerpo de Cu oculto a profundidad; también presenta fuertes a perfectas correlaciones geoquímicas del Cu con el V, Co, Ni, As, Sn que corresponden a la población ígneo Intrusivo,

mientras el Cu presenta una correlación entre moderada a fuerte con el Zn, As en la población Formación Guaneros. Del mismo modo hay entre moderada y fuerte correlación del Cu con el As en la población Volcánico Chocolate; y destacando una distribución espacial del Cu en los afloramientos rocosos donde la fuente primaria corresponde al Volcánico Chocolate.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

Calua (2015), realizó “Aplicación de inclusiones fluidas en la exploración del Prospecto Campana, La Libertad – Perú”. Los cartografiados distinguieron rocas intrusivas de composición granítica ligeramente intemperizadas con xenolitos ligeramente cloritizados de composición diorítica, presentando esporádicamente zonas alteradas a arcillas, y oxidadas cerca de las vetas y venillas tipo sheeted vein, evidenciando vetas compuestas por: Cuarzo, magnetita ($230^{\circ}/75^{\circ}$), hematita, pirita, calcopirita (Espesor: 0.20 m. a 0.80 m., con Az/Bz: $235^{\circ}/75^{\circ}$, $235^{\circ}/45^{\circ}$ y $45^{\circ}/85^{\circ}$) y epidota (Venillas tensionales de orientación $285^{\circ}/80^{\circ}$ de 2 cm. de potencia promedio). Obtenido anomalías Au (0.069 g/t Au), Cu (0.07% Cu), Mo (45 ppm Mo), Ag (2.20 g/t Ag) y Zn (0.17% Zn). Mediante los estudios de termometría de inclusiones fluidas mostros fluidos hipersalinos de alta temperatura indicando mineralización asociada a un pórfido de Cu formada en promedio a 1,600 m. de profundidad (teniendo en cuenta que lo pórfidos se forman entre 2,000 y 5,000 m. de profundidad), además de la evidencia del posible telescoping de un sistema epitermal subordinado más antiguo.

Aranda (2015), investigó “Geoquímica y geotermometría de las vetas del Prospecto Campana AC, La Libertad – Perú”. El objetivo principal fue realizar un análisis de la geoquímica superficial, geología estructural, inclusiones fluidas y la petromineralogía de las vetas del Prospecto Campana AC, con el objetivo de generar un modelo geológico preliminar que ayude a la exploración. Donde se pudo definir dos eventos principales de emplazamiento de vetas y vetillas que, aplicando los estudios de termometría de inclusiones fluidas, determinó que ambos sistemas de vetas presentan grupos de inclusiones fluidas con temperaturas entre 300°C y 450°C con salinidades mayores a 10% eq. peso de

NaCl, lo cual evidencia el origen mesotermal de las vetas, posiblemente asociado a un intrusivo profundo.

Cossio y Jaén (1967), Boletín N° 17 Geología de los cuadrángulos de Puemape, Chocope, Otuzco, Trujillo, Salaverry y Santa. Enfocados al contexto geológico: local y regional, en los aspectos: geomorfológicos, estratigráficos, geoestructurales, tectónicos y plutónicos, con breves descripciones de los yacimientos y prospectos reconocidos en el departamento de la Libertad, conformando la Hojas: 16-d, 16-e, 16-f, 17-e, 17-f y 18-f, para interpretaciones, análisis y ubicación de las formaciones geológicas, siendo de gran apoyo para la geología regional y local, al prospecto Campana.

Navarro et al. (2013), aportaron el “Mapa geológico del cuadrángulo de Salaverry, escala 1/50,000 hoja 17-f cuadrante-IV”. Mostrando información detallada: Geóloga local, geoestructuras, cuerpos intrusivos y zonas mineralizadas, relacionadas al prospecto Campana.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 PARÁMETROS GEOQUÍMICOS

2.2.1.1 FONDO GEOQUÍMICO O BACKGROUND

Parámetro conocido como el valor promedio normal que muestra la abundancia o concentración de un elemento en un material terrestre, el contenido de fondo es sujeto a variaciones según la constitución de la roca u otro material terrestre en que el elemento ocurre. Este valor está representado estadísticamente como el promedio geométrico de la población (Calcina, 2008).

Background = media geométrica de la población

2.2.1.2 UMBRAL GEOQUÍMICO O THRESHOLD

Límite superior de los valores normales de background. El valor de threshold varía para cada elemento, en cada tipo de roca y en cada área. En prospección geoquímica el threshold puede ser determinado a través del método matemático obtenido de la siguiente expresión (Calcina, 2008).

Threshold = Media geométrica + 2 veces la desviación estándar (SD).

2.2.1.3 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON (R)

Intensidad en la relación lineal entre dos variables a nivel de intervalo. El valor del coeficiente de correlación "R" puede tomar valores desde menos uno (-1) hasta uno (+1), indicando que mientras más cercano a uno sea el valor del coeficiente de correlación en cualquier dirección, más fuerte será la asociación lineal entre las dos variables. Mientras más cercano a cero sea el coeficiente de correlación indicará que más débil es la asociación entre ambas variables. Si es igual a cero se concluirá que no existe relación lineal alguna entre ambas variables (Vásquez et al., 2008).

2.2.1.4 ANOMALÍA GEOQUÍMICA

Una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico (Morales, 1985). Conformado por:

Anomalías significantes: Anomalías relacionadas con un depósito mineral, que se puede usar como guías para la prospección, pues tiene valores que exceden a los valores de fondo. Es determinado mediante los tratamientos estadísticos.

Anomalías negativas o no significativas Se define una anomalía negativa como una concentración muy por debajo del contenido normal (Background), a diferencia de las anomalías positivas podrían ser posibles descubrir patrones de anomalías negativas en ambientes

secundarios, tales como sedimentos de quebrada y suelos (Rivera, 2007). Los rangos considerados de las anomalías significativas, para el presente estudio son la siguiente:

Anomalía débil = 1 a 2 threshold.

Anomalía moderada = 2 a 3 threshold.

Anomalía fuerte = Mayor a 3 threshold.

2.2.1.5 DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA

La distribución geoquímica de un elemento, en rocas, suelos y otros materiales, es una respuesta a la suma total de todos los procesos que conciernen al movimiento en los materiales de la tierra. En muchos casos esta distribución refleja simplemente la distribución de unidades litológicas. La Figura 2.1 muestra un esquema de distribución de elementos por zonas en el distrito minero al SW de Inglaterra (Hosking, 1951), plasmando que el granito reemplazado en sedimentos convirtiéndolos a meta sedimentos. Las zonas caracterizadas por distritos de elementos son desde el interior hacia la periferie: Sn verde azulado, Cu dorado, Pb-Zn verde amarillo y Fe verde; concentrándose la mineralización en los diques, siendo los metasedimentos no mineralizados color amarillento.

2.2.2 PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA MINERA

Los métodos geoquímicos de prospección son apropiados en áreas donde la roca madre no está expuesta debido a la cobertura de los productos del intemperismo o debido a la presencia de sedimentos relativamente recientes. Por ello estos métodos puede ser usados en áreas que no son accesibles debido a la topografía accidentada, vegetación espesa o a la ausencia de caminos adecuados (Rivera, 2007).

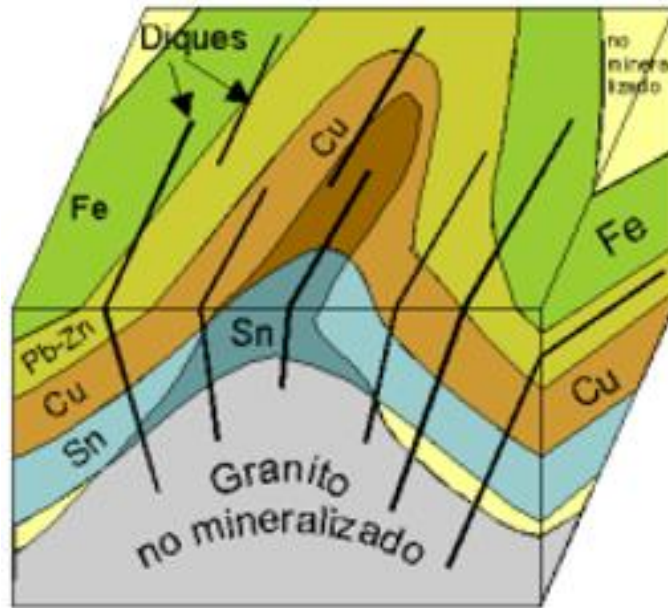


Figura 2.1. Distribución geoquímica.
Fuente: Hosking, 1965

2.2.2.1 CICLO GEOQUÍMICO

Este abarca los procesos geológicos que se llevan a cabo tanto en la superficie como al interior de la corteza constituyendo el denominado ciclo geológico. Los procesos endógenos como el magmatismo que dan lugar a las formaciones de las rocas ígneas, los procesos de metamorfismo y de metasomatismo que dan lugar a las rocas metamórficas y los procesos postmagmáticos que originan los depósitos minerales y las alteraciones hidrotermales todos estos procesos constituyen el ambiente geoquímico primario y la migración de los elementos constituyen la dispersión primaria. Los procesos geológicos exógenos como el intemperismo, la erosión, la sedimentación y diagénesis que dan lugar a los suelos, sedimentos y rocas sedimentarias, conforman el ambiente geoquímico secundario y cuya migración de sus elementos constituyentes dan lugar a la dispersión secundaria (Rivera, 2007).

2.2.2.2 AMBIENTE GEOQUÍMICO

Ambiente geoquímico es el conjunto de factores físicos y químicos que intervienen en la abundancia, distribución y migración de los elementos en los distintos procesos geológicos internos y externos que ocurren en las distintas

esferas geoquímicas de la tierra, los parámetros del ambiente geoquímico centrada en la corteza terrestre que determinan las fases minerales estables en un punto determinado, son la presión, la temperatura y la disponibilidad de los componentes químicos más abundantes. Sobre la base de estas variables, es posible clasificar los ambientes geoquímicos naturales de la tierra en dos grandes grupos: ambiente geoquímico primario, que está caracterizado por condiciones de confinamiento, altas presiones y temperaturas, circulación restringida de fluidos y bajo contenido de oxígeno libre. Los productos de los patrones de dispersión primaria, son factores geoquímicos preservados en las rocas ígneas, metamórficas o de origen hidrotermal que ahora están expuestas en la superficie así mismo el ambiente geoquímico secundario, es el ambiente de intemperismo, lixiviación supergénica, transporte y sedimentación, caracterizado por bajas temperaturas y presiones, circulación libre de fluidos y abundante oxígeno libre, agua y dióxido de carbono, ejemplos son los ambientes desarrollados por las alteraciones supergénicas, los gossan o sombreros de hierro y los suelos (Rivera, 2007).

2.2.2.3 DISPERSIÓN GEOQUÍMICA

Es la capacidad de migración de un elemento desde su origen hacia otro ambiente a través de diferentes procesos fisicoquímicos y mecánicos. También se define como el movimiento fisicoquímico que sufren los elementos al pasar de un ambiente geoquímico a otro, esto se refiere también a los procesos de transporte y/o fraccionamiento de los elementos (Rivera, 2007).

Clasificación de acuerdo a su origen:

Patrones de dispersión primaria: Caracterizado por las condiciones de un ambiente geoquímico primario. Patrones singenéticos: son los patrones de dispersión que se forman al mismo tiempo que las rocas que las albergan y son resultados generalmente, de los procesos petrogénicos, diferenciación magmática y metamorfismo, patrones epigenéticos: son aquellos que se forman por el aporte posterior de un material nuevo a la roca huésped y como resultado de la introducción de

soluciones mineralizantes a lo largo de las fracturas, fallas y poros. Puede ser resumido como actividad hidrotermal (Rivera, 2007).

Patrones de dispersión secundaria: Son condiciones prevalecientes en la superficie terrestre consistente de baja temperatura y presiones en la cual los procesos de dispersión secundaria son resaltantes, a su vez también pueden ser clasificados con respecto al matriz huésped como singenéticos y epigenéticos; y al modo de formación en clástico hidromórfico y biogénicos (Rivera, 2007).

Clasificación de acuerdo al fraccionamiento de sus elementos:

Dispersión mecánica: Procesos mecánicos de transporte realizados por los agentes geológicos como el transporte fluvial, glaciar, eólico, aguas subterráneas implican frecuentemente pequeños fraccionamientos, y en los procesos geológicos internos tenemos el emplazamiento de los magmas (Rivera, 2007).

Dispersión química: La contribución de procesos químicos a través del intemperismo, comprende sobre todo una diferenciación del material en varias fracciones de movilidad. Se puede dividir los elementos en: inmóviles que son los insolubles y los móviles que son los solubles (Rivera, 2007).

2.2.2.4 MOVILIDAD GEOQUÍMICA DEL ELEMENTO

Es la capacidad que tienen los elementos de ser transportados de un ambiente geológico a otro. Algunos elementos muestran un alto grado de movilidad durante la dispersión en ambientes particulares. La respuesta de un elemento a los procesos de dispersión está gobernada por su movilidad la que depende de las propiedades mecánicas de la fase móvil (Rivera, 2007).

2.2.2.5 AGRUPACIONES GEOQUÍMICAS

La agrupación geoquímica de dos o más elementos, es un factor muy importante para analizar cualquier proceso de distribución. En el caso de

búsqueda de menas, se analiza las muestras con respecto al elemento guía pathfinder y no con respecto al elemento principal, pues el primero tiene dispersión más amplia y puede analizarse más fácilmente y con más precisión. La utilización de las afinidades de los elementos depende también del conocimiento su mineralogía y el modo de ocurrencia de los metales (Vásquez et al., 2008).

2.2.2.6 ELEMENTOS INDICADORES (PATHFINDER)

Debido a que los elementos muestran diferentes grados de movilidad controlados inicialmente por la estabilidad de los minerales que los contienen y posteriormente por el ambiente en el cual está migrando un elemento. “Pathfinder element” puede ser definido como un elemento fácilmente detectable (Vásquez et al., 2008).

2.2.2.7 MINERALES PATHFINDER

Es necesario anotar que la existencia de asociaciones mineralógicas y geoquímicas, permiten el uso de minerales indicadores, tal como se hace con los elementos pathfinder. Por ejemplo, un método de prospección valido bien establecido para muchos tipos de depósitos de oro ha sido la búsqueda de vetas de cuarzo., en Rusia para localizar las kimberlitas diamantíferas se busca al pirope y la magnetita en depósitos tipo skarn (Rivera, 2007).

Cuadro 2.1. Elementos indicadores (Pathfinders) - yacimientos minerales.

Tipo de depósito	Elem. mayores	Elem. asociados	Por Métodos comunes	Por Métodos especiales
Yacimientos hidrotermales				
Pórfido de Cu	Cu	Mo, Au, Ag, Re, As, Pb, Zn	Cu, Mo, Zn, W, Sb	Au, As
Pórfido de Mo	Mo	W, Sn, F, Cu	Cu, Mo, Sn, W	F
Skarn - Magnetita	Fe	Cu, Co	Fe, Cu, Co	
Skarn Cu	Cu, Fe	Au, Ag	Cu, Fe, Ag	Au
Skarn Pb-Zn	Pb, Zn, Cu	Cu, Co	Pb, Zn, Cu, Co	
Skarn W-Mo-Sn	W, Mo, Sn	F, Cu, Be, Bi	W, Mo, Sn, Cu, Be, Bi	F
Vetas polimetálicas y volcanogénicas	Pb, Zn, Cu	Ag, Au, As, Sb, Mn, Ba	Pb, Zn, Cu, Ag, Sb, Ba	Au, As
Sn-W Greisen Qz	Sn, W	Cu, Mo, Bi, Li, Rb, Cs, Re, B, F	Sn, W, Mo, Cu, Bi	F, Li, Rb
Veta sulfuros - Sn	Sn	Cu, Pb, Zn, Ag, Sb	Sn, Cu, Pb, Zn, Ag, Sb	
Veta Co - Ni - Ag	Co, Ni, Ag	As, Sb, Bi, U	Co, Ni, Ag, Sb, Bi	As, U
Mena de Au	Au, Ag, Hg, Sb, U	As, Hg, Sb, Te, Se, U	Ag, Sb	Au, As, Hg
Hg - Sb y Hg	Hg, Sb	As, Ba	Sb, Ba	Hg, As
Veta de U	U	Mo, Pb, F, Zn, Ag, Cu	Mo, Pb, Zn, Ag, Cu	U, F
Cu en Basalto	Cu	Ag, As	Cu, Ag	As
Skarn Bi	Bi	Cu, Pb, Zn	Bi, Cu, Pb, Zn	
Sulfuro Cu masivo volcanogénico	Cu	Zn, Au	Cu, Zn	Au
Capa Fe rico Au-As	Au, As	Sb	Sb	Au, As
Pb-Zn Mississippi	Zn, Pb	Ba, F, Cd, Ni, Co, Hg	Zn, Pb, Cu, Ni, Co, Ba	F, Hg, Cd
Fluorita, Mississippi	Fe, Ti	Ba, Pb, Zn	Ba, Pb, Zn	F
Arenisca con U	U	Rn, Se, Mo, V, Cu, Pb	Mo, V, Cu, Pb	U, Rn, Se
Capas Rojas Cu	Cu	Ag, Pb	Cu, Ag, Pb	
Yacimientos magmáticos				
Mena de cromita	Cr	Ni, Co, Fe, Mg	Cr, Ni, Co, Fe, Mg	
Intrusivo estratific. Pt-Ni-Cu	Pt, Ni, Cu	Cr, Co, Zn	Cu, Zn, Pt, Ni, Cr, Co	
Magnetita estratificada	Fe, Ti	V, Ti, P	Fe, V, Ti, P	
Sulfuro Cu - Ni inmiscible	Cu, Ni	Pt, Co, As, Au	Cu, Ni, Co, Pt	As, Au
Óxido Fe-Ti inmiscible	Fe, Ti	P	Fe, Ti, P	
Carbonatitas	Nb, Ta	Na, Zr, P, U	Nb, Ta, Na, Zr, P	U
Pegmatitas	Be, Li, Cs, Rb	B, U, Th, tierras raras	Be, Sn, Nb, Ta, W	Li, Cs, Rb, F, U, Th
Yacimientos sedimentarios				
Fosforitas	P	U	P	U
Lutita con Cu	Cu	Ag, Zn, Pb, Co, Ni, Cd, Hg	Cu, Ag, Zn, Pb, Co, Ni	Hg, Cd
Arenisca con Cu	Cu	Ag, Co, Ni	Cu, Ag, Co	

2.2.3 MUESTREO GEOQUÍMICO

El muestreo geoquímico es la forma corriente de obtener muestras representativas de un determinado material natural, colectado de una manera estandarizada. La cantidad de material debe estar adecuada a la finalidad del muestreo, a los requerimientos analíticos y a la conservación del remanente en repositorios como material de referencia para futuras investigaciones (Galliski, 1996). Partiendo del principio conocido que una muestra es una porción pequeña representativa de un conjunto o masa mayor, se deduce teóricamente al menos que esa pequeña porción debe reunir las mismas características y propiedades del material representado y estar de acuerdo con el grado de exactitud requerido en base a la calidad y al número de muestras (Blanco, 1985) por lo tanto, se puede considerar que los 3 tópicos fundamentales del muestreo radican en (Quino, 2017):

Obtener muestras de la mejor calidad.

Tomar el menor número posible de muestras.

Obtener la mayor representatividad del sistema bajo estudio.

2.2.3.1 MUESTREO EN PROYECTOS DE PORSPECCIÓN GEOQUÍMICA

En geoquímica aplicada se analizan muestras para identificar elementos, isótopos o compuestos útiles en la búsqueda de yacimientos minerales (sea de metales, de no metales o de hidrocarburos). Cada muestra es única en cuanto a la información que proporciona, además de los datos geoquímicos de la zona que representa y por su facilidad para colectarla, transportarla y prepararla para su análisis en el laboratorio. Influyen en la selección de muestras los objetivos del proyecto, sean estos de reconocimiento (estudio regional), de seguimiento o de detalle (estudio local), y la clase de mineralización que se busca, posible tamaño, forma geométrica y orientación espacial. El procesamiento de datos geoquímicos mediante una estadística básica va a complementar y terminar de indicar las desviaciones generalmente positivas. Estos procedimientos estadísticos deben servir sólo de guía en la evaluación científica junto con las estimaciones visuales de mapas geoquímicos. Con el propósito de remarcar la

importancia de esta operación, a veces soslayada involuntariamente, el presente trabajo hace perseverancia, en la obligatoriedad de elegir un sistema de muestreo que cumpla con los requisitos mínimos de exactitud, rapidez y bajo costo, de tal modo que la relación de muestreo - análisis - interpretación, que necesariamente debe existir en un trabajo de prospección geoquímica, sea la que conduzca a conclusiones lógicas y confiables, partiendo de los resultados analíticos y de los datos de la geología de campo correspondientes al material natural que se ha usado como muestra (Blanco,1984).

2.2.3.2 ASPECTOS A CONSIDERAR LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Exige la observancia de una serie de detalles para que aquellas, además de representar el material obtenido en su área de influencia, se encuentren en estado de ser manejadas y tratadas de manera adecuada. Algunos de los aspectos que más se destacan, figuran, a continuación, en forma resumida. El primer problema que debe ser solucionado a toda costa es el de la contaminación, ya sea en el terreno como entre las muestras. Para esto, se tomarán las precauciones necesarias a fin de evitarlas, sobre todo cuando el material húmedo, ya sea en suelos o en sedimentos de arroyo. Existen varias formas de eliminar la mayor cantidad de agua de estas muestras, eligiéndose la que más convenga o se adapte a las circunstancias del momento. Por otra parte, téngase en cuenta que la mayoría de las fuentes de contaminación son artificiales, producto de la actividad humana; por esta razón, debe evitarse el muestreo cerca de ellas puesto que son muy conspicuas y el geoquímico las reconocerá de inmediato cuando recorra el área de trabajo. Para la buena conservación de la muestra, es esencial contar con los recipientes adecuados, es decir, los que permitan que la muestra no sufra reacciones secundarias. El uso de bolsas de polietileno neutro, común en trabajos de prospección geoquímica, se tiene, entre otras, las siguientes ventajas:

- Por su resistencia a la humedad, pueden contener material húmedo sin deteriorarse.

- Al ser impermeables favorece que la parte líquida de la muestra permanezca hasta sedimentar sin que se pierda información geoquímica.
- No contamina la muestra. Las desventajas son que va a ver poca circulación de aire produciéndose reacciones anaeróbicas, se debe tener cuidado de abrir las bolsas para arear las muestras que contienen. En cuanto se refiere a las herramientas a emplearse, la experiencia señala el uso de todas aquellas que no produzcan contaminación. Cumple este requisito las cucharas, palitas, cinceles, martillos geológicos, etc., de acero inoxidable. Del mismo modo, en el laboratorio de preparación de muestras, deben usarse tamices 14 de nylon o de acero inoxidable y los equipos de trituración, también deben contener piezas anticontaminantes. Muchas veces, equivocadamente, suelen usarse herramientas de acero, sin percatarse que el hierro y otros elementos de ese material pueden producir interferencias en los análisis y dan lugar a resultados falsos. A pesar de lo antes expresado, para el muestreo de suelos, sedimentos de arroyos y aguas; las manos realizan con ventaja este trabajo, siempre que estén libres de anillos, relojes, pulseras o cualquier otro objeto metálico. El manejo y almacenaje de las muestras, es otro de los aspectos que deben observarse para facilitar la ubicación y el tratamiento en el laboratorio, además de mantener el orden y reducir el espacio ocupado por ellas. Con este fin, se usan cajas de madera (Blanco, 1984).

2.2.3.3 DENSIDAD DE INTERVALO DE MUESTREO

El número de muestras por kilómetro cuadrado que se recolectan en un trabajo de prospección geoquímica depende de diversos factores, como, por ejemplo, la fase en que se desarrolla la investigación, la extensión del área de estudio, el objetivo a alcanzar, etc. Por lo general, en las etapas de orientación, desarrolladas a menudo en sedimentos de arroyos, la densidad puede llegar a cinco muestras por kilómetro cuadrado en virtud de toda la información que

aquellas proporcionan. Cuando se trata de estudios regionales, téngase en cuenta que existen densidades de muestreo específicas para cada caso en particular. Bradshaw, Clewa y Walker (1973), indican las siguientes densidades para muestreo de sedimentos de río:

- 1:100 a 1:200 Km²: Para delimitar provincias geoquímicas o rasgos similares muy amplios.
- 1:10 a 1:50 Km²: Prosecución del trabajo en regiones específicas, susceptibles de contener una faja mineralizada o rasgo similar.
- 1:2.5 a 1:5 Km²: Estudio detallado en zonas anómalas previamente delimitadas.

Sin embargo, en la práctica, se usan densidades de una muestra por kilómetro cuadrado a dos y media por kilómetro cuadrado, que brinda una cobertura ideal del área de trabajo y delimitan con mayor exactitud los sectores anómalos. En muestreos de rocas consolidadas, suelos, vegetación, aguas, etc, las densidades a adoptar son variables; en estas circunstancias, el criterio y la experiencia del profesional deciden la que es más apropiada. Por otra parte, el intervalo de muestreo está en función de la densidad, considerándose especialmente el material que se recolecta y la fase de estudio que se lleva a cabo, ya que cada fase y cada material tienen sus intervalos particulares. Lo esencial es que la separación entre muestras sea tal que no permita que se pase por alto ninguna estructura mineralizada que se encuentre cubierta. Aquí, nuevamente, el criterio del geoquímico y el conocimiento del aspecto geológico del área donde trabaja, juega un papel importante en la determinación del intervalo conveniente, puesto que, si el número de muestras a tomar es muy grande, el costo y el tiempo empleado serán mayores a lo planificado; inversamente, sería doble gasto de tiempo y dinero, retornar al campo, después de haber terminado el trabajo, al darse cuenta del escaso número de muestras obtenido.

2.2.3.4 ERRORES DE MUESTREO

La limitación de espacio del presente trabajo impide un tratamiento más o menos detallado de tema; sin embargo, es necesario incluir algunas ideas substanciales. La determinación y evaluación de estos errores se hacen sobre la base de técnicas estadísticas; su entendimiento evita pasar por alto débiles sospechas de mineralización no aflorantes. Aunque los procedimientos de muestreo que se emplean sean los correctos y no se cometen engaños al llevarlos a cabo, pueden cometerse errores, que radican principalmente en la diferencia que existe entre la muestra que se toma y el material del cual se la obtiene y está presente en el punto de muestreo; por ejemplo, cualquier tipo de contaminación puede producir errores si no se le detecta, del mismo modo, la recolección del material orgánico, junto con las muestras de suelos, tiene idéntico efecto. Algunos tipos de error pueden ser controlados, pero otros pueden escapar a la supervisión y echar por tierra la veracidad y validez de la interpretación. Las diversas categorías de tendencias en el muestreo también conducen a errores, algunas de ellas pueden ser controladas por el empleo de ciertos artificios, aunque no completamente, puesto que en muchas ocasiones están fuera del alcance de cualquier rectificación. Por lo tanto, la manera más segura de minimizar al máximo esta clase de errores, es observar estrictamente todas las reglas de procedimientos del muestreo (Blanco, 1984).

2.2.3.5 CLASES MUESTREO

Este muestreo se hace siguiendo las pautas determinadas por dos clases generales, que están de acuerdo con el modelo diseñado empleado. Puede ser, conforme a la recolección casual de las muestras, convencional o jerarquizada.

a) Muestreo Convencional: Sigue el diseño de muestreo más simple; en este caso, la muestra se obtiene en cada uno de los puntos señalados, los que puedan estar regular o irregularmente distribuidos dentro del área, pero siempre siguiendo un orden establecido. Teniendo en mente los objetivos que se persiguen, cuando se hace

un muestreo geoquímico, no se debe descuidar el aspecto operacional, causa por la cual es imprescindible que la metodología muestreos correlativamente. Cada caja lleva los datos correspondientes anotados sobre la madera. Para la fácil reubicación, en caso de ser necesario, de los puntos de muestreo en el terreno, es útil marcar los números respectivos, con plumones indelebiles para evitar pérdidas de tiempo en la búsqueda posterior del punto en cuestión. Además, se debe hacer un listado considerando todos los tipos y la proporción de muestras que se obtendrán; esta lista constituye un elemento de control del avance diario y del general del proyecto. Paralelamente, es conveniente disponer de antemano del modelo de distribución de las muestras en el plano para trabajar de acuerdo a él; esto permite el cambio de localización, debido a cualquier motivo, del punto de muestreo en el terreno y hacer la corrección en aquel. Las imágenes de Satélite Landsat TM5 y fotografías aéreas ayudan también en este sentido. Un segundo control del orden de muestreo, reside en la numeración de las bolsas antes del trabajo de campo, fuera de ahorrar tiempo, indica el tipo y número de muestra que debe tomarse. En lo posible se usarán plumones de tinta indeleble. Puede también ser aplicable el uso de las etiquetas autoadhesivas. Existen diferentes tipos de acuerdo a la manera en que se obtienen las muestras, los más habituales son:

- Corriente: El menos preciso y el que requiere mayor atención por parte del personal de muestreo, el que, a veces, por razones de tiempo y costo, no toman las muestras de la misma manera; éstas son del mismo tipo y no poseen objetivos específicos. En general, su recolección no cumple con las condiciones de exactitud requeridas y por lo tanto sus resultados no son tan confiables.
- Sistemático normal: Incluye la obtención de varios tipos de muestras, cada uno con un propósito determinado. Se ajusta a normas establecidas, dirigidas al alcance de la seguridad necesaria para una interpretación real, que refleje lo que, desde el punto de vista geoquímico, se encuentra en el área de trabajo. La toma de

muestras sigue una serie de pasos que debe respetarse en todos los puntos. Esto requiere dedicar un tiempo extra, como se mencionó antes, que queda por demás justificado si se piensa que, como regla general, el costo de una campaña de prospección geoquímica consume un buen porcentaje del presupuesto de exploración.

- **Sistemático Especial Practicado:** cuando en una campaña de muestreo se pasa una estructura mineralizada cualquiera; La forma de obtención es función del material que se estudia. Por ejemplo, en el caso de sedimentos de ríos, a partir de la estructura cortada, las primeras cuatro muestras se toman a una distancia X (50 m.); luego, las cuatro siguientes a una distancia $2X$; finalmente, las cuatro últimas tendrán una separación de $4X$, para después continuar con el intervalo de muestreo seguido en el trabajo. Su finalidad es conocer la movilidad relativa de los elementos indagados, para determinar el modelo de dispersión que se origina, ya sea primario, si se trata de rocas inalteradas, o secundaria en el resto de los materiales. El ordenamiento de los puntos de muestreo es variable; así, para aguas y sedimentos de ríos, se hace aguas abajo del cuerpo mineralizado; en suelos y rocas, a partir de aquel en direcciones opuestas, excepto cuando el suelo tenga una pendiente mayor a 5° , ocasión en que la dirección de aquella es respetada. De igual modo, la separación entre las muestras está sujeta a cambio, dependiente de la escala, fase y objetivo del estudio (Rivera, 2007).

b) Muestreo Jerarquizado: Muchos geoquímicos se inclinan por esta clase, en la que el diseño es más complejo; su característica es tratar de determinar cuantitativamente los efectos de la variabilidad geoquímica regional y de los factores que la provocan. En cada una de estas clases, los procedimientos de obtención de muestras son similares y tienen la particularidad de mantenerse idénticos de un estudio a otro, aunque los patrones de muestreo varíen; es decir que,

sea cual sea el modelo de muestreo empleado en una zona dada, la operación de muestreo debe ser invariable.

- Duplicadas: Se toman muestras pares en cada uno de los puntos correspondientes. El procedimiento varía de acuerdo al material muestreado. Fundamentalmente, consiste en tomar pequeñas porciones en el punto y sus cercanías, con las que se forman una muestra compuesta que, luego ser homogenizada, es cuarteada y ensobrada. La cantidad necesaria es de 100 gramos aproximadamente.
- Duplicadas de Control: Son una combinación de las características de los tipos “De Control” y “Duplicadas”, asimismo, comparten sus objetivos; la cantidad de material a obtenerse debe estar cerca de 2 kilogramos y se toman de a pares.
- Replicadas de Control: Resultan de la combinación de los tipos “De Control” y “Replicadas”, al igual que las muestras anteriores, se toman de a pares en una cantidad en torno a dos kilogramos, se reúnen en este tipo los objetivos de los dos señalados en primer término.
- Replicadas: Al igual que las anteriores se toman de a pares, pero con la diferencia que ambas provienen del mismo punto de muestreo, de modo que, teóricamente, son idénticas; el peso de cada una es de, más o menos 100 gramos. Por una parte, esta clase suele aplicarse con mayor frecuencia en estudios referidos al conocimiento de la variabilidad en contenidos elementales en rocas consolidadas y suelos, pudiendo subdividirse en equilibrada y desequilibrada. Por otra parte, el muestreo convencional se usa en una buena proporción de trabajos de prospección geoquímica y si el procedimiento de recolección de muestras respeta las reglas exigidas sus resultados son de plena confianza, ya que delimita con bastante exactitud zonas potencialmente interesantes, por estas razones será tratado en forma más detallado (Rivera, 2007)

2.2.4 GEOESTADÍSTICA MINERA - GEOQUÍMICA

2.2.4.1 MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

La geoestadística tiene importancia medir la tendencia central de los grupos de datos lo que se consigue con los valores promedios los cuales son la moda, mediana, media aritmética (Sarma, 2008).

Media geométrica: Cantidad arbitraria de números (por decir n números) es la raíz n-ésima del producto de todos los números (Sarma, 2008).

$$\bar{X} = \left(\prod x_i \right)^{\frac{1}{n}} = (x_1 * x_2 \dots * x_n)^{\frac{1}{n}}$$

Media aritmética: Describe como el promedio de los valores de la población (Sarma, 2008).

$$\bar{X} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}$$

Mediana: Punto que divide la distribución de los datos en dos partes iguales por debajo de la mediana estará la mitad del número de casos y por encima de ella la otra mitad (Sarma, 2008).

Si: N impar

$$M_e = x_{\frac{n+1}{2}}$$

Si: N par

$$M_e = \frac{1}{2} \left(x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1} \right)$$

Moda: Valor más repetido o es el valor que ocurre en las frecuencias más grandes también se le llama medida de posición central porque

tiende a hallarse en el centro de la distribución de frecuencias (Sarma, 2008).

$$M_o = Li + i \left[\frac{D_1}{D_1 + D_2} \right]$$

Cuantiles: Estadígrafos que dividen a los datos en otras proporciones y no solo en mitades como lo hace la mediana o la media. Los Cuantiles más usados en el análisis estadístico son: cuartiles, deciles y percentiles. Los Cuantiles se usan frecuentemente para describir el comportamiento de una población. Los valores se dan a menudo en porcentaje (Sarma, 2008).

$$Q_i = Li + \left(\frac{i * \frac{n}{4} - F_{i-1}}{f_i} \right) A$$

$$Q_i = Li + \left(\frac{i * \frac{n}{4} - H_{i-1}}{h_i} \right) A$$

2.2.4.2 MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Desviación estándar: La desviación estándar es la raíz cuadrada de la suma de las desviaciones alrededor de la media, elevadas al cuadrado y divididas entre el número de casos menos uno (Dicovski, 2012). En prospección geoquímica la desviación estándar involucra la fórmula para el cálculo del umbral geoquímico (Media geométrica +2 la desviación estándar).

Población

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}$$

Muestra

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Varianza: La varianza es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media. Formalmente se calcula como la suma de los residuos al cuadrado divididos entre el total de observaciones (Sarma, 2008).

Datos agrupados

$$s^2 = \frac{\sum f(x - \bar{x})^2}{\sum f}$$

2.2.4.3 MEDIDAS DE LA FORMA DE DISTRIBUCIÓN

Curtosis: Medida estadística que determina el grado de concentración que presentan los valores de una variable alrededor de la zona central de la distribución de frecuencias. También es conocida como medida de apuntamiento (Sarma, 2008).

Asimetría: La asimetría son indicadores que permiten establecer el grado de simetría (o asimetría) que presenta una distribución de probabilidad de una variable aleatoria sin tener que hacer su representación gráfica. Como eje de simetría consideramos una recta paralela al eje de ordenadas que pasa por la media de la distribución. Si una distribución es simétrica, existe el mismo número de valores a la derecha que a la izquierda de la media, por tanto, el mismo número de desviaciones con signo positivo que con signo negativo. Decimos que hay asimetría positiva (o a la derecha) si la "cola" a la derecha de la media es más larga que la de la izquierda, es decir, si hay valores más separados de la media a la derecha. Diremos que hay asimetría negativa (o a la izquierda) si la "cola" a la izquierda de la media es más larga que la de la derecha, es decir, si hay valores más separados de la media a la izquierda (Sarma, 2008).

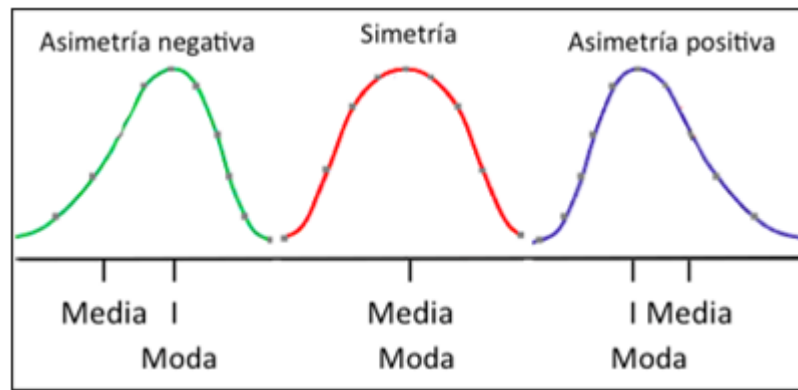


Figura 2.2. Trazos de curvas.
Fuente: Walpole, et al., 2012

2.2.4.4 REPRESENTACIÓN DE DATOS

Histogramas: Representación gráfica de un grupo de datos estadísticos. Estos, agrupados en intervalos numéricos o en función de valores absolutos (Sarma, 2008).

Diagrama de caja (Box plot): Muestra un resumen de una gran cantidad de datos en cinco medidas descriptivas, además de intuir su morfología y simetría. Este tipo de gráficos nos permite identificar valores atípicos y comparar distribuciones (Sarma, 2008).

Diagrama de dispersión: Grado de distanciamiento de un conjunto de valores respecto a su valor medio. el diagrama de dispersión, también conocido como gráfico de dispersión o gráfico de correlación consiste en la representación gráfica de dos variables para un conjunto de datos. En otras palabras, analizamos la relación entre dos variables, conociendo qué tanto se afectan entre sí o qué tan independientes son una de la otra (Sarma, 2008).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Alteración hidrotermal: Es la respuesta mineralógica, textural y química de la roca al cambio en el pH y la temperatura generado por la circulación de fluidos hidrotermales en la roca. El intercambio químico entre fluidos y roca es una

reacción irreversible en la que ciertos componentes son extraídos de y otros son incorporados en la roca de caja (Lestussi, 2018).

Anomalías geoquímicas: Se define como el valor por encima del threshold. Las anomalías relacionadas a mineralización y que pueden por lo tanto ser usados como guía en la prospección son denominadas anomalías significativas y las anomalías que no está relacionadas a mineralización son conocidas como anomalías no significativas (Dávila, 2011).

Batolito: Complejo intrusivo de grandes dimensiones, compuesto generalmente por varias unidades plutónicas con relaciones muy complejas. Los tipos litológicos incluyen desde gabros a leucogranitos, pero los más abundantes son tonalitas, granodioritas o granitos stricto sensu. Puede extenderse por más de 100 000 km², e incluir rocas formadas a lo largo de varias decenas de Millones de años (Dávila, 2011).

Brecha: Fragmentos angulosos de roca producidos por movimiento a lo largo de fallas o actividad ígnea o hidrotermal explosiva (Maksaev, 2001).

Cartografía geoquímica: La naturaleza precisa de este proceso depende sobre el tipo y tamaño de la prospección. Sin embargo, incluye generalmente la preparación de una serie de mapas a escalas convenientemente idénticas de modo que toda la información disponible y relevante de la geoquímica, geología, ocurrencia mineral, geofísica topografía, notas de campo pueda ser elabora, comparada e integrada de forma efectiva (Rivera, 2007).

Dique: Intrusión tabular de roca ígnea que rellena una fractura o discontinuidad y en general corta la estratificación o la foliación. Relieve en forma de cresta que se forma paralelamente a un cauce fluvial, a ambos lados de este, constituido fundamentalmente por arena fina y arcilla (Dávila, 2011).

Elementos guía (pathfinders): Elementos químicos que generalmente aparece como trazas que se encuentra asociado a un tipo de mena específico y que es más fácil de detectar o de determinar que los elementos o minerales de mena y

que, cuando aparece, se convierte en claro indicador del depósito mineral (Rivera, 2007).

Enriquecimiento supérgeno: Muestran una zonificación vertical pronunciada, con dos subdivisiones principales: La zona suprayacente de oxidación y, debajo de la posición anterior del nivel freático, la zona de enriquecimiento. La zona de oxidación se caracteriza cantidades de goethita, compuesta por roca de pared carbonatada, por minerales de Cu oxidados (malaquita o tenorita) (Barry, 1983).

Estabilidad de sulfuros: Yacimientos minerales se tiene tanto mineralización de mena como de ganga, donde la mena está comúnmente formada por sulfuros. Una caracterización de la mineralogía de mena y su química es de gran utilidad para el entendimiento de los procesos hidrotermales que llevan a la formación de un depósito (Townley, 2001).

Leyes muestrales: Cantidad de un elemento químico en una roca se puede usar porcientos (%), ppm (partes por millón) o gramos por tonelada (g/t). (Viladevall, 2008).

Malla de muestreo: Espaciamiento constante entre muestras con el fin de obtenerlas de manera sistemática y ordenada, el diseño de la malla está en función al tipo de yacimiento a prospectar (Viladevall, 2008).

Modelo Geoquímico: Modelo que asocia las anomalías geoquímicas de los elementos de interés económico y los delimita mediante un área con potencial exploratorio (Viladevall, 2008)

Prospección geoquímica: Basa en la detección de pequeños contenidos de elementos químicos en los terrenos (Dávila, 2011).

Tratamiento estadístico geoquímico: Se define a partir del cálculo de la media, la mediana y la desviación estándar de los valores reportados, determinando los límites de los rangos normales y anómalos (background y threshold) de la población (Martínez, 2000).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y POLÍTICA

La investigación está enfocada a exploraciones en el batolito de la costa, en la búsqueda de yacimientos mineros mediante los pathfinders, ubicándose políticamente el Prospecto Campana está localizado en el Norte del Perú, a 28 Km. de la ciudad de Trujillo, centro poblado: Quirihuac, perteneciente al distrito de Laredo, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad. Geológicamente se ubica en el cuadrángulo de Salaverry (17-f) con coordenadas: Sistema UTM – DATUM – WGS - 84 – ZONA – 17S; ubicándose políticamente en:

Cuadro 3.1. Coordenadas de los vértices del área de investigación.

Vértice	Coordenadas	
	Longitud (m.)	Latitud (m.)
1	739800	9105000
2	743000	9105000
3	743000	9103000
4	739800	9103000

3.1.2 ACCESIBILIDAD

El punto de inicio al área de estudio se realizó desde la ciudad de Cajamarca, con orientación ENE-WSW llegando a Pacasmayo, luego cambiando orientación NNW-SSE en la carretera la panamericana hasta llegar a Trujillo. Posteriormente se dirigió al Prospecto Campana, partiendo de Trujillo con

orientación WSW-ENE, llegando a Quirihuac, luego cambiando a orientación NW-SE por una trocha carrozable llegando al Prospecto Campana.

Cuadro 3.2. Accesibilidad al área de investigación.

Ruta (De - a)	Distancia (Km.)	Tiempo (h.)	Tipo de Vía
Cajamarca – Trujillo	298+00	05:39	Asfaltada
Trujillo – Quirihuac	22+00	00:40	Asfaltada
Quirihuac – Prospecto	6+00	00:20	Trocha
Total	326+00	06:39	-



Figura 3.1. Litología y geomorfología - Prospecto Campana.

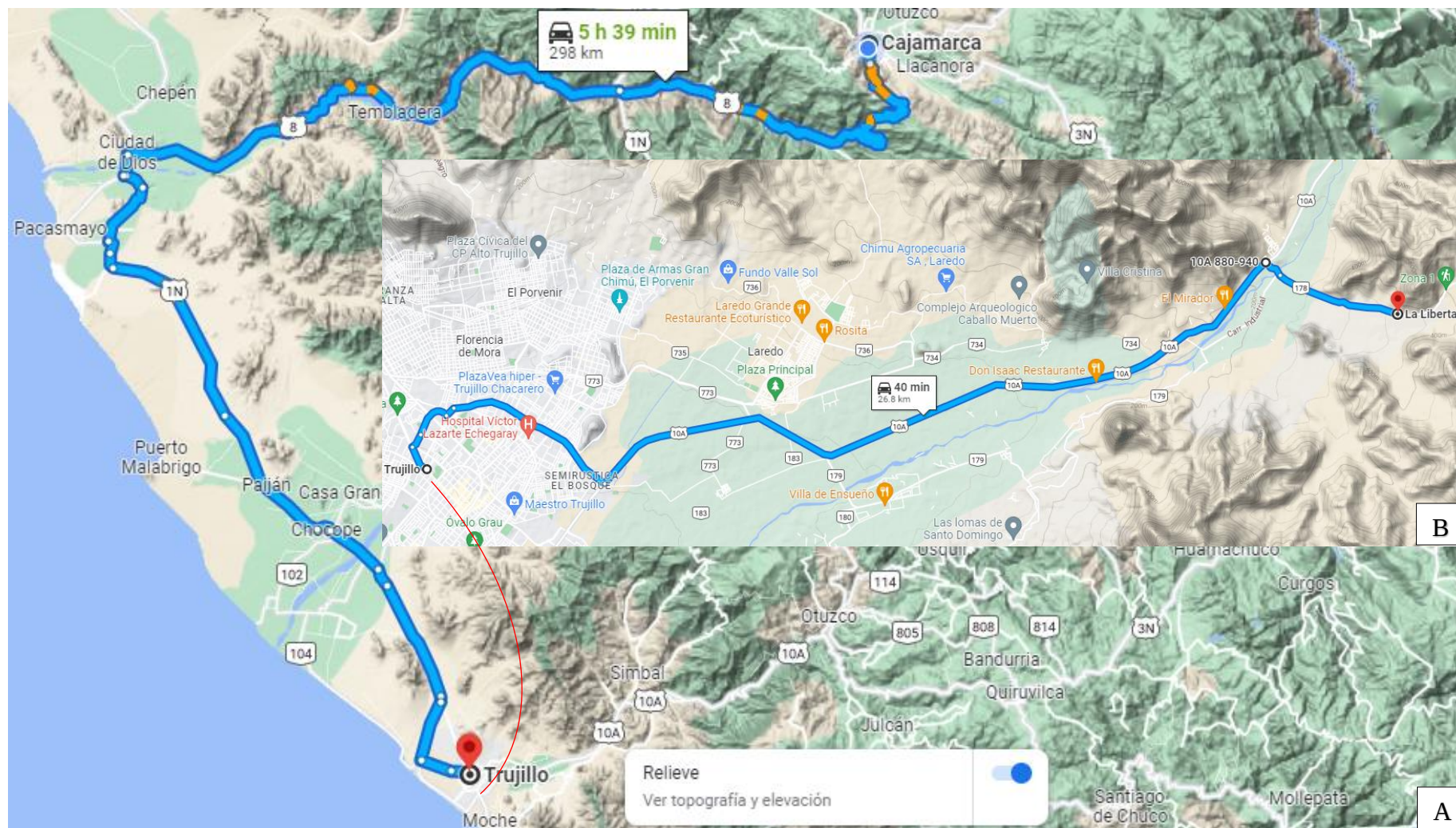


Figura 3.2. A. Ruta de accesibilidad: Cajamarca – Trujillo. B. Acceso al Prospecto Campana.
Fuente: Google Maps, 2022.

3.2 CLIMA Y VEGETACIÓN

El proyecto presenta un clima templado a frío, con temperaturas promedio mínima y máxima que varían durante todo el año; presentando una variación en cuanto a la temperatura mínima que varía de 17 y 26°C en las partes más altas del río Moche, presentando un enfriamiento durante las noches claras y por la consecuencia de la temperatura baja y mientras que sus temperaturas máximas fluctúan entre los 15 y 28°C en el Ladero. Presentando una vegetación según sus cumbres andinas como tenemos: Espinos, Cactus (Céreus coryne), Palta, papaya, Palmera y otras plantas de tallo corto. Estación: Trujillo, tipo: convencional – meteorológica, ubicada: latitud: 8°6′43.29″, longitud: 78°59′6.36″ y altitud: 44 msnm.; departamento: La Libertad, provincia: Trujillo, distrito: Laredo.

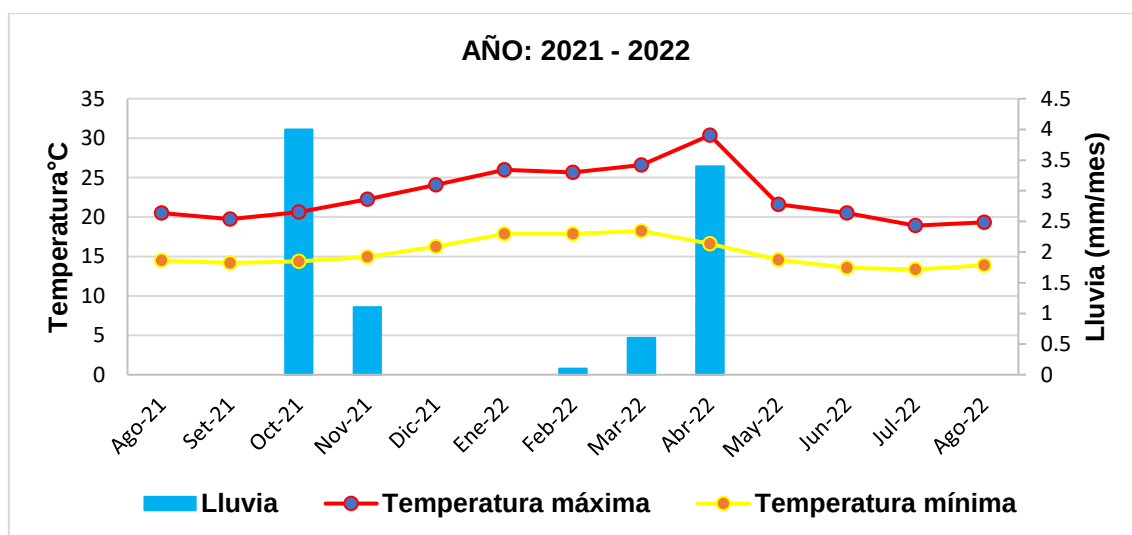


Figura 3.3. Diagrama meteorológico – Trujillo.
Fuente: SENAMHI, 2021-2022.

La precipitación presenta días mojados con frecuencia 3% promedio, distinguiéndose solamente: Lluvia, nieve o combinación de ambos. La duración del día se distingue en día: Corto (junio) y largo (diciembre). Sin embargo, la velocidad del viento se clasifica: Ventosa (12.30 Km/h) y calmado (11 Km/h). Por consiguiente, la humedad en Trujillo varía extremadamente desde: Seco (13°C) cómodo (16°C) húmedo (18°C) bochornoso (21°C) opresivo e insoportable (24°C).

3.3 HIDROLOGÍA

Regionalmente el río Moche, se encuentra ubicado en una zona montañosa dentro de la Cordillera Occidental, con orientación NE-SW. Específicamente el río Moche inicia como naciente a los 3,800 msnm. en el centro poblado de Shorey, con orientación NE-SW, con longitud 17.23 Km., cambiando a orientación SE-NW a los 3,000 msnm., con longitud 14.68 Km., concluyendo con el río Urazco a los 2,600 msnm. en el centro poblado Gruta Virgen de La Puerta, cambiando bruscamente a orientación NE-SW, con una longitud de 32,95 Km. confluyendo a los 350 msnm. con el río Cuesta, formando el mismo río Moche cambiando bruscamente a orientación NE-SW, conformando una longitud de 30 Km., desembocando sus aguas al Océano Pacífico.

Sin embargo, el prospecto Campana está delimitado por la quebrada Los Chinos con naciente 1,180 msnm. (Zona montañosa), con orientación ESE-WNW, posteriormente cambiando de orientación SSE-NNW (440 msnm.), confluyendo con la quebrada León a los 290 msnm., formando la misma quebrada Los Chinos de orientación SSE-NNW, con longitud de 9.10 Km., desembocando con el río Moche a los 200 msnm. en el centro poblado Quirihuas. Hidrográficamente recorre valles: Maduros y seniles, quebradas y ríos (Caracterización litológica), presentando rasgos erosivos de gran incidencia, representados por su forma transversal en U y topomorfometría.

3.4 GEOLÓGICO ESTRUCTURAL REGIONAL

El magmatismo intrusivo del batolito de la costa tiene mayor incidencia al sur de la deflexión de Cajamarca después de la tectónica peruana (Evolución del Ciclo Andino) relacionado con la falla transformante Trujillo (Comportamiento transpresivo sinistral – orientación N110°) caracterizada por rocas ácidas de las series calcoalcalinas a calcoalcalinas ricas en K, granitos y granodioritas. Sin embargo, el volcanismo cenozoico o Grupo Calipuy ha sido dividida en tres dominios estratigráficos: Occidental, central y Oriental. Estos dominios están separados por la prolongación del eje de Tapacocha (Cobbing et al., 1981a,

1981b, 1996) o por el sistema de fallas Huacllan- Churín (Romero & Quispe, 2008), siendo delimitados por dominios:

- 1 Dominio occidental: Caracterizado por pliegues relativamente abiertos o cerrados de orientación NW-SE que afectan principalmente a las formaciones: jurásicas (Grupo Chicama) y cretácicas (Grupo Casma), sin embargo, al Norte, los pliegues pasan a orientación E-W, tanto las rocas como las estructuras están cortadas por las rocas intrusivas de edad eocena, indicando que la deformación estaría relacionada al evento Inca II del Eoceno medio, dentro de este dominio se ha identificado el sistema de fallas Huacllan-Churín, de tipo inverso con convergencia al W, lo que hace repetir las secuencias mesozoicas, así como controla el emplazamiento de los cuerpos intrusivos del Batolito.
- 2 Dominio central: Constituido por secuencias volcánicas del Grupo Calipuy (Eoceno-Mioceno), incluyendo, en el sector este, a la Formación Tablachaca de una edad que varía entre Cretáceo superior y Paleógena, los depósitos Calipuy han sido emitidos de diferentes centros eruptivos, muchos de los cuales estuvieron controlados por algunas fallas que ahora se expresan en superficie mediante algunos lineamientos relacionados con los eventos tectónicos: Inca II (~42 Ma.), Inca III (~28 Ma.), Inca IV (~24 Ma.) y Quechua I (~17 Ma.), con orientación: NW-SE, NE-SW y E-W, y parecen controlar el emplazamiento de los centros eruptivos, cuerpos intrusivos y yacimientos minerales.
- 3 Dominio oriental: Caracterizada por pliegues, con orientación: NNW-SSE hacia el Este y Norte ESE-WNW, conformando parte de la deflexión Cajamarca.

Por consiguiente, la investigación está compuesta por rocas volcano-sedimentarias del Jurásico Superior al Cretácico Inferior, comprendiendo los Grupo: Chicama y Casma; y cuerpos intrusivos (Granito, granitoides, dioritas, monzogranito, porfidomonzogranito y tonalita), con edad Albiano-Paleoceno del Batolito de la Costa. Sin embargo, la Cordillera Occidental se encuentra sobre

rocas mayormente volcánicas del Cretácico e intrusivos del Batolito de la Costa, controlados por fallas NW-SE con altitud que varía entre: 1,000 msnm. y 3,000 msnm., relacionados con tres eventos: Depósitos epitermales (Au-Ag), Pórfidos de Cu-Mo y Au y yacimientos cordilleranos de metales base (Navarro et al., 2010).

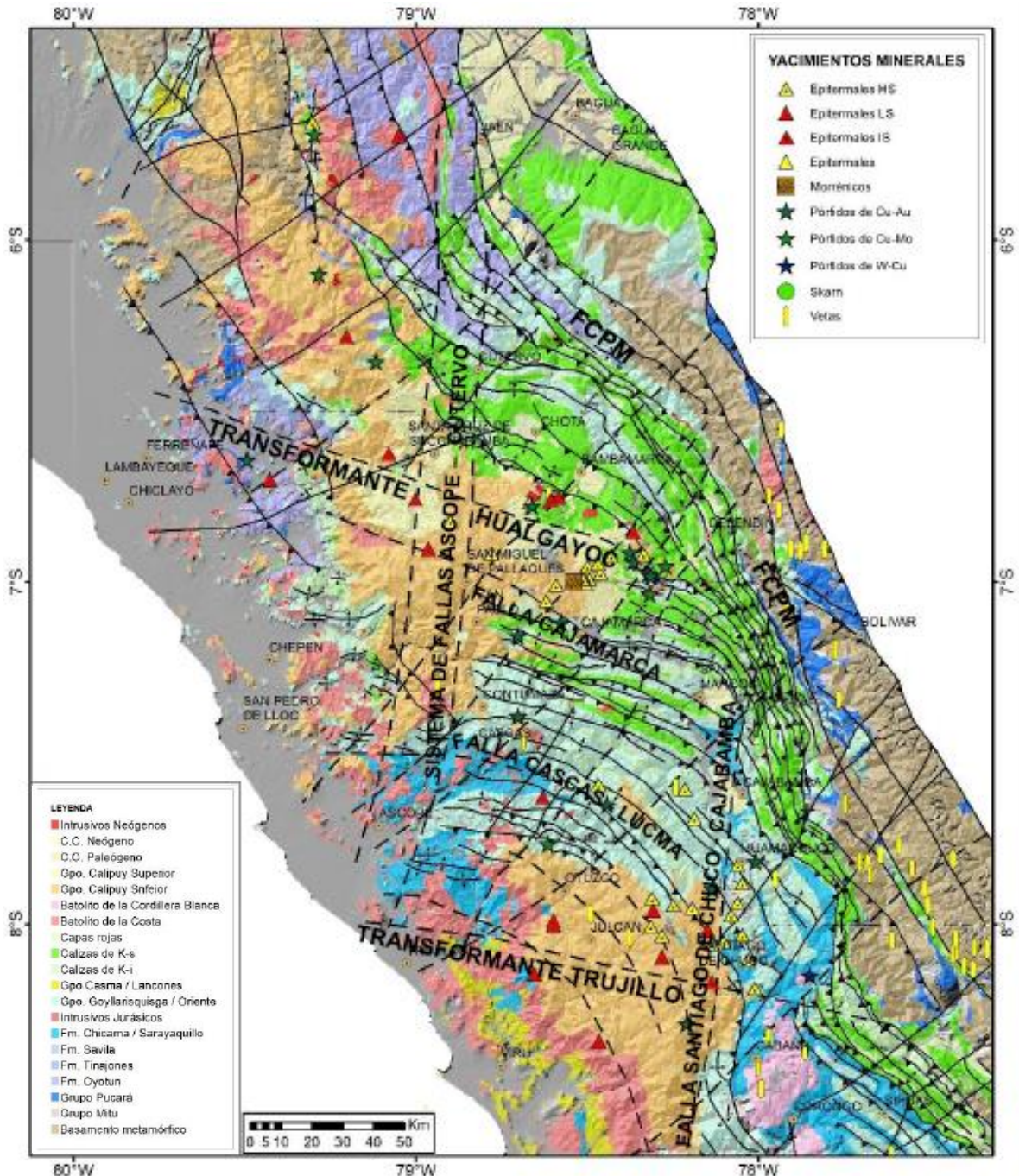


Figura 3.4. Estructuras principales de la Deflexión Cajamarca.
Fuente: Bazán, 2016.

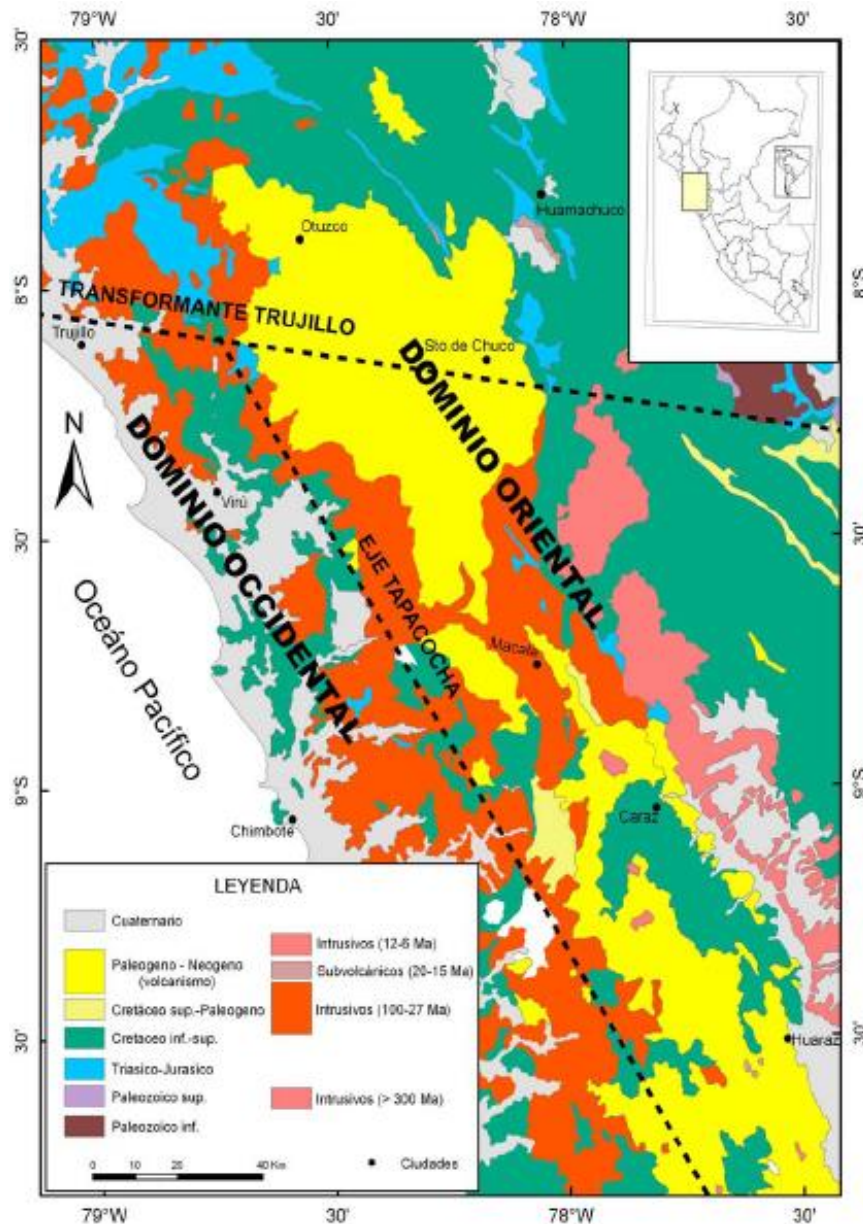


Figura 3.5. Dominios estructurales del sur del Perú.
Fuente: Navarro et al., 2010.

3.5 GEOLOGÍA LOCAL

El batolito de la costa está conformado por rocas del Cenozoico de la serie Eoceno, asociadas a la secuencia volcánico Alto Guitarras del Paleógeno desde hace 66 Ma. hasta la actualidad, conformado por rocas: Intrusivas (Granito, granodiorita, diorita, aplita), volcánicas (Riolita y andesita) y brechas; distribuidos como diques a la estructura mineralizante, cubiertos por Depósitos: Fluviales, Aluviales, Proluviales recientes, Coluvial-deluvial y Eluvial-deluvial.

Abarcando desde la edad: Daniano – Versiliano. constituyendo afloramientos plutónicos y stocks de orientación NW-SE.

3.5.1 CENOZOICO – PALEÓGENO

- **GRANITO**

Los afloramientos de granito muestran procesos de exfoliación, adoptando por la meteorización: física y química, superficies redondeadas a subredondeadas de coloraciones grises, sin embargo, su coloración en fractura fresca es de coloración rojiza, leucócrata, estructura maciza y textura fanerítica a granular. Fracturándola presenta minerales: Qz, Fsp y micas. El Qz y la ortosa presenta forma: Anhedral y euhedral, siendo proporción subhedral mínima.



Figura 3.6. A. Granito de coloración rosado, ubicado en la ladera de la quebrada de atribución fluvial. B. Muestra de granito de textura porfírica.

- **GRANODIORITA**

Son rocas plutónicas de color gris blanquecino de textura fanerítica formándose en un ambiente plutónico de enfriamiento lento, cristalográficamente compuesta por: Plg, ortosa, Qz y Bt; de grano medio a grueso, conteniendo alto contenido de plagioclasa rica en sodio (Na) y calcio (Ca), con cristales desordenados. Los cartografiados muestran que está expuesta a meteorización, afectando a la roca formando disyunción catafilar en su superficie, desprendiéndose losas concéntricas

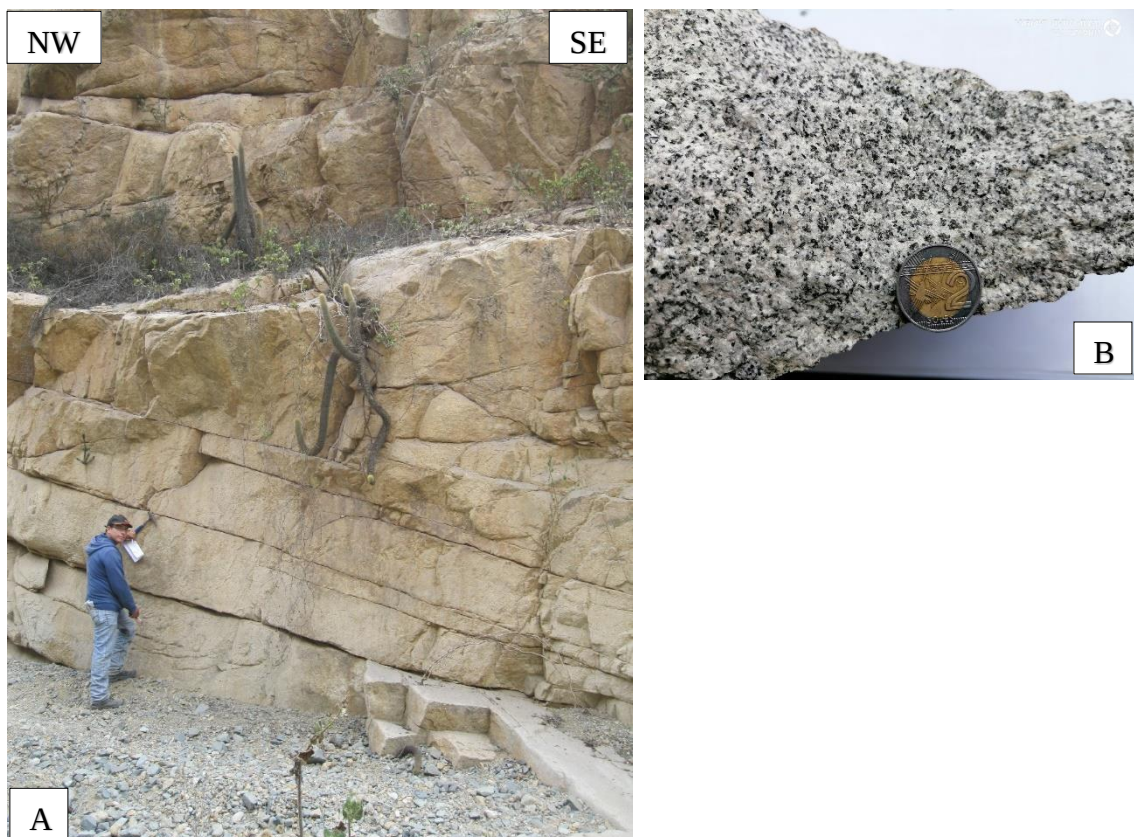


Figura 3.7. Cuerpo intrusivo granodiorítico de color blanquecino, con seudoestratificación subhorizontal. B. Granodiorita de textura granular o porfirítica con contenidos de: Cuarzo, hornblendas, biotitas y plagioclasas; con matriz microcristalina (aplítica).

- **DIORITA**

Se presentan como diques de espesor: 0.80 a 3.10 m., que cortan a las rocas: Granito y granodiorita, de coloraciones gris oscuro hasta ligeramente verdoso, por alto contenido de minerales máficos, de grano medio a fino, textura

equigranular y ocasionalmente afanítica. Los constituyentes mineralógicos lo conforman: Plagioclasa sódica, biotita, anfíbol, piroxeno y cuarzo; y elementos accesorios: Hb, Mt; Qz unas veces intersticial. Sin embargo, cuando el magma diorítico alcanza la superficie forma una roca efusiva llamada andesita evidenciándose también como diques en la zona de estudio de textura afanítica a fanerítica generalmente de color verde a gris oscuro, compuesta de minerales: Qz, plg, bt y hb.

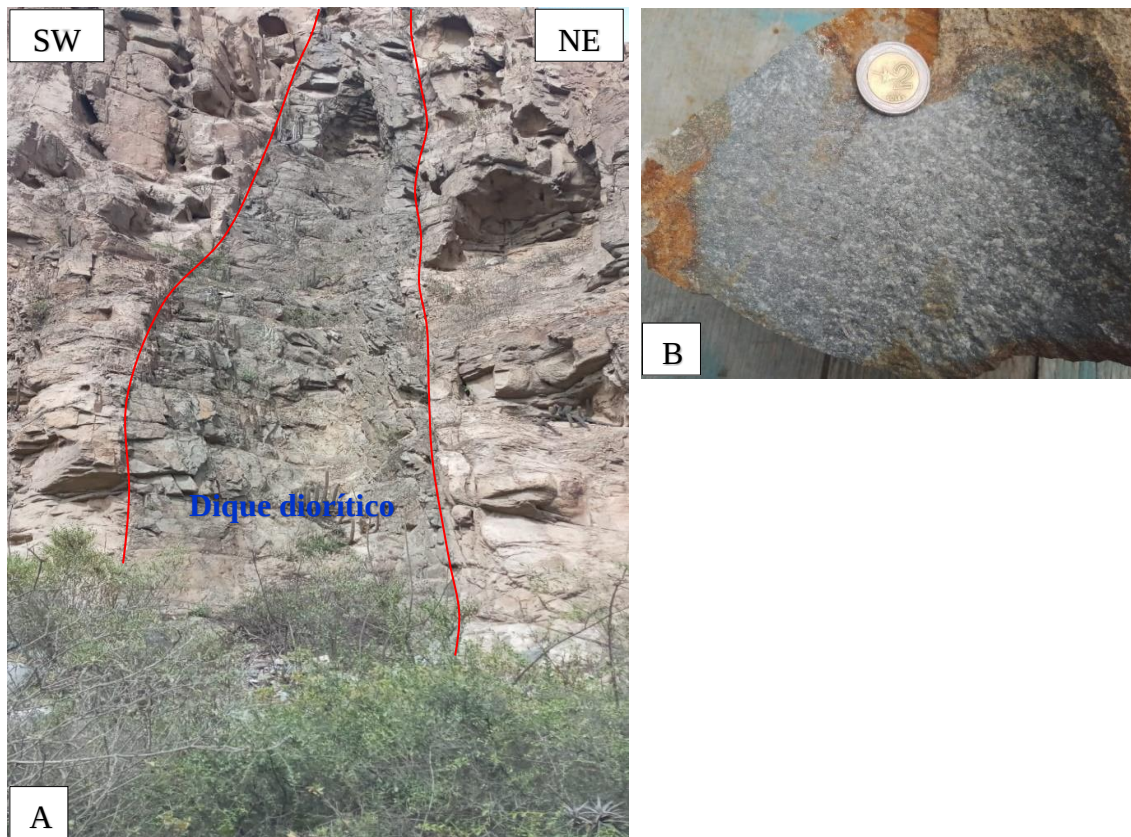


Figura 3.8. A. Dique diorítico de espesor: 2.80 a 3.20 m., con Az = 48 y Bz = 75°SE, cortando verticalmente a granito. B. Muestra de diorita de color verdusco grano grueso, de textura equiangular con alto contenido de plagioclasas.

- **RIOLITA**

Se muestran cortando longitudinalmente y transversalmente, a los cuerpos intrusivos formando diques de grosor: 0.50 a 1.00 m., con textura afanítica de grano fino a vidrio volcánico efusivo, de fractura concoidea, presentando bandeamientos horizontales de minerales máficos. Compuesto por

fenocristales: Cuarzo, feldespato potásico, oligoclasa, biotita anfíbol y piroxenos. Siendo el equivalente al granito.

- **BRECHA**

Material brechoso de diámetro en superficie: 500 a 800 m. compuesto por clastos xenolitos de granito subredondeados a redondeados: 0.25 a 0.60 m., englobado por matriz cementante diorítica, con matriz soportada, formando un diatrema por la magnitud de emplazamiento y afectación en el área de estudio, definiéndolo como una de las principales estructuras de mineralización geológicamente. Su origen de formación, se debió al ascenso del cuerpo intrusivo de composición granítica que a su paso fragmentó y englobó cuerpos intrusivos de composición microdiorítica pre-existentes que originaron la brecha hidrotermal mineralizada.

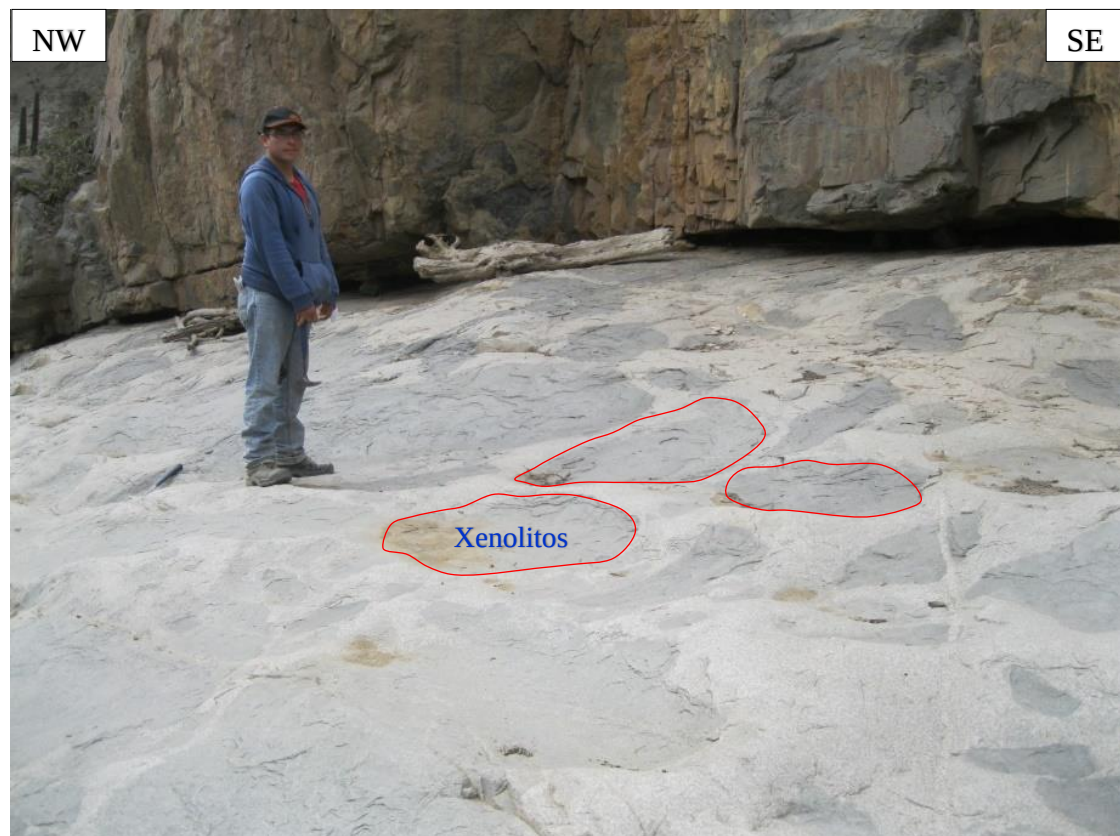


Figura 3.9. Diatrema intrusivo compuesto de material brechoso subredondeados a redondeados: 0.25 a 0.60 m., englobado por matriz cementante diorítica.

3.5.1 CENOZOICO – CUATERNARIO

- **DEPÓSITO FLUVIAL**

Se encuentran acumulados en el cauce (Dominio hidráulico con anchos: 65 a 100 m.) de la quebrada Los Chinos, presentado delimitación con la franja marginal del cauce, compuesto por materiales limpios para la construcción por su constante flujo de agua, constituido por: Bolones, gravas, arenas y limos inconsolidados, evidenciándose la imbricación en sus clastos redondeados a subredondeados por el desgaste provocado por la erosión de carga de la quebrada en su estructura de sedimentación: masiva, subhorizontal y cruzada, sobre todo en la secciones de erosión por socavamiento del cauce, por agentes de corrientes de agua y gravedad de alta energía erosión y sedimentación.



Figura 3.10. Depósito Fluvial de coloración grisácea de orientación E-W, de ancho 30 a 50 m., delimitado por Depósito Aluvial de coloración rojiza por contenidos de limos y arcillas.

- **DEPÓSITO ALUVIAL**

Se ubican en la parte media e inferior de las quebradas y tributarios, delimitando la faja marginal, siendo conformados por: Gravas arenosas con bolones y bloques de cantos subangulosos a angulosos, con tamaño 0.20 a 0.80 m. color gris claro a beige y compacidad media, englobados por materiales: arcillosos a limosos. El espesor de estos materiales se estima de 3 m. a 5 m. Por

sus características de granulometría, permeabilidad y ubicación constituyen importantes conductos para el flujo del agua subterránea.

- **DEPÓSITO PROLUVIALES RECIENTES**

Están caracterizados por estar compuestos por materiales finos detríticos acumulados en las partes: Altas y medias, de la zona de estudio siendo materiales muy inestables por estar en contacto con las precipitaciones pluviales saturándose y perdiendo su estabilidad, formando huacos deposicionales como conos o abanicos aluviales en la quebrada Los Chinos. Geomorfológicamente formando terrazas aluviales compuestos por materiales heterométricos mal clasificados conformando pastas por lo general subangulosa a angulosa englobado por matrices finas permeables medianamente consolidadas susceptibles a cambios por: Erosión fluvial, derrumbes, deslizamiento y huacos.

- **DEPÓSITO ELUVIAL-DELUVIAL**

Son producidos por alteraciones fisicoquímicas de la roca formando acumulaciones insitu, litológicamente están compuestos por materiales gravo-arenosos anguloso con matriz englobante limoarcillosos, de matriz rígida, con cementación moderada, con compacidad muy densa, de origen residual frecuentemente formando capas potentes. Presentando coloraciones: Amarillentas, rojizas a blanquecinas, constituyendo laderas inestables, formando deslizamientos circulares de pie.

- **DEPÓSITO COLUVIAL-DELUVIAL**

Se encuentran ubicados en laderas y piedemonte, de origen gravitacional caracterizándose por contener en su composición bloques angulosos de roca cuarzosa, con diámetro promedio: 0.10 m. a 0.35 m. con gravas angulosas, con matriz englobante de: Arena y limo, distribuidos de forma caótica, de coloraciones: Rojizas, anaranjadas y amarillentas, originándose por: Alteración, fracturamiento, desintegración insitu y acción de la gravedad; del macizo rocoso acumulándose en las partes bajas como conos de escombros o

detritos, por su gran proporción de fragmentos de rocas, en relación con los finos. Por su depositación generan flujos canalizados y movimientos complejos.

3.6 GEOMORFOLOGÍA

Las geoformas batolito de la costa están relacionadas con el relieve erosivo mediante meteorización: Física (Energía) y química (Materia), de la roca, distribuyéndose en función: Granulométrica, textura, litología y ambiente de depositación, mostrando denudación por: Madurez y senilidad, por sus divisorias de valles y cuenca de drenaje, con orientación E-W de drenaje principal (Quebrada El Chino), caracterizándose por unidades: Penillanura, terrazas, piedemonte aluvio torrencial y montañas de roca intrusiva; disectado por valles transversales y quebradas secas.



Figura 3.11. Erosión eólica, formando geoformas de alveolos en granito, por meteorización física de impacto de partículas finas, formando oquedades pulidas a redondeadas de 0.50 a 1.00 m. en la superficie de la roca.

3.6.1 PENILLANURA

Se encuentra ubicado en la parte baja del área de investigación, asociado a directrices de: Suavización y aplanamiento, evidenciándose por ser valles amplios y suaves, compuesto por Depósitos Cuaternarios de composición

gravosa arenosa, con perfiles suaves y ondulados. Sin embargo, son zonas acumulativas de Depósitos: Fluviales a aluviales, por ser materiales usados para la construcción por su composición litológica.

3.6.2 TERRAZAS

Constituyen plataformas sedimentarias del valle fluvial por los propios sedimentos de la quebrada depositados a los lados del cauce en lugares donde la pendiente se reduce, formando zonas acumulativas cuaternarias. Genéticamente son producto de varios procesos relacionados con: Ríos y quebradas, definidos por su matriz heterogénea e irregular sin estratificación definida, observándose como superficies redondeadas ubicadas en el cauce y laderas, de la quebrada Los Chinos.



Figura 3.12. Terrazas presentan zona de acumulación de material gravoso a arcilloso, compuestas por depósitos cuaternarios, ubicadas en las partes bajas como: planicies y lomadas redondeadas; generadas por: Transporte y acumulación de sedimentos, fluviales o eólicos.

3.6.3 PIEDEMONTE ALUVIAL

Está delimitado por: Laderas y parte montañosa rocosa, ubicado en el pie de la ladera, geológicamente son zonas de acumulación cuaternaria

compuesto por materiales heterogéneos como: Guijarros, bolones, gravas, arenas, limos y arcillas, siendo depósitos inconsolidado. Por consiguiente, la diagénesis y litificación dan lugar a materiales conglomerados, distribuidos irregularmente por los conos de aluviones que son transportados desde la parte superior de la zona de estudio, como: Erosión remontante de diferente magnitud, movimientos de masa y flujos de escombros de distinta gradación.



Figura 3.13. Vista panorámica de las unidades geomorfológicas de la zona de investigación del Prospecto Campana.

3.6.4 MONTAÑAS DE ROCAS INTRUSIVA

Área de mayor envergadura, siendo materiales rocosos de calidad: Media a buena, resistentes a agentes erosivos conformados por rocas intrusivas formando: Laderas y escarpas y, generalmente ubicados en las partes medias a altas, con topografía abrupta o empinada con pendiente mayores a 45°, geodinámicamente se originan caídas de rocas, distribuyéndose en su superficie, mediante ahuellamientos y bloques de roca.

Cuadro 3.3. Geomorfológico – Prospecto campana.

Unidades geomorfológicas	Área (Ha.)	Porcentaje (%)
Penillanura	55.208	8.626
Piedemonte aluvial	72.869	11.386
Montañas de roca intrusiva	511.923	79.988
Total	640.000	100.00

Las superficies de las unidades geomorfológicas: Planicie, lomada, laderas, escarpa y montaña, son el resultado de los procesos endógenos (tectónicos), exógenos (erosivos) y geodinámicos que se han desarrollado y vienen desarrollándose en la zona de estudio a lo largo de millones de años. La geomorfología local está conformada por los procesos geotectónicos de las rocas: sedimentarias (Jurásico: Superior y Cretáceo: Inferior) y volcánicas extrusivas (Neógeno: Eoceno) por procesos exógenos hasta la actualidad, siendo claramente controlada por la dureza de las rocas, por ejemplo, las geoformas que exhiben los afloramientos de rocas sedimentarias son: abruptas y de mayor altitud, mientras que los Depósitos Cuaternarios muestran: formas y pendientes suaves; generados por los procesos morfogenéticos que definieron las morfoestructuras de la zona de investigación.

Las planicies (0° a 7°) y lomadas (7° a 14°), están directamente relacionadas con los procesos de erosión y acorde de la génesis, edad, geometría y tipo relieve; definiendo el modelamiento actual de la superficie como las terrazas aluviales, conformadas por Depósitos: Fluvial, Aluvial, Proluvial reciente, Eluvial-deluvial y Coluvial-deluvial, conformando abanicos aluviales, por la gran acumulación de depósitos cuaternarios. Sin embargo, las laderas presentan pendientes de 14° a 25° , conformando zona de acumulación de bloques de roca de diámetro 1.00 m^3 . a 1.50 m^3 ., con matriz englobante: Grava, limosa y arcillosa, ubicándose en el perímetro de la zona de estudio, rodeada por un anfiteatro de geomorfológico entre las altitudes: 700 a 800 msnm. Por lo contrario, las escarpas están conformadas por pendientes: 25° a 50° , ubicadas en las partes altas de la zona de estudio, con orientación: E y N, constituidas por rocas competentes: Granito y Granodiorita, generalmente formando zonas denudadas, propensas a erosiones y meteorización. Las montañas presentan pendientes 50° a 90° , conformadas por zonas rocosas de buena calidad perteneciente al volcánico alto guitarras por: Granodiorita, granito y Dorita. Las unidades descritas muestran los cambios morfotopométricos de la superficie de la zona de estudio, delimitando litologías rocosas a cuaternarias.

Cuadro 3.4. Unidades morfogénicas – Prospecto campana.

Unidades geomorfológicas	Área (Ha.)	Porcentaje (%)
Planicie	153.31	23.95
Lomada	144.17	22.53
Ladera	197.43	30.85
Escarpa	143.38	22.40
Montaña	1.71	00.27
Total	640.000	100.00

3.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las geoestructuras del Prospecto Campana estuvieron relacionadas con movimientos tectónicos de la corteza terrestre, plasmándose en tres zonas de dominio estructural: WNW-ESE, NNE-SSW y NE-SW; caracterizándose por haber generado desplazamiento mediante fallas: Dextrales y sinestrales, mediante los emplazamientos de diques de composición: Diorítica, riolítica y andesítica, al mismo tiempo por la confluencia de fallas, se formó una zona inestable 500 a 800 m. de diámetro, formando un diatrema de cono eruptivo intrusivo, por la erupción violenta siendo rellenado por materiales fragmentado depositado en los laterales y superficie, posteriormente aprovechados por el ascenso de fluidos hidrotermales, rellenando y englobando matrices cementantes de dioríticos compactos y resistentes.

Distinguiéndose las geoestructuras por: Vetas (Cuarzo, magnetita, hematita, piritita y calcopirita, de espesor: 0.20 a 0.80 m, con orientación (Az/Bz): 235°/80°, 235°/45° y 45°/85°) y venillas (Epidota de orientación 285°/80° con espesor 1 a 3 cm. de potencia y magnetita, emplazadas por esfuerzos tensionales y dextrales con orientación 230°/75° y 2 cm. de potencia). Geocronológicamente esta mineralización del magmatismo se originaron en el Paleógeno Fase Inca I de orientación NW-SE de esfuerzos compresivos, mostrándose el siguiente cuadro:

Cuadro 3.5. Cronología de eventos geoestructurales tectónicos de los sistemas de fallas, zona de Pataz.

Fase tectónica	Edad (Ma.)	Sistema	Serie	Fase	Orientación	Cinemática	Sistema de falla	Evento	
Cuaternario	4 - 2	Neógeno	Plioceno	Tensional	N130°	Normal	-	-	
Quechua 3	6 - 4	Neógeno	Mioceno - plioceno	Cizallante	E-W	Dextral	Dextral E-W	VI	Tectonismo
Quechua 2	10 - 6	Neógeno	Mioceno	Cizallante	N-S	Sinestral	Sinestral N-S	V	Tectonismo
	14 - 10	Neógeno	Mioceno	Tensional	E-W	Normal	Normal NNW	IV	Tectonismo, magmatismo y mineralización
Quechua 1	21 - 14	Neógeno	Mioceno	Cizallante	NW-SE	Sinextral	Sinextral NNW	III	Tectonismo
Inca 4	25 - 22	Paleogeno - Neogeno	Oligoceno - mioceno	Cizallante	NW-SE	Dextral	Dextral ENE	II	Tectonismo, magmatismo y mineralización
Inca 3	40 - 25	Paleógeno	Eoceno - Oligoceno						
Inca 2	55 - 40	Paleógeno	Paleoceno - eoceno						
Inca 1	85 - 55	Cretáceo - paleógeno	Senoniense - paleoceno	Compresiva	N-S	Inversa	Inversa E-W	I	Tectonismo que origina sobreescurrecimientos y magmatismo pre-mineral

Fuente: Sánchez, 2010.

Las Figuras: 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19; son geoestructuras geológicas de emplazamiento mineralizante: Vertical a subvertical de diferente espesor: 0.20 a 1.00 m., generados por movimientos tectónicos, formándose entre ambos bloques evidenciándose en la apertura rellenada por: Milonita o brecha de falla, lográndose observar en algunos casos mineralización en bandeamientos horizontales por oxidaciones de coloraciones: Amarillentas, anaranjadas, rojizas, etc. relacionadas con material fino o harina de falla (Gouge) por el fricción de ambas cajas rocosas.

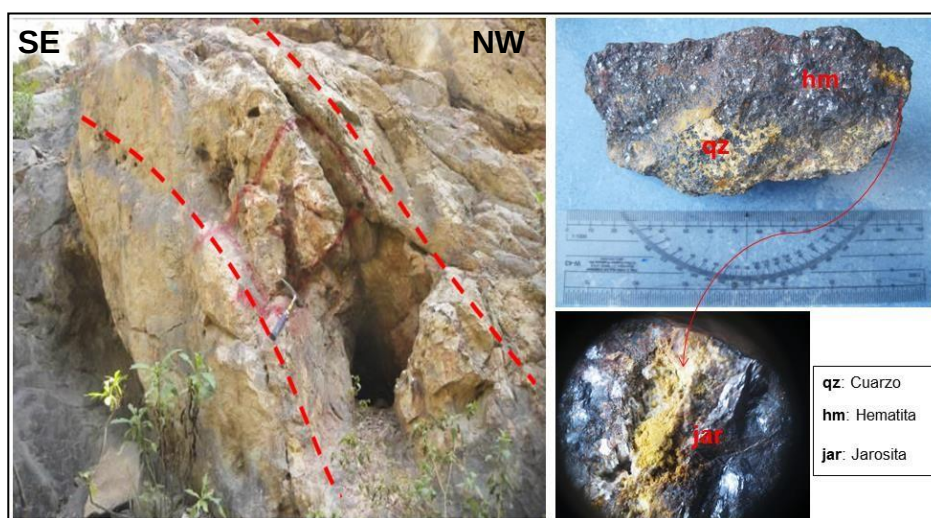


Figura 3.14. Veta de cuarzo y hematita, con orientación Az = 235° y Bz = 45°NW, con espesor 0.80 a 0.90 m. con puntos de Jarosita y Limolita como patina.

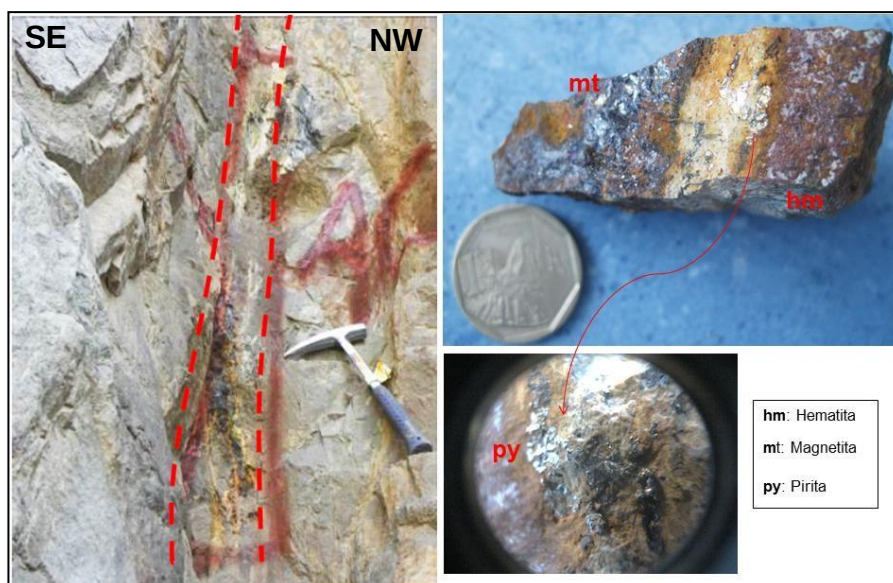


Figura 3.15. Veta de magnetita, pirita, calcopirita, limolita con brechamiento de cuarzo, con orientación Az = 240° y Bz = 85°NW, con espesor 0.20 a 0.40 m.

Por lo contrario, mediante los cartografiados geológicos subterráneos en algunas labores abandonadas se logró observar a profundidades: 10 o 30 m. mineralización de sulfuros: Pirita, calcopirita y magnetita; acompañados de cuarzo y epidota. Mediante los muestreos (Canal, chip, selectivo y muestra de mano) definen la zona de aprovechamiento mineralizante en forma de vetas o geoestructuras que fueron aprovechadas desde el cuerpo intrusivo, generando una serie de zonas mineralizadas aprovechables.

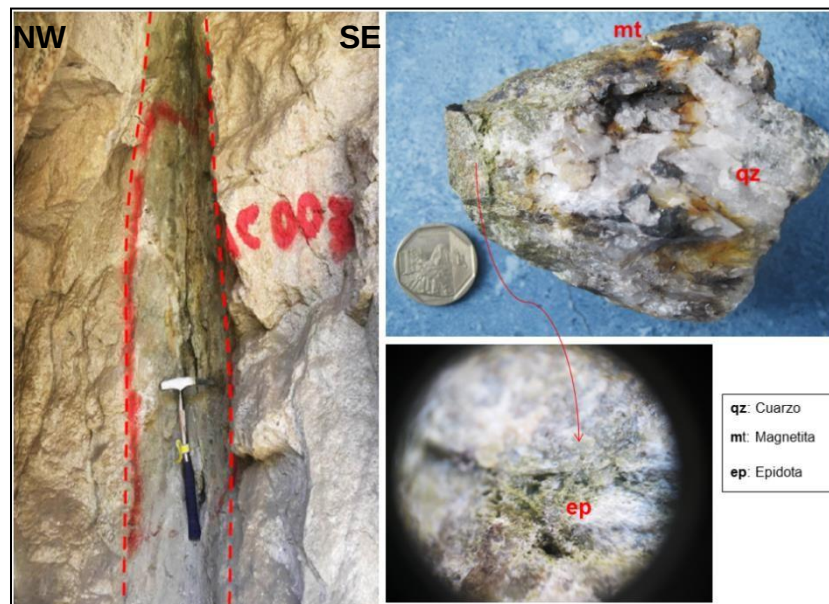


Figura 3.16. Veta de cuarzo, epidota, magnetita, hematita y limolita, con orientación Az = 45° y Bz = 84°SE, con espesor 0.30 a 0.40 m.

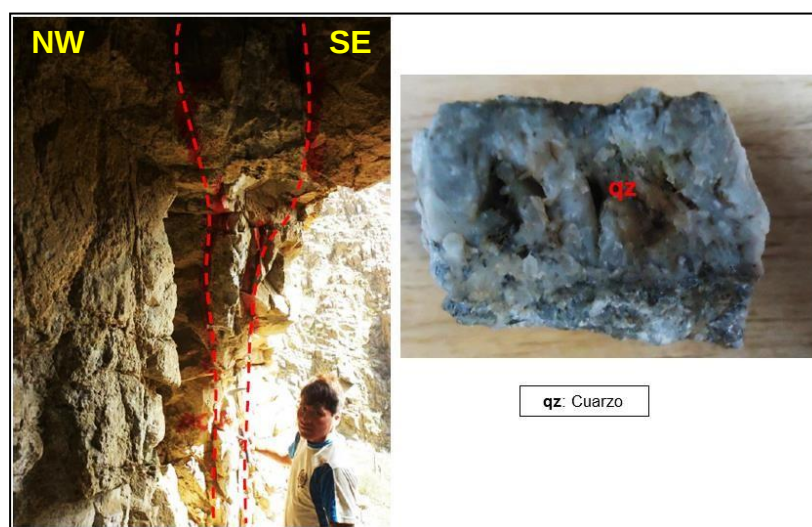


Figura 3.17. Veta de cuarzo prismático con magnetita, orientación Az = 45° y Bz = 86°SE, con espesor 0.40 a 0.50 m.



Figura 3.18. Veta de oligisto micáceo con magnetita y limolita, orientación Az = 238° y Bz = 78°NW, con espesor 0.55 a 0.70 m. emplazado en roca caja de granito.



Figura 3.19. Veta de magnetita con alteraciones de hematita, con orientación Az = 255° y Bz = 78°NW, con espesor 2 a 5 cm. emplazado en roca caja de granito, englobando xenolitos diorita.

3.8 GEOQUÍMICA

El análisis geoquímico superficial identificó las anomalías y/o patrones geoquímicos de los distintos elementos guías asociados a los depósitos

económicos. Brindando explicaciones lógicas en la ubicación espacial de los yacimientos minerales, ayudando a explicar la movilidad de los elementos, siendo un total de 31 muestras extraídas y su correspondiente análisis químico generó un tratamiento estadístico para obtener sus propios rangos geoquímicos y plasmarlos en planos de isovalores.

Cuadro 3.6. Correlación de elementos – Pearson.

Elementos	Au	Ag	Al	As	Be	Bi	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	S	Sb	Sn	V	W	Zn
Au	1.0000																			
Ag	0.6894	1.0000																		
Al	-0.4572	-0.3188	1.0000																	
As	0.0184	0.0757	0.0601	1.0000																
Be	-0.2543	-0.0911	0.3123	-0.0549	1.0000															
Bi	-0.0372	0.1186	-0.3086	-0.0048	0.5340	1.0000														
Co	-0.0459	-0.1866	-0.1028	-0.1700	-0.1032	0.0686	1.0000													
Cr	0.3738	0.3551	-0.5360	-0.0945	-0.4526	-0.4015	-0.1306	1.0000												
Cu	-0.0286	-0.0295	-0.1114	0.0167	0.7160	0.7292	0.1032	-0.3340	1.0000											
Fe	0.0923	0.1099	-0.4865	-0.0503	0.0938	0.6309	0.5794	-0.1084	0.4327	1.0000										
Mn	-0.2475	-0.0992	0.2460	-0.2395	0.3944	0.3704	0.0430	-0.3740	0.2967	0.3107	1.0000									
Mo	0.1535	0.2253	-0.4579	0.1326	-0.2196	0.3426	0.5594	-0.0793	-0.0214	0.5683	-0.1908	1.0000								
Ni	-0.0774	-0.2064	-0.0434	-0.3709	-0.3028	-0.1335	0.3541	0.1686	-0.1383	0.2264	0.4481	-0.0250	1.0000							
Pb	0.7554	0.7881	-0.4463	-0.0117	-0.1181	0.1772	-0.0626	0.3723	0.1100	0.2134	-0.1231	0.2285	-0.1234	1.0000						
S	0.0046	0.0221	-0.1470	-0.0017	-0.2740	-0.1219	0.8826	0.0906	-0.1705	0.4029	-0.1702	0.6757	0.1879	0.0717	1.0000					
Sb	-0.0651	-0.1839	-0.2497	-0.0856	0.2173	0.6085	0.0862	-0.5110	0.4966	0.3801	0.1920	0.3115	-0.0882	0.0088	-0.1238	1.0000				
Sn	-0.0633	0.6411	-0.0453	0.1024	0.1419	0.2988	-0.1590	0.0582	-0.0276	0.1756	0.1049	0.2821	-0.2312	0.3353	0.0840	-0.0856	1.0000			
V	-0.1887	-0.2415	0.3898	-0.3322	0.2207	0.2639	0.2683	-0.5019	0.2855	0.3397	0.6226	-0.2216	0.4363	-0.2291	-0.1010	0.2531	-0.1679	1.0000		
W	-0.0950	-0.0988	-0.1569	-0.1540	0.2541	0.4405	0.5263	-0.3177	0.5900	0.6473	0.4083	0.1748	0.2299	0.0257	0.2792	0.5281	-0.0311	0.4789	1.0000	
Zn	0.1026	0.0091	-0.2348	-0.1223	0.5852	0.7722	0.1460	-0.1870	0.7891	0.4720	0.2614	0.0726	-0.0242	0.1834	-0.1079	0.2983	-0.0464	0.2643	0.2461	1.0000

3.8.1 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON

El sistema de análisis de correlación presenta una matriz de correlación de Pearson para 31 muestras analizadas, podemos decir que existe una muy buena correlación de elementos que según la clasificación de Goldschmidt pertenece al grupo de los Calcófilos, es decir tienen alta afinidad con líquidos sulfurosos. Así mismo existe buena correlación entre elementos que pertenecen al grupo: Calcófilos y siderófilos, por lo que se deduce que en el sistema también habrá afinidad a líquidos metálicos.

Cuadro 3.7. Rangos de valores experimentales de correlación de elementos.

Grado de correlación	Correlación
0.70 ~ 1.00	Muy buena
0.50 ~ 0.69	Buena
0.30 ~ 0.49	Moderada
0.01 ~ 0.29	Baja

Fuente: Trujillo y Espinoza, 2003.

Muy buena correlación : Au - Pb - Ag - Cu - Be - Bi - Zn

Buena correlación : Au - Ag - Cu - Sn - Be - Bi - Fe - Co - Mo - Sb - Zn –
W - Mn - S - Sb

Moderada : Au - Ag - Al - Be - Bi - Co - Cr - Cu - Fe - Mn - Mo –
Ni - V

Siderófilo: Elemento químico asociado con el hierro, debido a la afinidad de este elemento con otros elementos en estado líquido (Rivera, 2007).

Calcófilo: Elemento químico que se encuentra frecuentemente en asociación con el azufre, debido a una mayor afinidad por este elemento que por el oxígeno (Rivera, 2007).

3.8.2 ELEMENTOS INDICADORES (PATHFINDERS)

Definen como elementos relativamente móviles que se hallan asociados a los elementos que se pretenden explorar. Por sus características son más detectables bien porque pueden dar aureolas, o bien porque son más fácil determinación mediante métodos y técnicas analíticas precisas. Los indicadores, se utilizan principalmente para detectar anomalías ocultas tanto en ambientes primarios como secundarios.

Cuadro 3.8. Elementos pathfinder usados para detectar mineralización.

Elemento pathfinder	Tipo de depósito
As	Au, Ag; veta - tipo
As	Au - Ag - Cu - Co - Zn; minerales de sulfuros complejos
B	W - Be - Zn - Mo - Cu - Pb; skarns
B	Sn - W - Be; veta o greisens
Hg	Pb - Zn - Ag; yacimientos de sulfuros complejos
Mo	W - Sn; yacimientos metamórficos de contacto
Mn	Ba - Ag; vetas de yacimientos; pórfidos de cobre
Se, V, Mo	U; Tipo arenisca
Cu, Bi, As, Co, Mo, Ni	U; veta - tipo
Mo, Te, Au	Pórfidos de cobre
Pd, Cr, Cu, Ni, Co	Platino en rocas ultramáficas
Zn	Ag - Pb - Zn; yacimiento de sulfuro en general
Zn, Cu	Cu - Pb - Zn; yacimiento de sulfuro en general
Rn	U; Todo tipo de ocurrencias
SO ₄	Todo tipo de yacimiento de sulfuro

Nota: En la mayoría de los casos, hay varios tipos de material (Ejemplo: Rocas, suelos, sedimentos, agua y vegetación) a ser muestreados. En algunos casos, como el Rn solo son realizados en: agua y gas. El caso de sulfato es practicado en agua.

3.8.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- **ORO (Au)**

Los 31 isovalores que se presentan en el plano de distribución geoquímica del Oro, 29 muestran valores relativamente bajos inferiores a 0.105 ppm. Sin embargo 1 valor se encuentra entre el rango de 0.105 a 0.155 ppm y solo una muestra es mayor a 0.155 ppm, siendo la

muestra AC-017, arrojó 0.231 ppm de Oro. La muestra AC-017, muestreada superficialmente en una veta subvertical presenta ensamble mineralógico: Cuarzo - magnetita, hematita, limonita y trazas de jarosita. Esta característica mineralógica claramente indica que está aflorando en una fase de óxidos, por lo que los valores de Au podrían mejorar hacia su base del emplazamiento mineralizante. Por lo contrario, la información del análisis geoquímico en cuanto al contenido de oro (Au), relativamente es bajo, estos resultados corroboran lo que nos indican los elementos indicadores que se presentan en el sistema (Zn, Cu), relacionándose con la mineralización tipo de depósito en fase de sulfuros, inicialmente con bajo contenido de Oro.

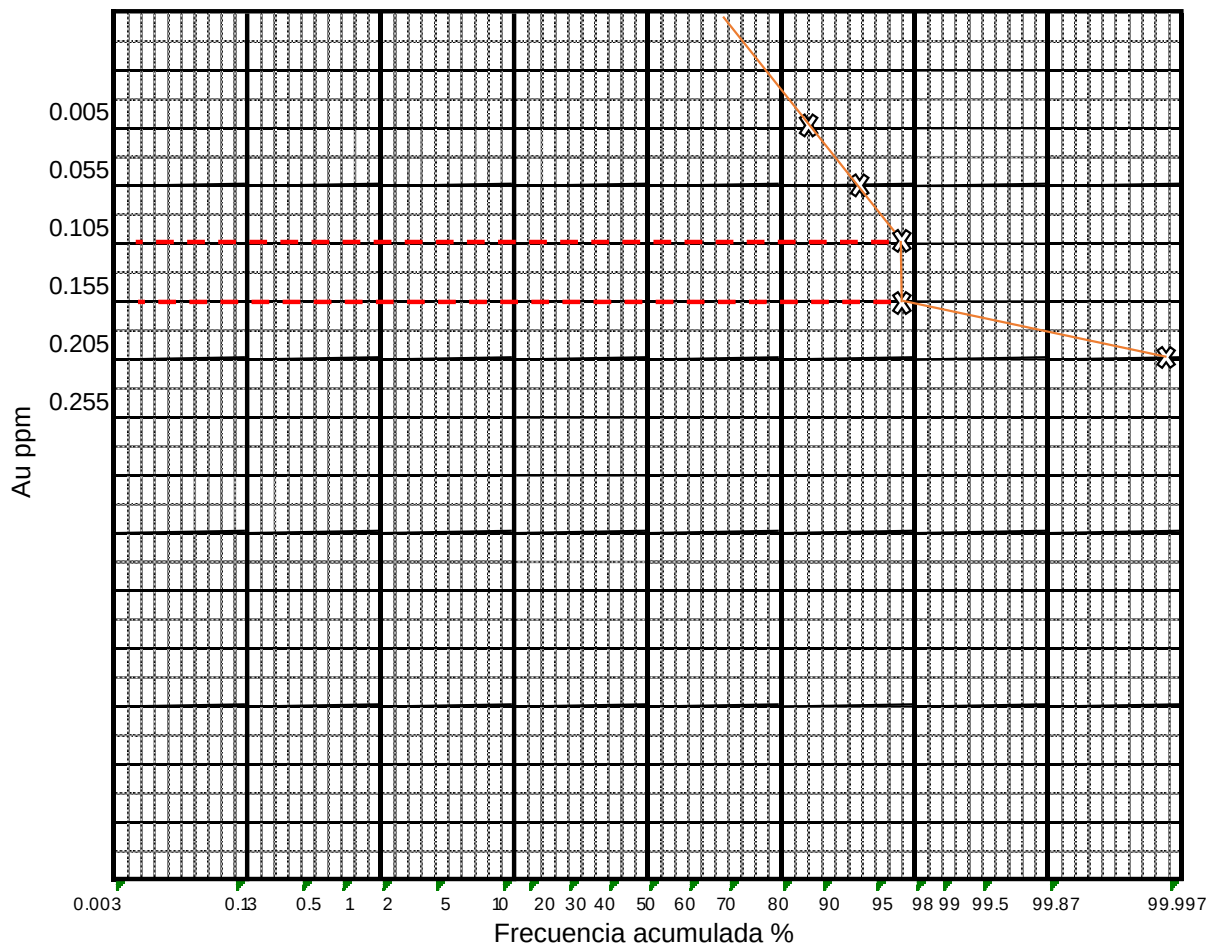


Figura 3.20. Trazado de la recta de Henry para análisis de Au.

Sin embargo, con la Figura 3.20, mediante la “recta de Henry”, permite definir tres líneas bien segmentadas, estando los cortes alrededor de

0.105 ppm el inferior y 0.155 ppm el superior; con intervalos obtenidos para análisis distribución espacial del Oro:

0 – 0.105 ppm

0.105 – 0.155 ppm

> 0.155 ppm

- **PLOMO (Pb)**

La “recta de Henry” trazada, permitió definir que al menos tenemos tres líneas bien segmentadas, alrededor de 89 ppm el inferior y 171 ppm el superior. Según los segmentos mostrados en la recta de Henry, se ha trabajado con los siguientes intervalos:

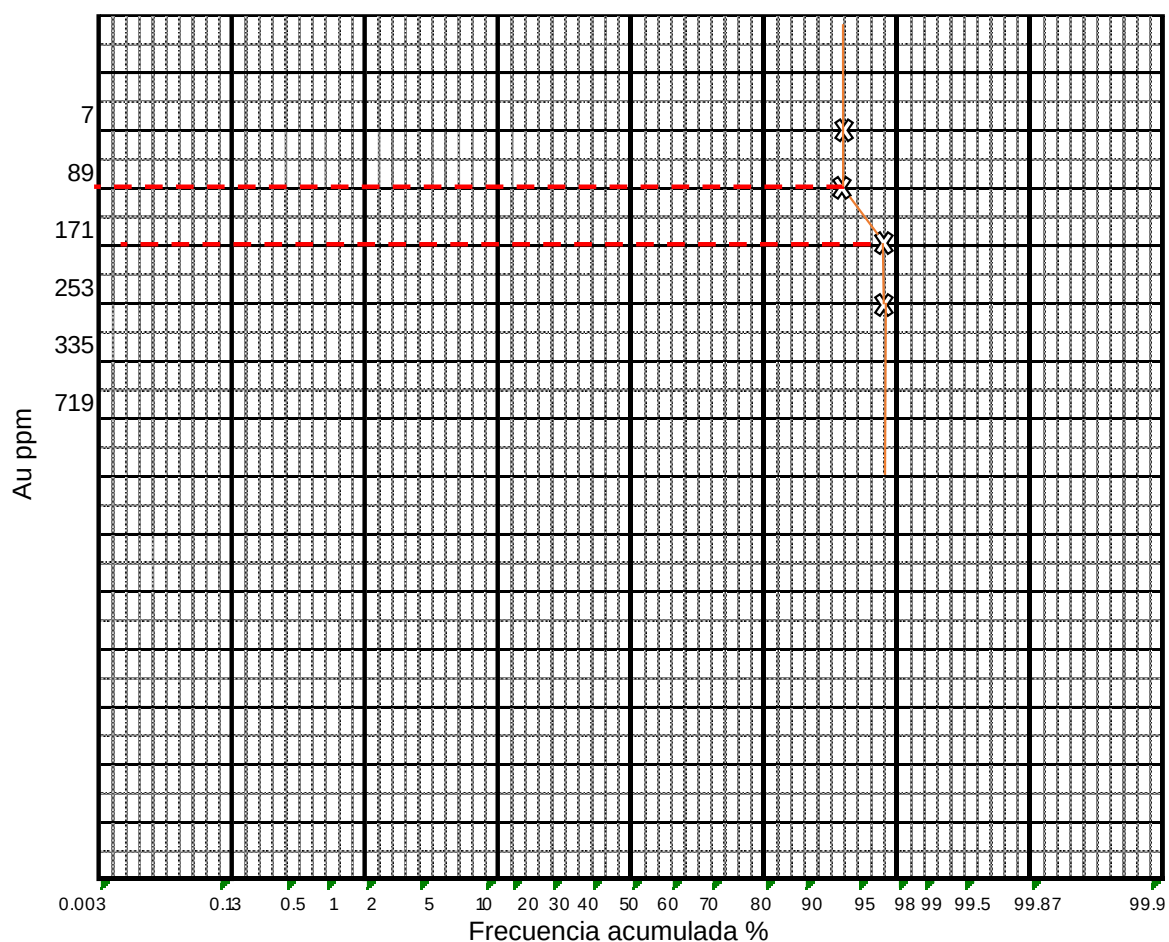


Figura 3.21. Trazado de la recta de Henry para análisis de Pb.

Intervalos obtenidos para análisis distribución espacial del Plomo

0 – 89 ppm
89 – 171 ppm
> 171 ppm

El plano de distribución geoquímica del plomo, obtenido de los 31 isovalores presentan, 2 muestran de anomalías interesantes en cuanto al contenido de plomo, sobre todo en las muestras: AC-031 que arrojó 199 ppm y AC-017 que arrojó 415 ppm, siendo estos dos puntos de control anomalías interesantes en cuanto a contenido de plomo. Contrastado los ensambles mineralógicos de las muestras: AC-017 y AC-031 corresponde a minerales: Cuarzo, magnetita, hematita, limonita y trazas de jarosita. Esta característica mineralógica claramente indica que la mineralización está aflorando en una fase de óxidos, por lo que los valores en cuanto al contenido de Pb podrían mejorar en la caja piso.

- **PLATA (Ag)**

Los 31 isovalores plasmados en el plano de distribución geoquímica de la plata, 26 muestran valores relativamente bajos inferiores a 0.17 ppm, 3 muestras presentan un valor que se encuentra entre el rango de 1.70 a 4.70 ppm, 1 muestra presenta un valor que se encuentra entre el rango de 4.70 a 6.20 ppm. Definiendo que dos muestras superan el 6.20 ppm, constatadas por la “recta de Henry” definiendo cuatro líneas bien segmentadas, estando los cortes alrededor de 1.70 ppm el inferior, 4.7 ppm intermedio y 6.2 ppm el superior; relacionadas con las muestras: AC-017 y AC-031.

Los datos del análisis geoquímico en cuanto al contenido de Plata (Ag) son relativamente bajos, mostrando tres muestras que se podrían considerar como anómalas: AC-017 (8.60 ppm), AC-018 (5.70 ppm) y AC-031 (9.20 ppm). Acotando que las Muestras: AC-017 y AC-031, cuentan con contenido: Plata y plomo, corroborando estos dos puntos lo que viene indicando los elementos indicadores (Pathfinders) del sistema, nos encontraríamos en una zona en donde la mineralización se presenta

como un depósito de sulfuros en general, estos elementos podrían estar indicándonos que hacia la base los sulfuros podrían estar presentando galena argentífera.

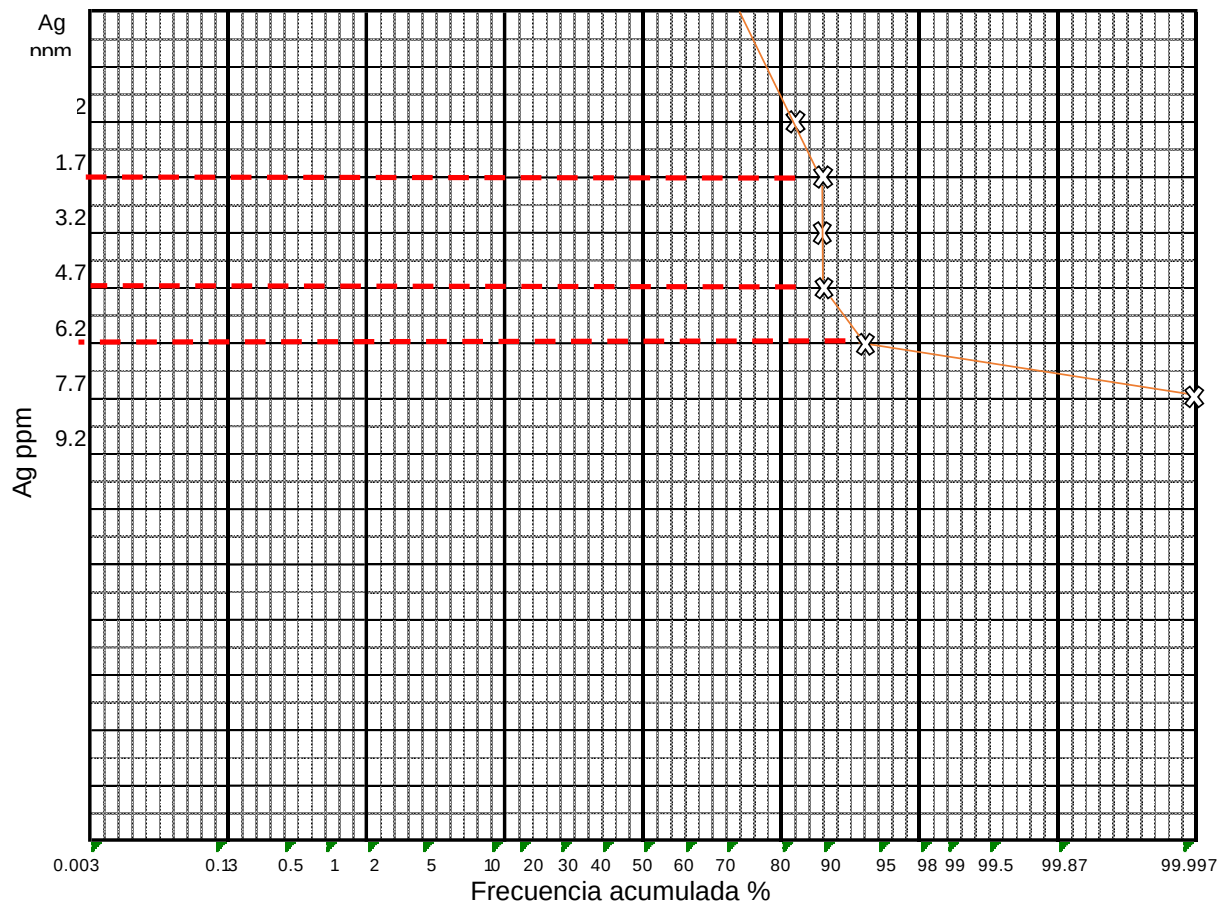


Figura 3.22. Trazado de la recta de Henry para análisis de Ag.

Intervalos obtenidos para análisis distribución espacial de Plata

0 – 1.70 ppm

1.70 – 4.70 ppm

4.70 – 6.20 ppm

> 6.20 ppm

- **COBRE (Cu)**

La “recta de Henry” trazada, definió cuatro líneas segmentadas, estando los cortes alrededor de 135 ppm el inferior, 250 ppm intermedio y 480 ppm el superior. Relacionadas con las muestras: AC-036 y AC-003, siendo valores anómalos en cuanto al contenido de cobre de 628.70 ppm

y 709.50 ppm, así mismo estas mismas presentan también valores anómalos en cuanto al contenido de Zinc, con valores de 487.50 ppm y 1,745 ppm respectivamente, corroborando su afinidad como elementos indicadores (Pathfinders) en el sistema, plasmando mayor certeza de mineralización en depósito de sulfuros.

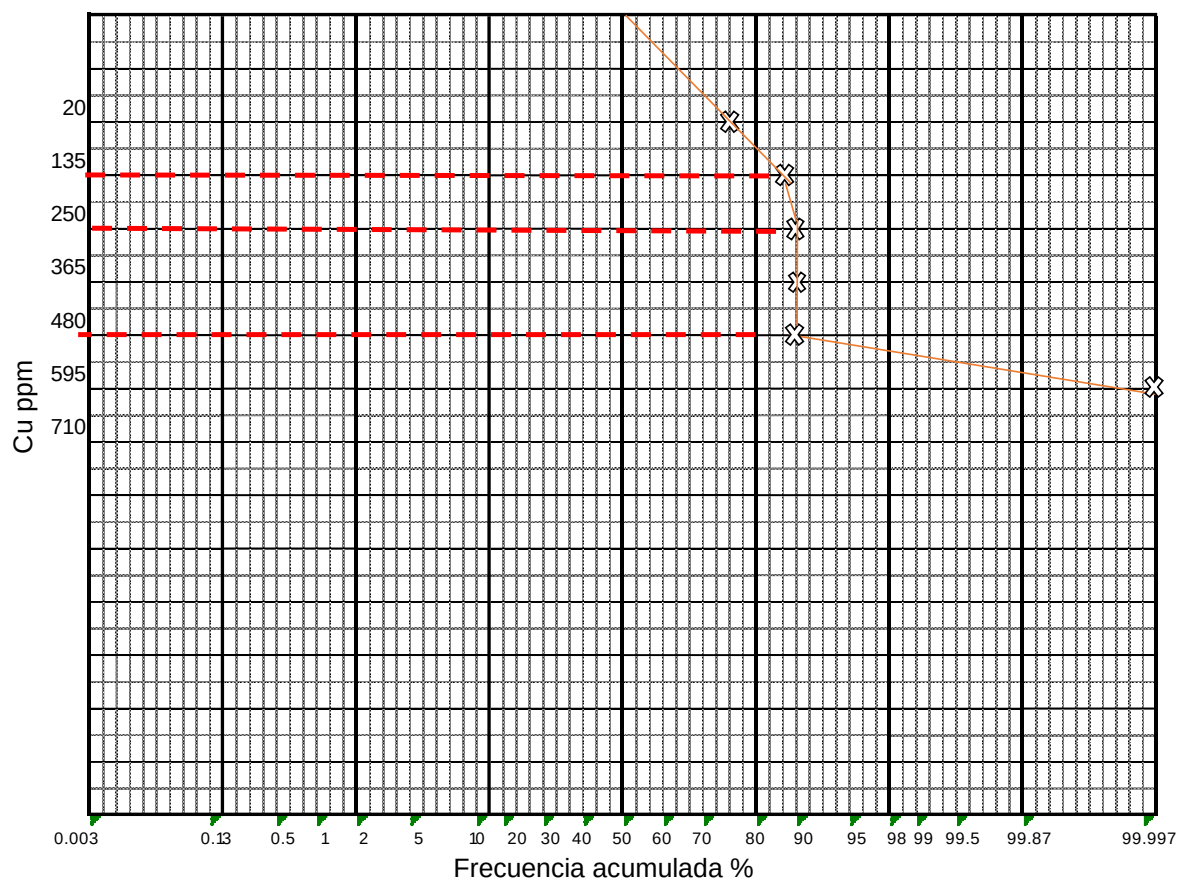


Figura 3.23. Trazado de la recta de Henry para análisis de Cu.

Intervalos obtenidos para análisis distribución espacial del Cobre

0 – 135 ppm

135 – 250 ppm

250 – 480 ppm

> 480 ppm

- **BERILIO (Be)**

Los valores de las muestras en cuanto al análisis del contenido de Be, no muestran valores anómalos interesantes, lo que podemos verificar en

el plano de su distribución, es la alta afinidad que existe con los puntos que presentan anomalías de Cu, esta afinidad corroboraría el Análisis de correlación de Pearson que se realizó, en el cual ambos elementos obtienen una calificación de muy buena correlación con el valor de 0.7160. Permitiendo definir cuatro líneas segmentadas, alrededor de 1.20 ppm el inferior, 1.90 ppm intermedio y 2.60 ppm el superior. Según los segmentos mostrados en la recta de Henry.

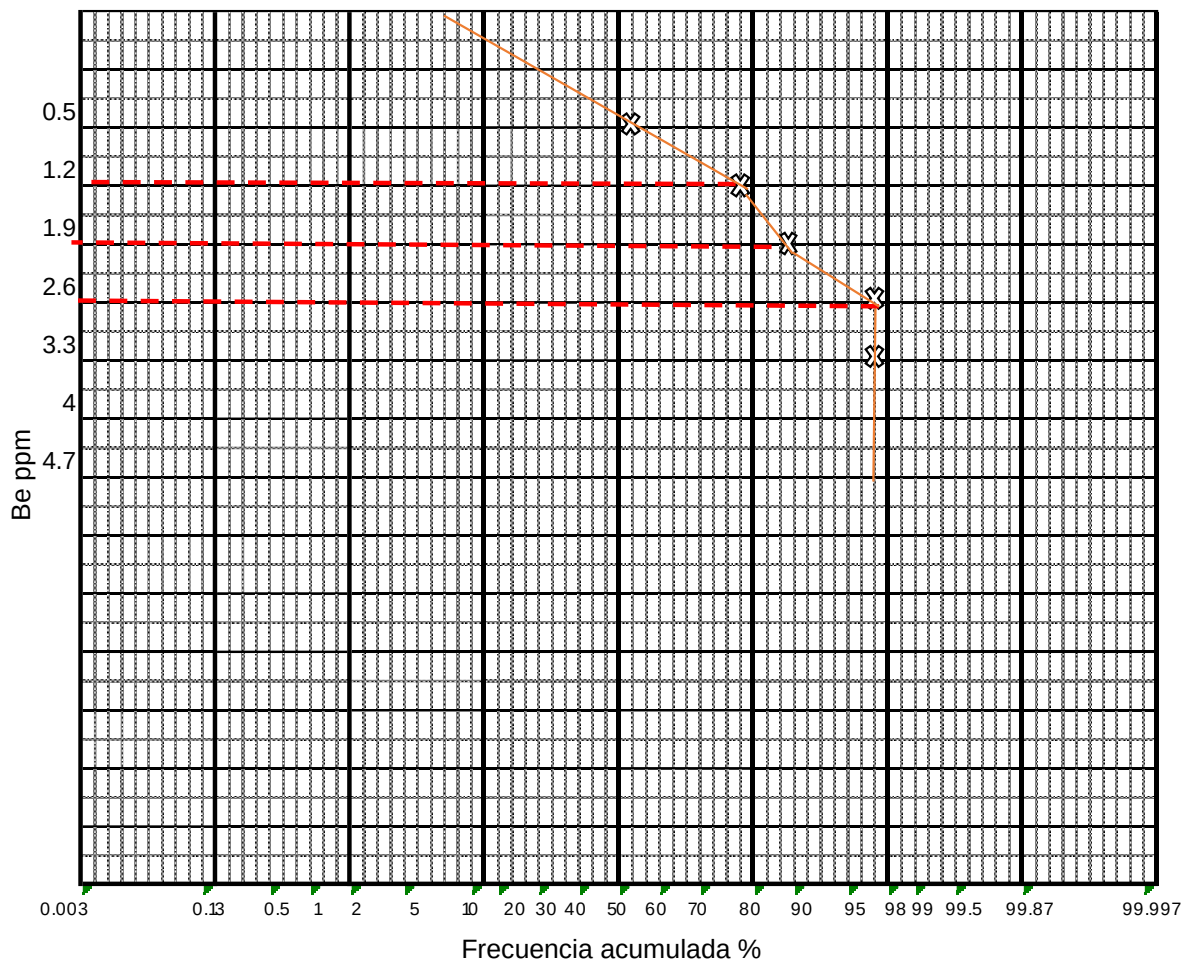


Figura 3.24. Trazado de la recta de Henry para análisis de Be.

Intervalos obtenidos para análisis distribución espacial del Berilio

0 – 1.20 ppm

1.20 – 1.90 ppm

1.90 – 2.60 ppm

> 2.60 ppm

- **BISMUTO (Bi)**

La “recta de Henry” trazada, permitió definir tres líneas bien segmentadas, estando los cortes alrededor de 11 ppm el inferior y 17 ppm el superior. Según los segmentos mostrados en la recta de Henry, se ha trabajado con los siguientes intervalos:

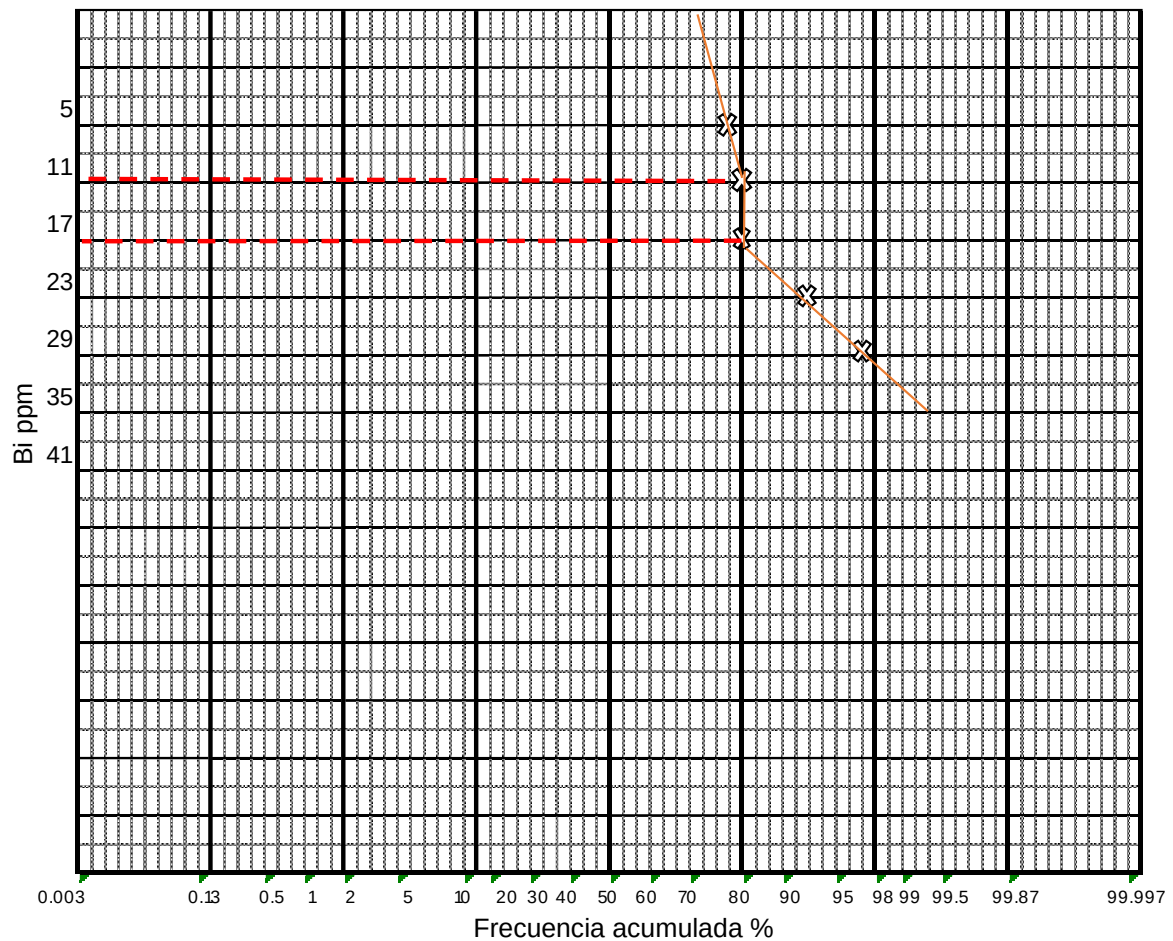


Figura 3.25. Trazado de la recta de Henry para análisis de Bi.

Intervalos obtenidos para análisis distribución espacial del Bismuto

0 – 11 ppm

11 – 17 ppm

> 17 ppm

Los valores del contenido de Bi, no muestran valores anómalos interesantes, verificando en el plano de su distribución la alta afinidad

que existe con los puntos que presentan anomalías de Cu y Zn, esta afinidad corroboraría el Análisis de correlación de Pearson que se realizó, en el cual el Bi con el Cu obtienen un valor de 0.7292 y el Bi con el Zn obtienen un valor de 0.7722, ambos resultados calificados como muy buena correlación.

- **ZINC (Zn)**

Podemos constatar que la “recta de Henry” trazada, permitió definir tres líneas segmentadas, estando los cortes alrededor de 312.80 ppm el inferior y 599.80 ppm el superior. Según los segmentos mostrados en la recta de Henry, trabajándolos con intervalos de análisis distribución espacial del Zinc:

0 – 312.80 ppm
312.80 – 599.80 ppm
> 599.80 ppm

Las muestras: AC-038 y AC-003, presentan valores anómalos en cuanto al contenido de Zinc de 682.80 ppm y 1745 ppm, así mismo estas mismas presentan también valores anómalos en cuanto al contenido de Cobre, con valores de 252.60 ppm y 709.50 ppm respectivamente, corroborando su afinidad como elementos Indicadores (Pathfinders) en el sistema, y dándonos mayor certeza que nos encontraríamos en una zona en donde la mineralización representa un depósito de sulfuros en general.

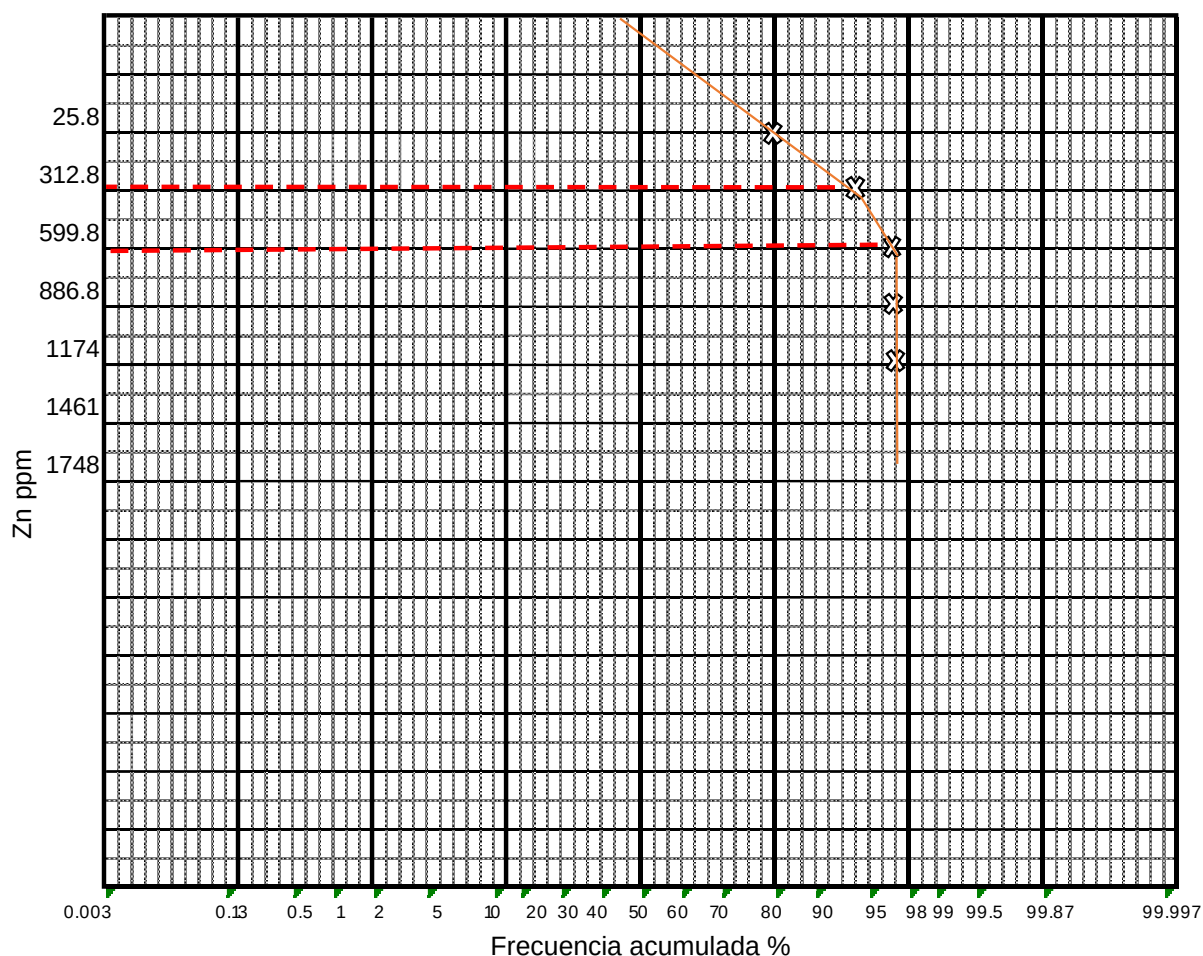


Figura 3.26. Trazado de la recta de Henry para análisis de Zn.

3.9 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.9.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación, se basa en las condiciones metodológicas de investigación: Exploratoria y explicativa, para determinar la evaluación económica del prospecto. En cuanto a los métodos de investigación que se utilizarán son: Cuantitativa, descriptiva, primaria y transversal. Tomando como población de estudio, las rocas ácidas del batolito de la costa del Prospecto Campana en la Libertad, muestra: vetas de cuarzo, pirita, magnetita, epidota, alteraciones hidrotermales, halos de dispersión, background, anomalías y óxidos en el Prospecto Campana, y la unidad de análisis geoquímicos, altos erráticos, valores anómalos para la elaboración de planos en zonación de pathfinders (Au, Ag, Cu, Pb, Zn).

Cuadro 3.9. Criterios y tipo de investigación.

Criterio	Tipo de investigación
Estrategia	Cuantitativa
Diseño de investigación	Descriptiva
Fuente de datos	Primaria
Temporalidad	Transversal

Fuente: Hernández y Mendoza, 2018.

3.9.2 PROCEDIMIENTO UTILIZADO POR EL INVESTIGADOR

El análisis será realizado en tres etapas: Gabinete, campo y trabajo de post-campo,

- **Trabajo de gabinete:** Consistió en la búsqueda, revisión, recopilación y análisis de información acerca de la zona de estudio, puestos de control accesibilidad luego se realizará planos preliminares para ir a campo y la coordinación con los dueños del prospecto.
- **Trabajo de campo:** Se basó en el cartografiado geológico de afloramientos superficiales, tomando datos de la litología, alteración estructuras (Fracturas, lineamientos, densidad de venillas, rumbo y buzamiento de estratos y mineralización, elaborando un folio del prospecto. También se realizará un muestreo geoquímico superficial, y todas las muestras obtenidas fueron analizadas por el laboratorio SGS – Lima.
- **Trabajo post-campo:** En esta etapa finalmente elaboramos e interpretamos los planos finales, a partir de los trabajos de mapeos superficial se procedió a la interpretación de los planos litológicos, estructural, alteración, mineralización y geoquímica del prospecto.

3.9.3 TRATAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El análisis será realizado en tres etapas. Inicialmente se trabajará en gabinete donde se obtendrá toda la bibliografía necesaria de la zona de influencia directa del proyecto, en segunda instancia se procederá a realizar la toma de datos en campo, finalmente los datos recogidos en campo serán procesados en gabinete utilizando los siguientes softwares: ArcGis 10.5 y Global Mapper para la elaboración de planos temáticos, El paquete de Microsoft Office para la elaboración de la tesis y cuadros dinámicos.

3.9.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas para la recolección de datos son directas (insitu) de campo, realizándose cartografiados geológicos estructurales y muestreo geoquímico superficial con el fin de obtener muestras representativas para análisis en laboratorio a partir: Observaciones, descripciones, análisis documental y toma de datos; conformados por: Maquinas, equipos y materiales.

- Equipos: Brújula brunton, cámara fotográfica digital, GPS garmin, picota geológica, lupa 20x, rayador (punta de tungsteno), protactor (Esc.: 1/2,000 a 1/5,000), wincha, flexómetro, linterna minera, comba, cincel y casco.
- Materiales: Bolsas para muestras, sacos, colores, lápiz 2b, lapicero tinta indeleble, libreta de campo, ácido clorhídrico, planos de campo, registro geológico-estructural.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El Prospecto Campana batolito de la costa está conformado por rocas del Cenozoico asociadas a la secuencia volcánico Alto Guitarras del Paleógeno desde hace 66 Ma. desde la edad: Daniano – Versiliano, constituido por afloramientos plutónicos y stocks de orientación NW-SE. Los cuerpos intrusivos de granito y granodiorita, son la roca caja del Prospecto Campana, presentando procesos de exfoliación por la meteorización: física y química, con superficies redondeadas a subredondeadas de coloraciones grises, siendo cortados longitudinalmente y transversalmente por diques: *Diorítico* de espesor: 0.80 a 3.10 m., de coloraciones gris oscuro hasta ligeramente verdoso, por alto contenido de minerales máficos, de grano medio a fino, textura equigranular y ocasionalmente afanítica; *Riolítico* con grosor: 0.50 a 1.00 m., con textura afanítica de grano fino a vidrio volcánico efusivo, de fractura concoidea, presentando bandeamientos horizontales de minerales máficos. Siendo la estructura de mayor amplitud un diatrema de 500 a 800 m. de diámetro, compuesto por brechas de clastos xenolitos de granito subredondeados a redondeados: 0.25 a 0.60 m., englobado por matriz cementante diorítica, con matriz soportada, geoestructuralmente es una de las principales estructuras de mineralización debido al ascenso del cuerpo intrusivo de composición granítica que a su paso fragmentó y englobó cuerpos intrusivos de composición microdiorítica pre-existentes que originaron la brecha hidrotermal mineralizada.

La geomorfología está relacionada con el relieve erosivo mediante meteorización: Física (Energía) y química (Materia), de la roca distribuyéndose en función: Granulométrica, textura, litología y ambiente de depositación, por las

divisoria de valles y cuenca de drenaje mostrando denudación en la superficie, constituyendo la parte alta zona de madurez y baja senil. Por el contrario, las unidades geomorfológicas están influenciadas por el drenaje de la quebrada El Chino de orientación E-W, caracterizando en su recorrido geoformas: Penillanura (Se ubica en la parte baja por presentar valles amplios y suaves, compuesto por Depósitos Cuaternarios de composición gravosa arenosa), terrazas (Son plataformas sedimentarias del valle fluvial genéticamente producto de varios procesos relacionados con ríos y quebradas, depositados a los lados del cauce presentando pendientes suaves), piedemonte aluvio torrencial (Lo constituyen laderas y parte montañosa rocosa, ubicado en el pie de la ladera, por la acumulación cuaternaria compuesta por materiales heterogéneos (Guijarros, bolones, gravas, arenas, limos y arcillas) distribuidos irregularmente (formando conos de aluviones) y montañas de roca intrusiva (Área de mayor envergadura constituidos por rocas intrusivas formando: Escarpas, acantilados y laderas, generalmente ubicados en las partes medias a altas, con topografía abrupta o empinada); disectado por valles transversales y quebradas secas.

Las geoestructuras del Prospecto Campana están relacionadas con movimientos tectónicos sectorizándolo en tres zonas de dominio estructural: WNW-ESE, NNE-SSW y NE-SW; caracterizándose movimientos cinemáticos de fallas: Dextrales y sinestrales, mediante los emplazamientos de diques de composición: Diorítica, riolítica y andesítica. Formando los tres dominios estructurales una zona inestable 500 a 800 m. de diámetro, formando un diatrema de cono eruptivo intrusivo, relleno por material fragmentado depositado en los laterales y superficie, posteriormente aprovechados por el ascenso de fluidos hidrotermales, relleno y englobando la matrices cementante por roca diorítica.

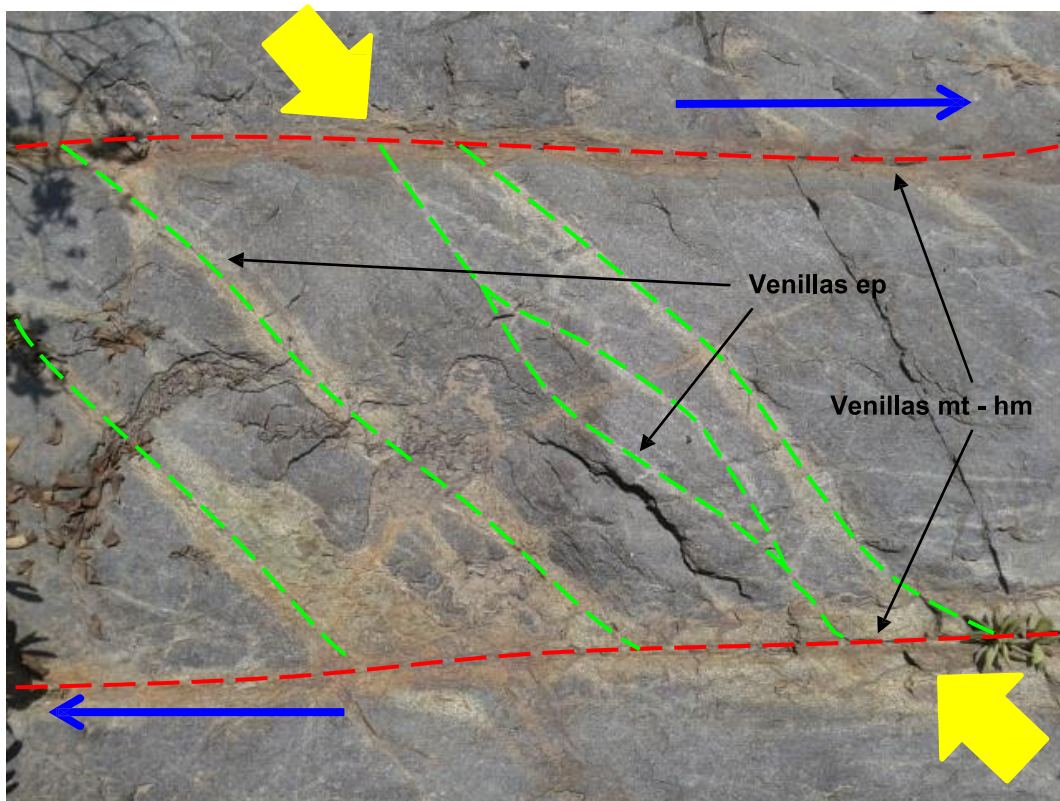


Figura 4.1. Venillas de magnetita de 2 cm. de espesor presentando oxidaciones superficiales de coloración rojizas y venillas tensionales de epidota de 2 cm. de espesor, definido por movimiento cinemático dextral (Calua, 2015).

Siendo corroborada por el contenido mineralógico de vetas por la mineragrafía Figura 4.2 incluida en el estudio termometría de inclusiones fluidas.

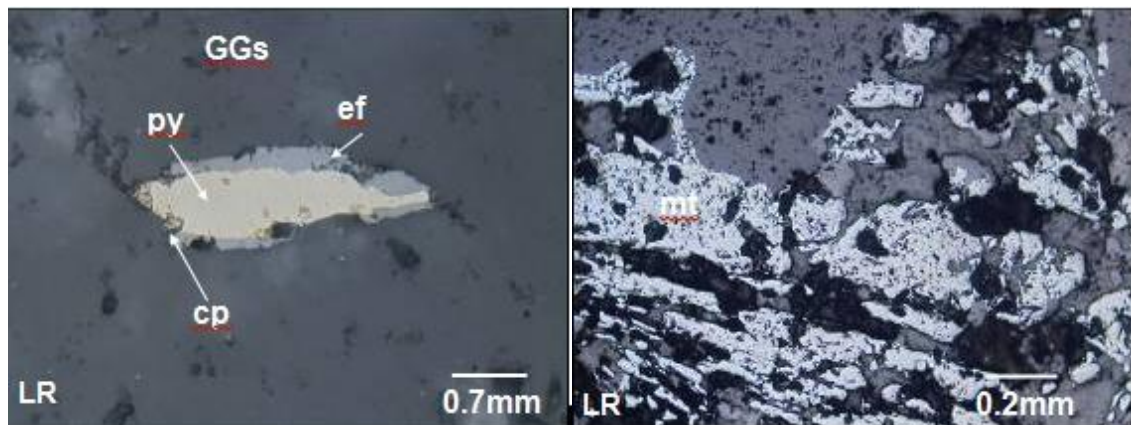


Figura 4.2. A. Fotomicrografía LR-N: Mostrando pirita (py) – evento 1, englobado por esfalerita (ef) y calcopirita (cp) – evento 2 con agregados de cuarzo masivo (GGs). B. Fotomicrografía LR-N: Muestra magnetita (mt) masiva orientada en dirección de veta (Calua, 2015).

Distinguiéndose las geoestructuras por: Vetas (Cuarzo, magnetita, hematita, pirita y calcopirita, de espesor: 0.20 a 0.80 m, con orientación (Az/Bz): 235°/80°, 235°/45° y 45°/85°) y venillas (Epidota de orientación 285°/80° con espesor 1 a 3 cm. de potencia y magnetita, emplazadas por esfuerzos tensionales y dextrales con orientación 230°/75° y 2 cm. de potencia). Geocronológicamente esta mineralización del magmatismo se originaron en el Paleógeno Fase Inca I de orientación NW-SE de esfuerzos compresivos.

La correlación de pathfinders los ubica en el grupo: Calcófilos y siderófilos, con alta afinidad con líquidos sulfurosos metálicos. Sin embargo, los 31 isovalores de muestras obtenidas de vetas y zonas de venillas, presentan anomalías en: Au (Solo la muestra AC-017 tiene 0.231 ppm, ubicándolo en rangos: 0.205 a 0.255 ppm), Pb (Solo 2 muestras: AC-031 tiene 199 ppm y AC-017 tiene 415 ppm, ubicándolo en rangos: 171 a 417 ppm), Ag (Solo 3 muestras: AC-017 tiene 8.60 ppm, AC-018 tiene 5.70 ppm y AC-031 tiene 9.20 ppm ubicándolo en rangos: 4.70 a 9.20 ppm), Cu - Zn (Solo 2 muestras: AC-003 tiene 709.50 ppm/1,745 ppm y AC-036 tiene 628.70 ppm/487.50 ppm, ubicándolos en rangos: 595 a 710 ppm/312.8 a 1747.8 ppm), Be (No muestra valores anómalos interesantes ubicándolo en rangos: 1.20 a 2.60 ppm), Bi (No muestra valores anómalos interesantes ubicándolo en rangos: 11 a 17 ppm) y Zn (Solo 2 muestras: AC-003 tiene 1,745 y AC-038 tiene 682.80 ppm, ubicándolo en rangos: 599.8 a 1747.8 ppm). A pesar de no tener valor económico (Se requeriría una mayor densidad de muestras para definir mejor el contenido mineral), se evidencia actividad hidrotermal de un pórfido que posiblemente si tenga valor económico.

Acotando que la relación entre Au y Ag es directa, indicando una misma paragénesis, así como: Cu y Zn, pertenecen a la misma paragénesis probablemente posterior al Au y Ag. Por otro lado, el Mo presenta independencia a ambas paragénesis probablemente en una etapa intermedia a las dos anteriores.

4.2 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La zonificación de pathfinders en la exploración del Prospecto Campana del batolito de la costa, segmento Trujillo - La Libertad, está determinada por la geología y los valores anómalos que tienen relación directa con un depósito mineral de Au-Cu, que a su vez tiene un interés económico para el prospecto y exploración minera geológica. Sin embargo, los estudios de petrografía de inclusiones fluidas según (Calua, 2015) muestran inclusiones bifásicas ricas en vapor y líquido, además de inclusiones fluidas polifásicas ricas en cristales hijos de halita y ricos en CO₂ típicas de depósitos tipo Epitermal y pórfido. Por otro lado, los resultados de zonificación pathfinders demuestran que existe mineralización proveniente de una fuente distinta a la que dio origen a los intrusivos antes mencionados, lo cual confirmaría la existencia de otro intrusivo más joven que posiblemente esté relacionada a la mineralización tipo pórfido, con su alta afinidad con líquidos sulfurosos metálicos, estableciendo anomalías en: Au (Solo la muestra AC-017 tiene 0.231 ppm, ubicándolo en rangos: 0.205 a 0.255 ppm), Ag (Solo 3 muestras: AC-017 tiene 8.60 ppm, AC-018 tiene 5.70 ppm y AC-031 tiene 9.20 ppm, ubicándolo en rangos: 4.70 a 9.20 ppm), Cu - Zn (Solo 2 muestras: AC-003 tiene 709.50 ppm/1,745 ppm y AC-036 tiene 628.70 ppm/487.50 ppm, ubicándolos en rangos: 595 a 710 ppm/312.8 a 1747.8 ppm), Be (Valores: 1.20 ppm el inferior, 1.90 ppm intermedio y 2.60 ppm el superior) y Bi (Corroborando que el Bi con el Cu obtienen un valor de 0.7292 y el Bi con el Zn obtienen un valor de 0.7722, ambos resultados calificados como muy buena correlación.).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El cartografiado geológico del Prospecto Campana presenta rocas del Cenozoico asociadas a la secuencia volcánica del Alto Guitarras del Paleógeno desde hace 66 Ma. constituido por afloramientos plutónicos y stocks de orientación NW-SE, de cuerpos granito y granodiorita, cortados: Longitudinalmente y transversalmente por diques: Diorítico (Espesor: 0.80 a 3.10 m.), Riolítico (grosor: 0.50 a 1.00 m.) y Andesítico. Sin embargo, se emplaza un diatrema de 500 a 800 m. de diámetro, compuesto por brechas de clastos xenolitos de granito subredondeados a redondeados.

Las geoestructuras están relacionadas con movimientos tectónicos sectorizándolo en tres zonas de dominio estructural: WNW-ESE, NNE-SSW y NE-SW; caracterizándose movimientos cinemáticos de fallas: Dextrales y sinestrales, mediante los emplazamientos de diques de composición: Diorítica, riolítica y andesítica. Distinguiéndose por: Vetas (Cuarzo, magnetita, hematita, pirita y calcopirita, de espesor: 0.20 m. a 0.80 m, con orientación (Az/Bz): 235°/80°, 235°/45° y 45°/85° respectivamente) y venillas (Epidota de orientación 285°/80° con espesor 1 cm. a 3 cm. de potencia y magnetita, emplazadas por esfuerzos tensionales y dextrales con orientación 230°/75° y 2 cm. de potencia).

Las alteraciones hidrotermales, están conformadas por alteración: Sílica, argílica y propilítica, englobando al cuerpo intrusivo de la secuencia volcánica Alto Guitarras.

La correlación de los isovalores mostró que los elementos pathfinders son: Zn y Cu, además las vetas y zonas de venillas, tienen alta afinidad con líquidos sulfurosos metálicos, estableciendo anomalías en: Au (Muestra AC-017 tiene 0.231 ppm, con rangos: 0.205 a 0.255 ppm), Ag (Muestras: AC-017 tiene 8.60 ppm, AC-018 tiene 5.70 ppm y AC-031 tiene 9.20 ppm ubicándolo en rangos: 4.70 a 9.20 ppm) y Cu - Zn (Muestras: AC-003 tiene 709.50 ppm/1,745 ppm y AC-036 tiene 628.70 ppm/487.50 ppm, ubicándolos en rangos: 595 a 710 ppm/312.8 a 1747.8 ppm), Be (Valores: 1.20 ppm el inferior, 1.90 ppm intermedio y 2.60 ppm el superior) y Bi (Corroborando que el Bi con el Cu obtienen valor de 0.7292 y el Bi con el Zn obtiene un valor de 0.7722, ambos resultados calificados como muy buena correlación).

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda al propietario del Prospecto Campana, realizar perforaciones diamantinas para obtener el modelo del yacimiento minero y corroborar la profundidad del yacimiento tipo Pórfido.

Se recomienda ampliar y ajustar la malla de muestreo en el Prospecto Campana, con la finalidad de realizar mejores interpretaciones geoquímicas.

Se recomienda complementar con estudios geofísicos, para definir zonas que tengan contenido metálico en el Prospecto Campana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aranda, R. (2015). Geoquímica y geotermometría de las vetas del Prospecto Campana AC, La Libertad – Perú (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de <https://1library.co/document/yjd29d6y-geoquimica-geotermometria-vetas-prospecto-campana-ac-libertad-peru.html>

Blanco, J. (1984). Importancia del muestreo en un programa de geoquímica de exploración. IX Congreso Geológico Argentino, Tomo VII, Buenos Aires – Argentina, págs. 388-406.

Barry, J. (1983). Geochemistry of sedimentary ore deposits. New York – Estados Unidos: Springer – Verlag.

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. Sociedad Geológica del Perú. Lima – Perú. Págs. 1-5.

Cáceres, D. (2008). Exploración geológica y geoquímica del prospecto de cobre Texas, cordillera de Domeyko, II región, Chile (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Recuperado de https://www.bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay/alma991005834049703936/56UDC_INST:56UDC_INST

Calcina, E. (2008). Prospección geoquímica: Informe final de investigación (Texto universitario). Universidad Nacional del Altiplano.

Calua, H. (2015). Aplicación de inclusiones fluidas en la exploración del prospecto Campana, La Libertad – Perú. Recuperado de <http://www.mytreeproject.com/wp-content/uploads/2014/07/PROSPECTO-CAMPANA.pdf>

Cossio, A., y Jaén, H. (1967). Boletín N° 17 Geología de los cuadrángulos de Puemape (16-d), Chocope (16-e), Otuzco (16-f), Trujillo (17-e), Salaverry (17-f) y Santa (18-f). Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Cueva, P. (2017). Prospección geoquímica del prospecto Isabel distrito de Jircán – Huánuco (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1418>

Dávila, B. (2011). Diccionario geológico. INGEMMET, Lima - Perú: Arth Grouting S.A.C.

Dicovski, L. (2012). Estadística básica para ingenieros. Estelí – Nicaragua. Universidad Nacional de Ingeniería.

Fletcher, W., Hoffman, S., Mehrtens, M., Sinclair, A., y Thomson, I. (1986). Statical Interpretation of soil Geochemical data in: Exploration Geochemistry desingn and interpretation of soil Surveys. Society of Economic Geologists: Advancing Science and Discovery. Recuperado de <https://pubs.geoscienceworld.org/books/book/1215/chapter-abstract/107019050/Statistical-Interpretation-of-Soil-Geochemical?redirectedFrom=fulltext>

Hernández, R., y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México - México: McGRAW-HILL

Hosking, F. (1965). The search for tin. Mining Magazine N° 113. London – Inglaterra. Págs. 261-273, 368-383 y 448-461.

Korzeniewski, L. (2002). Inclusiones fluidas aplicadas a la exploración minera. SEGERMAR: Servicio geológico minero argentino, N° 165, págs. 1-21. Buenos aires – Argentina. Recuperado de <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/2863>

Lestussi, M. (2018). Apuntes de geoquímica. Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca – Argentina: Editorial científica universitaria. Recuperado de <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%20CATEDRA/Lestussi/Apunte%20de%20Geoquimica.pdf>

López, F., y Mateus, A. (2019). Zonificación de alteraciones hidrotermales aplicando el método Scott Halley en proyecto de pórfido de cobre molibdeno al noroeste del cantón Mejía. Arequipa (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20316>

Maksaev, V. (2001). Metalogénesis. Recuperado de https://www.academia.edu/38283859/METALOGENESIS_CHILE_Maksaev

Martínez, M. (2000). Manual para realizar un levantamiento geoquímico de arroyo (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Recuperado de <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/2410>

Navarro, P., Chavez, L., Ordoñez, E., Pajuelo, D., Anastacio, A., y Puquio, W. (2013). Mapa geológico del cuadrángulo de Salaverry, escala 1/50,000 hoja 17-f cuadrante-IV. Lima – Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Navarro, P., Rivera, M., y Monge, R. (2010). Geología y metalogénica del Grupo Calipuy (Volcanismo Cenozoico) Segmento Santiago de Chuco, Norte del Perú: Boletín N° 28, Serie D Estudios Regionales. Lima – Perú: INGEMMET – MEM.

Quino, C. (2017). Exploración geoquímica y determinación de elementos pathfinder – target proyecto: Achanizo Chaparra – Caravelí – Arequipa (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3275997>

Rivera, H. (2007). Introducción a la geoquímica general y aplicada. Lima – Perú: Grafica Retai S.A.C.

Rivera, H. (2014). Caracterización geoquímica de los intrusivos de las superunidades de Yarabamba – Challaviento y de los volcánicos de los grupos Toquepala y Barroso y análisis correlacional con la mineralización en el Sur del Perú (Tesis de posgrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Recuperado de <https://1library.co/document/qoggnv0z-caracterizacion-geoquimica-intrusivos-superunidades-challaviento-volcanicos-correlacional-mineralizacion.html>

Sáez, F. (2005). Geología y exploración del yacimiento de Salpo, Otuzco, La Libertad (Tesis de pregrado). Universidad de Ingeniería. Recuperado de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_2a45581551f284ca7c1537c48ea6f254

Sánchez, V. (2010). Estructura y termometría del depósito de Au el gigante, aplicaciones para la exploración del batolito de Patatz, La Libertad-Perú.

Sarma, D. (2008). Geostatistics with applications in earth sciencs. Hyderabad-India: Springer.

Schwartinsky, A. (2015). Comparación geoquímica de las zonas de alteración hidrotermal El Plomo y Ortiga, distrito Los Bronces, Anglo American Chile (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Recuperado de

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137680>

Townley, B. (2001). Metalogénesis y modelos de yacimientos. Geología económica. Departamento de geología. Universidad de Chile. Recuperado de

<https://inglomayor.cl/edicion19/c/paper1.pdf>

Vásquez, R., Chira, F., y Lagos, A. (2008). Distribución geoquímica de tierras raras y otros elementos traza en la franja polimetálica 9°-10°S del Perú Central. XIV Congreso Peruano de Geología, págs. 1-6. Lima - Perú. Recuperado de

<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3354>

Viladevall, M. (2008). Tema de geología económica: La prospección geoquímica. Universidad de Barcelona. Recuperado de

<http://www.publicacions.ub.edu/refs/indices/06952.pdf>

Walpole, R., Myers, R., Myers, S., y Ye, K. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Trad. Pineda Leticia. México: Person.

ANEXOS

ANEXOS A
MUESTREO GEOQUÍMICO

Cuadro 5.1. Reporte de laboratorio SGS del Perú S.A.C. - Prospecto Campana.

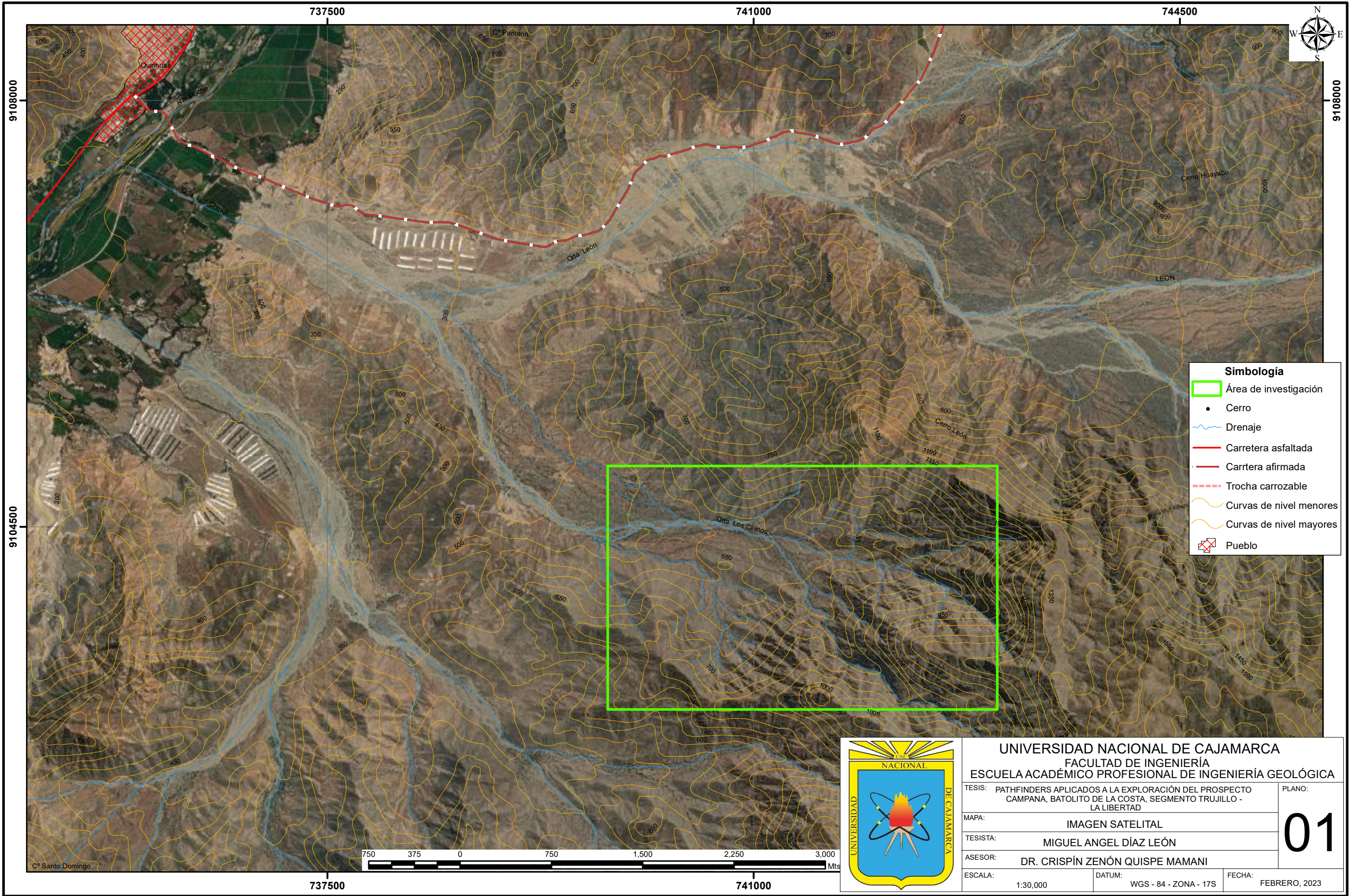
Elemento	Au	Ag	Al	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Fe	Ga	K	K	La	Li	Mg	Mg	Mn	Mo	Na	Na	Nb	Ni	P	P	Pb	S	S	Sb	Sc	Sn	Sr	Ti	Ti	Ti	V	W	Y	Zn	Zr
Unidad	PPB	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
Metodo	FAA313	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408	ICP408
AC 036	0.005	0.3	5.35	53500	11	600	2.9	24	4.4	44000	1	39	9	595.4	15	150000	31	0.5	5000	31.8	10	0.42	4200	2280	15	1.09	10900	58	10	0.02	200	56	0.02	200	14	3.4	10	369.7	0.18	1800	10	117	292	17	469.4	69.1
AC 037	0.013	0.3	1.63	16300	37	1080	0.5	28	0.17	1700	4	26	7	150.7	15	150000	27	0.89	8900	2.3	4	0.03	300	896	70	0.94	9400	67	4	0.02	200	88	0.37	3700	16	0.5	14	49.3	0.05	500	6	96	114	2.4	433.1	82.4
AC 038	0.072	0.6	1.13	11300	100	18	1.6	34	0.17	1700	6	20	4	252.6	15	150000	13	0.04	400	8.7	6	0.08	800	437	111	0.67	6700	45	3	0.03	300	84	0.14	1400	16	1.1	11	13.1	0.02	200	9	6	14	7.3	682.8	55.9
AC 039	0.007	0.2	7.65	76500	5	837	1.4	5	1.53	15300	1	12	13	44	2.21	22100	12	2.37	23700	20.9	9	0.55	5500	699	5	2.29	22900	7	4	0.04	400	22	0.01	100	6	6.2	10	219.2	0.2	2000	8	55	10	12.2	73.6	32.5
*DUP AC 036	0.008	0.4	5.26	52600	13	627	3.1	25	4.32	43200	1	41	8	628.7	15	150000	27	0.49	4900	33.2	11	0.41	4100	2197	16	1.11	11100	62	10	0.02	200	57	0.02	200	16	3.6	14	349.6	0.19	1900	10	123	304	18.3	487.5	72.2
MDL-01	0.022	0.2	1.64	16400	8	600	0.5	5	0.03	300	2	6	594	45.1	8.81	88100	10	1.03	10300	1.2	6	0.04	400	175	12	0.12	1200	8	21	0.01	100	42	0.14	1400	5	1.6	10	23.2	0.02	200	2	13	30	0.8	190	10.8
MDL-02	0.025	0.4	4.18	41800	28	260	0.5	5	0.02	200	3	130	273	38.8	15	150000	10	4.31	43100	5.2	5	0.03	300	306	110	0.55	5500	20	14	0.01	100	56	7.35	73500	5	2.3	11	95.3	0.04	400	2	39	119	2	124.7	33
MDL-03	0.014	0.2	8.2	82000	13	565	3.1	5	1.21	12100	1	9	157	48.3	2.8	28000	14	2.17	21700	29	9	0.57	5700	855	3	3.63	36300	24	7	0.08	800	22	0.05	500	5	7	12	287.3	0.3	3000	2	27	10	24.5	73.9	27.1
MDL-04	0.006	0.2	8.3	83000	7	756	1	5	2.83	28300	1	15	237	38.3	3.09	30900	12	2.16	21600	20.1	11	1	10000	602	4	2.37	23700	8	12	0.07	700	7	0.03	300	5	10	10	340.4	0.29	2900	2	79	10	16.4	56.6	32.4
MDL-05	0.008	0.2	9.61	96100	8	552	1.1	5	4.26	42600	1	20	97	58.8	3.64	36400	14	1	10000	14.2	15	1.56	15600	808	2	2.73	27300	7	11	0.08	800	20	0.05	500	5	12.7	10	502.3	0.39	3900	2	101	10	11.4	88.2	99.8
*DUP MDL-02	0.024	0.5	4.31	43100	28	281	0.5	5	0.02	200	3	130	286	38.1	15	150000	11	4.35	43500	5	5	0.03	300	308	111	0.59	5900	20	14	0.01	100	61	7.28	72800	8	2.2	10	97.8	0.05	500	2	39	116	2.1	130.6	35.5
AC001	0.011	0.4	2.35	23500	17	1961	0.5	10	0.18	1800	5	14	433	76.8	15	150000	10	2.26	22600	2.9	4	0.03	300	327	45	0.44	4400	12	11	0.01	100	69	0.33	3300	<5	0.9	10	71.6	0.03	300	2	32	41	1.2	172	54.6
AC002	0.043	0.6	3.92	39200	3	518	0.5	8	0.74	7400	9	67	337	16.9	15	150000	17	2.5	25000	4.8	10	0.6	6000	912	2	0.8	8000	9	10	0.02	200	62	2.88	28800	5	4.8	10	119.6	0.16	1600	2	91	182	4.8	130	94.8
AC003	0.011	0.2	4.85	48500	3	329	4.3	35	2.46	24600	10	44	204	709.5	15	150000	34	1.08	10800	7.7	11	0.29	2900	1348	1	0.76	7600	26	5	0.01	100	45	0.07	700	6	0.5	10	252.5	0.05	500	2	103	52	6.9	1745	122.4
AC004	0.005	0.7	4.73	47300	3	444	1.1	6	1.11	11100	1	6	330	45.2	1.56	15600	15	1.27	12700	16.2	5	0.12	1200	524	6	1.22	12200	13	10	0.01	100	16	0.04	400	9	2.4	10	112.6	0.05	500	2	8	10	12.5	103	26.8
AC005	0.005	0.4	6.17	61700	5	1843	0.9	5	0.58	5800	1	4	232	32	0.81	8100	17	4.54	45400	22.6	4	0.09	900	282	2	1.49	14900	13	6	0.02	200	38	0.12	1200	6	2.9	10	177.5	0.07	700	2	8	10	12.5	65	22.1
AC006	0.005	0.6	8.58	85800	3	741	0.5	5	4.2	42000	1	21	230	56.1	4.5	45000	22	1.38	13800	20.1	12	1.68	16800	1080	8	2.22	22200	9	20	0.07	700	50	0.13	1300	8	16.5	10	385	0.39	3900	2	134	10	14.9	145	33.1
AC008	0.969	2.2	5.38	53800	49	601	0.5	7	0.13	1300	6	43	199	12.7	15	150000	20	2.13	21300	6.6	9	0.5	5000	487	18	0.57	5700	7	12	0.06	600	30	0.13	1300	7	10	10	82.3	0.24	2400	4	145	64	2.4	74	44.2
AC009	0.005	0.2	8.59	85900	4	47	1.6	6	5.91	59100	1	9	115	62.2	7.53	75300	27	0.19	1900	28.9	7	0.51	5100	1393	8	3.23	32300	29	4	0.14	1400	44	0.17	1700	8	8	40	573.1	0.45	4500	2	71	10	32.3	137	45
*DUP AC009	0.005	0.2	8.6	86000	5	52	1.8	5	5.98	59800	1	9	125	66.4	7.46	74600	28	0.2	2000	31.9	6	0.51	5100	1512	7	3.19	31900	28	5	0.14	1400	46	0.17	1700	9	8.6	44	570.7	0.46	4600	2	79	10	35.9	134	44.4
AC 016	0.01	1	4.51	45100	51	151	2	5	1.2	12000	1	16	352	167.4	8.72	87200	15	1.69	16900	13.8	13	0.2	2000	627	16	0.32	3200	1	2	0.02	200	41	0.36	3600	5	1.5	12	85.9	0.04	400	6	6	13	7.8	120.6	18.2
AC 017	0.231	8.6	0.85	8500	16	71	0.5	6	0.1	1000	1	1	675	156.3	7.48	74800	10	0.27	2700	5.1	3	0.04	400	197	13	0.16	1600	1	7	0.03	300	415	0.2	2000	5	0.8	10	33.7	0.02	200	3	4	10	1.3	425.4	8.7
AC 018	0.14	5.7	3.15	31500	65	138	0.8	5	0.11	1100	1	3	326	68.2	6.02	60200	11	1.4	14000	0.9	16	0.17	1700	233	41	0.16	1600	1	3	0.03	300	48	0.13	1300	6	1.4	10	20	0.05	500	7	30	10	2.3	104.7	11.9
AC 021	0.006	0.2	5.47	54700	14	313	1.1	14	0.44	4400	2	26	231	20.6	13.43	134300	10	1.33	13300	0.5	27	1.1	11000	4749	6	0.37	3700	1	29	0.06	600	9	0.04	400	5	10.1	16	79.9	0.25	2500	16	126	69	11.7	311.7	61
AC 024	0.007	0.5	4.45	44500	10	2777	0.5	5	0.35	3500	1	14	383	82.8	4.77	47700	10	4.35	43500	14.5	8	0.05	500	238	9	0.36	3600	2	3	0.01	100	20	0.49	4900	5	1	10	114	0.04	400	6	4	10	7.3	76.4	19.7
AC 028	0.008	0.2	7.32	73200	295	832	1.2	5	0.35	3500	1	1	200	132.3	4.9	49000	20	4.05	40500	72.1	9	0.03	300	172	11	2.21	22100	7	1	0.03	300	25	0.43	4300	5	1.7	10	129.4	0.14	1400	9	8	10	5.8	40.7	21.5
AC 030	0.01	0.2	0.88	8800	14	231	0.5	6	0.08	800	1	1	714	29.4	6.68	66800	10	0.48	4800	1.9	13	0.02	200	172	13	0.3	3000	1	8	0.03	300	28	0.14	1400	7	0.5	10	70.3	0.04	400	4	14	10	1.6	25.8	9.9
AC 031	0.017	9.2	4.29	42900	89	244	2	27	0.62	6200	2	1	323	121.8	14.22	142200	12	1.83	18300	13.7	8	0.07	700	1308	81	0.79	7900	1	1	0.01	100	199	1.81	18100	5	3.1	416	85.3	0.05	500	6	13	49	10.4	179.3	25
AC 032	0.006	0.2	3.56	35600	16	112	1.5	6	0.62	6200	1	1	336	40.5	5.72	57200	12	1.22	12200	10.5	8	0.08	800	345	15	0.19	1900	1	3	0.02	200	38	0.04	400	10	1.7	68	37.7	0.04	400	5	7	14	5	42.3	28.1
AC 035	0.005	0.2	9.43	94300	3	420																																								

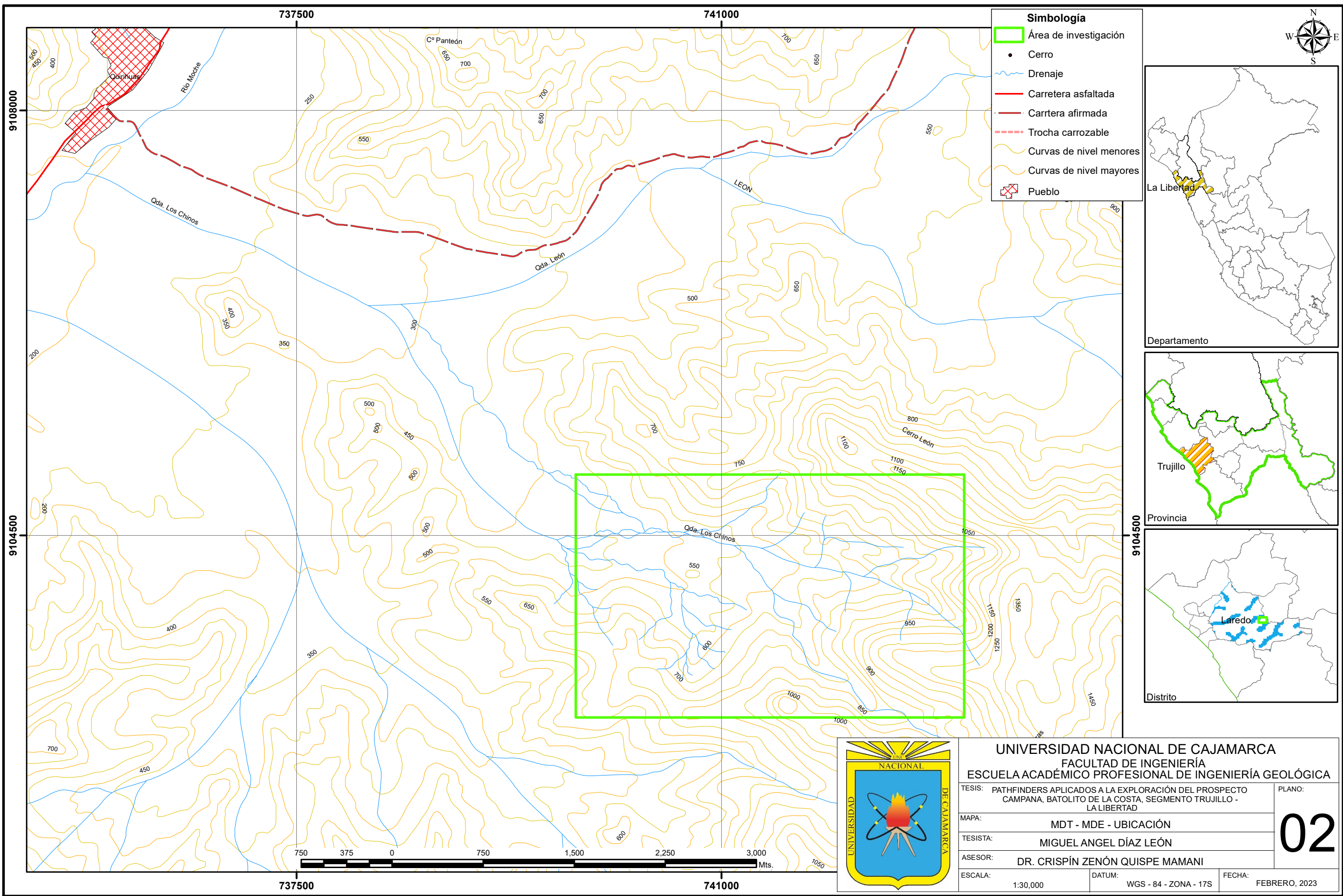
Cuadro 5.2. Data parte por millón - Prospecto Campana.

Elemento	Au_ppm_G	Ag_ppm_G	Al_ppm_G	As_ppm_G	Be_ppm_G	Bi_ppm_G	Co_ppm_G	Cr_ppm_G	Cu_ppm_G	Fe_ppm_G	Mn_ppm_G	Mo_ppm_G	Ni_ppm_G	Pb_ppm_G	S_ppm_G	Sb_ppm_G	Sn_ppm_G	V_ppm_G	W_ppm_G	Zn_ppm_G
AC 036	0.005	0.3	53500	11	2.9	24	39	9	595.4	150000	2280	15	10	56	200	14	10	117	292	469.4
AC 037	0.013	0.3	16300	37	0.5	28	26	7	150.7	150000	896	70	4	88	3700	16	14	96	114	433.1
AC 038	0.072	0.6	11300	100	1.6	34	20	4	252.6	150000	437	111	3	84	1400	16	11	6	14	682.8
AC 039	0.007	0.2	76500	5	1.4	5	12	13	44	22100	699	5	4	22	100	6	10	55	10	73.6
*DUP AC 036	0.008	0.4	52600	13	3.1	25	41	8	628.7	150000	2197	16	10	57	200	16	14	123	304	487.5
MDL-01	0.022	0.2	16400	8	0.5	5	6	594	45.1	88100	175	12	21	42	1400	5	10	13	30	190
MDL-02	0.025	0.4	41800	28	0.5	5	130	273	38.8	150000	306	110	14	56	73500	5	11	39	119	124.7
MDL-03	0.014	0.2	82000	13	3.1	5	9	157	48.3	28000	855	3	7	22	500	5	12	27	10	73.9
MDL-04	0.006	0.2	83000	7	1	5	15	237	38.3	30900	602	4	12	7	300	5	10	79	10	56.6
MDL-05	0.008	0.2	96100	8	1.1	5	20	97	58.8	36400	808	2	11	20	500	5	10	101	10	88.2
*DUP MDL-02	0.024	0.5	43100	28	0.5	5	130	286	38.1	150000	308	111	14	61	72800	8	10	39	116	130.6
AC001	0.011	0.4	23500	17	0.5	10	14	433	76.8	150000	327	45	11	69	3300	5	10	32	41	172
AC002	0.043	0.6	39200	3	0.5	8	67	337	16.9	150000	912	2	10	62	28800	5	10	91	182	130
AC003	0.011	0.2	48500	3	4.3	35	44	204	709.5	150000	1348	1	5	45	700	6	10	103	52	1745
AC004	0.005	0.7	47300	3	1.1	6	6	330	45.2	15600	524	6	10	16	400	9	10	8	10	103
AC005	0.005	0.4	61700	5	0.9	5	4	232	32	8100	282	2	6	38	1200	6	10	8	10	65
AC006	0.005	0.6	85800	3	0.5	5	21	230	56.1	45000	1080	8	20	50	1300	8	10	134	10	145
AC008	0.069	2.2	53800	49	0.5	7	43	199	12.7	150000	487	18	12	30	1300	7	10	145	64	74
AC009	0.005	0.2	85900	4	1.6	6	9	115	62.2	75300	1393	8	4	44	1700	8	40	71	10	137
*DUP AC009	0.005	0.2	86000	5	1.8	5	9	125	66.4	74600	1512	7	5	46	1700	9	44	79	10	134
AC 016	0.01	1	45100	51	2	5	16	352	167.4	87200	627	16	2	41	3600	5	12	6	13	120.6
AC 017	0.231	8.6	8500	16	0.5	6	1	675	156.3	74800	197	13	7	415	2000	5	10	4	10	425.4
AC 018	0.14	5.7	31500	65	0.8	5	3	326	68.2	60200	233	41	3	48	1300	6	10	30	10	104.7
AC 021	0.006	0.2	54700	14	1.1	14	26	231	20.6	134300	4749	6	29	9	400	5	16	126	69	311.7
AC 024	0.007	0.5	44500	10	0.5	5	14	383	82.8	47700	238	9	3	20	4900	5	10	4	10	76.4
AC 028	0.008	0.2	73200	295	1.2	5	1	200	132.3	49000	172	11	1	25	4300	5	10	8	10	40.7
AC 030	0.01	0.2	8800	14	0.5	6	1	714	29.4	66800	172	13	8	28	1400	7	10	14	10	25.8
AC 031	0.017	9.2	42900	89	2	27	1	323	121.8	142200	1308	81	1	199	18100	5	416	13	49	179.3
AC 032	0.006	0.2	35600	16	1.5	6	1	336	40.5	57200	345	15	3	38	400	10	68	7	14	42.3
AC 035	0.005	0.2	94300	3	2.6	10	5	157	20	40900	1355	1	1	9	100	5	12	90	10	98.2
*DUP AC 028	0.009	0.2	74000	294	1.2	5	1	202	139.6	50200	172	11	1	29	4400	5	10	10	10	41.6

ANEXOS B

PLANOS

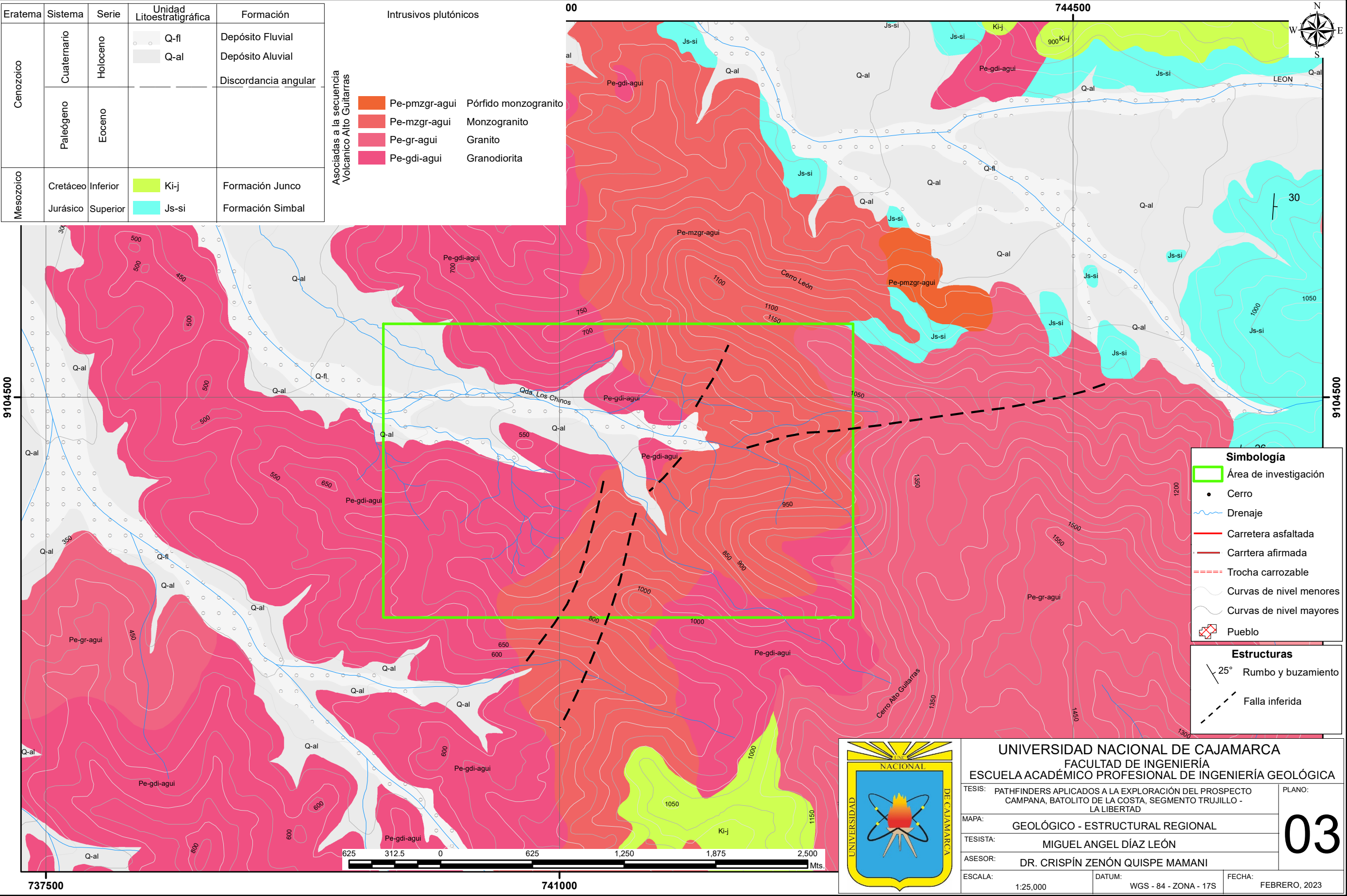


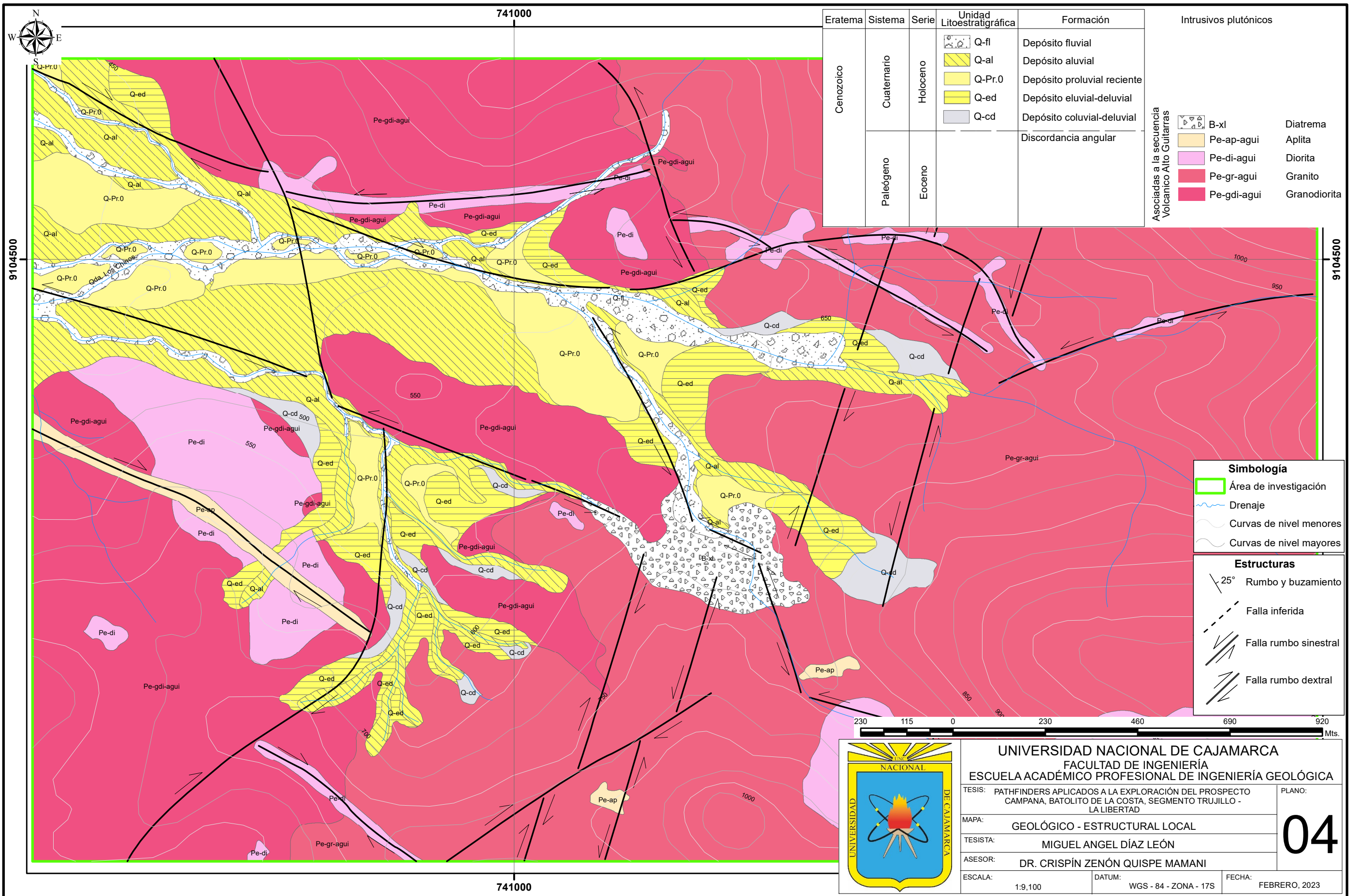


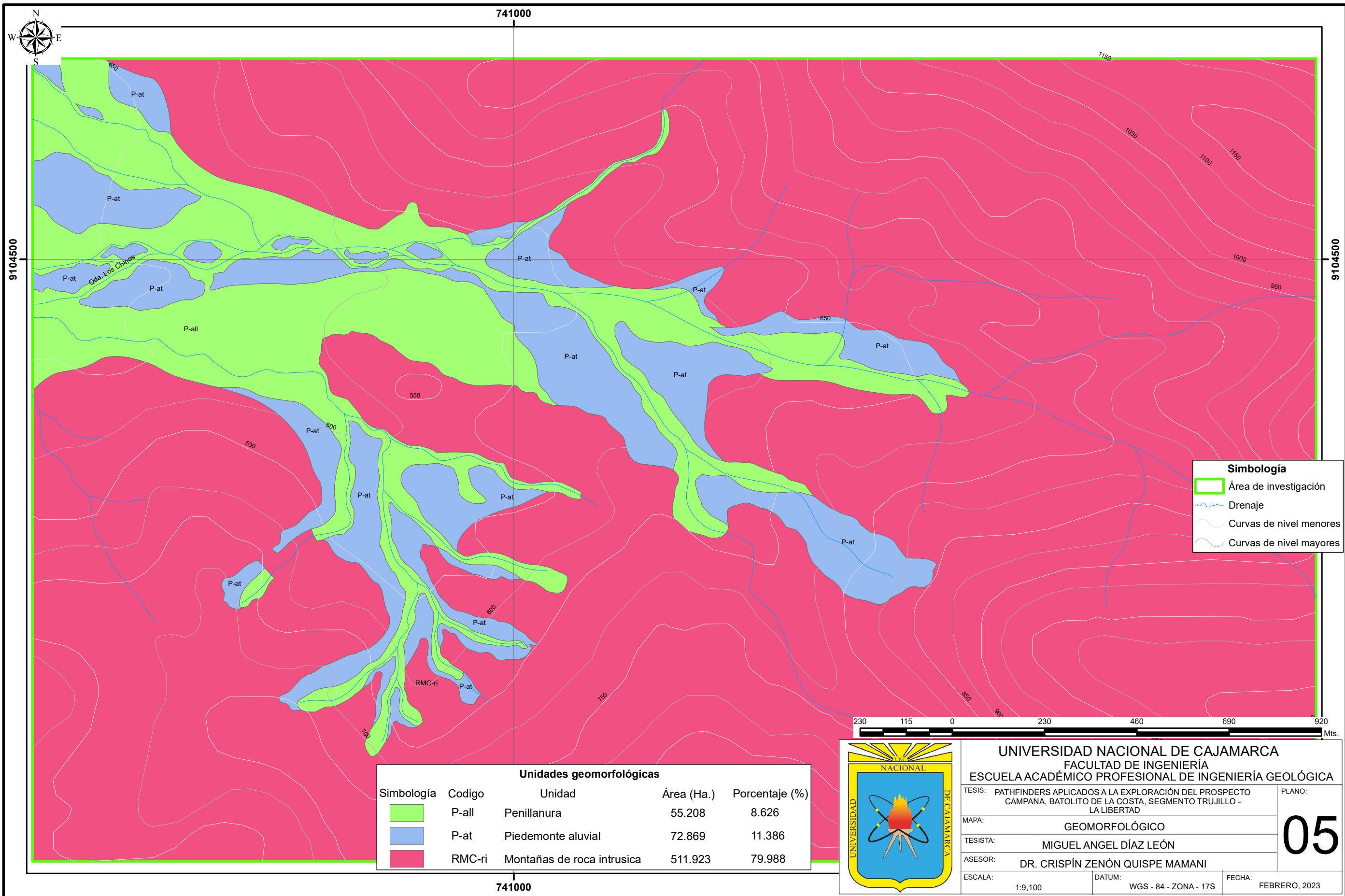
Eratema	Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica	Formación
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Q-fl	Depósito Fluvial
			Q-al	Depósito Aluvial
	Paleógeno	Eoceno		Discordancia angular
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Ki-j	Formación Junco
	Jurásico	Superior	Js-si	Formación Simbal

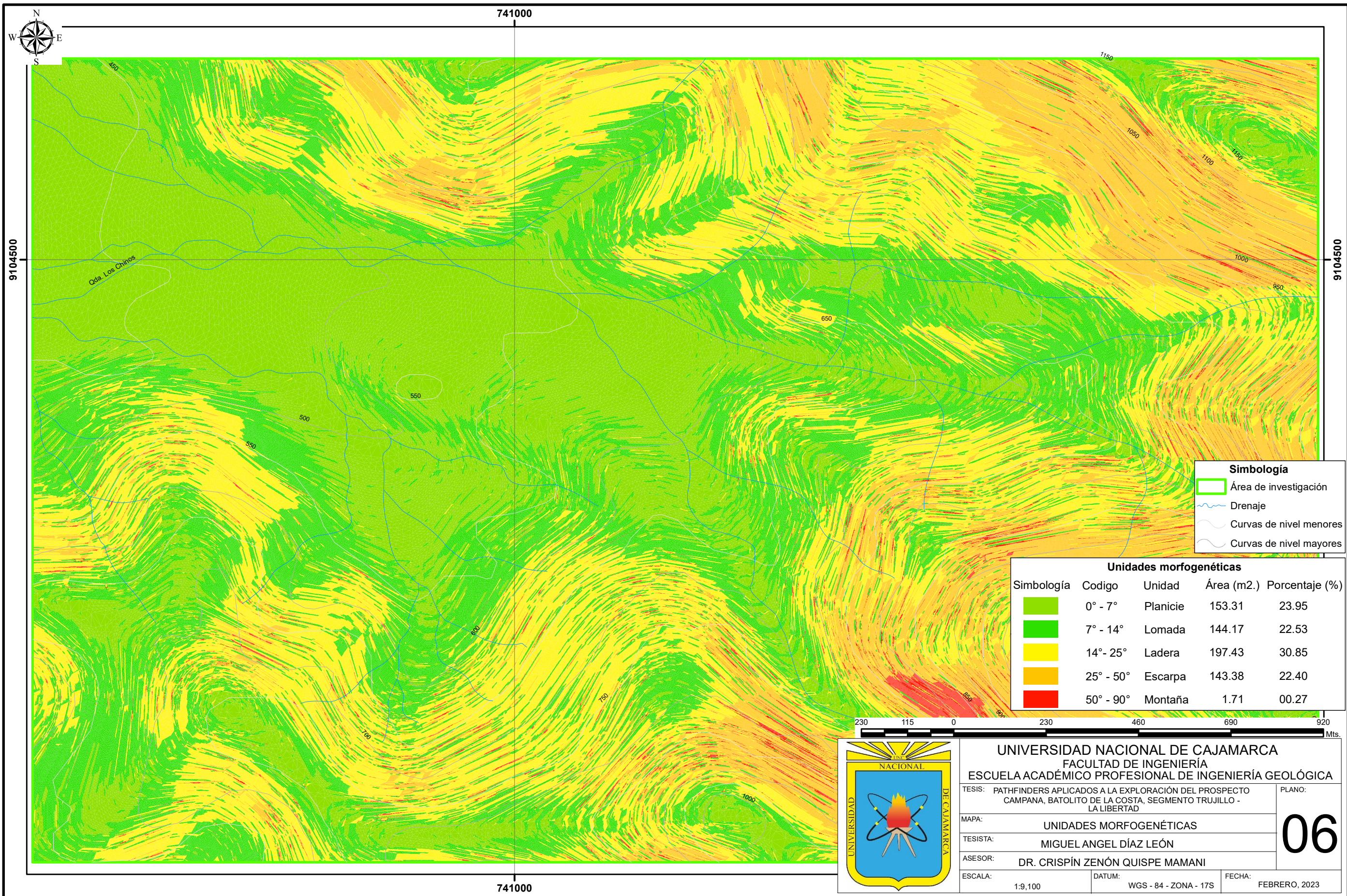
Intrusivos plutónicos	
Pe-pmzgr-agui	Pórfido monzogranito
Pe-mzgr-agui	Monzogranito
Pe-gr-agui	Granito
Pe-gdi-agui	Granodiorita

Asociadas a la secuencia Volcánico Alto Guitarras







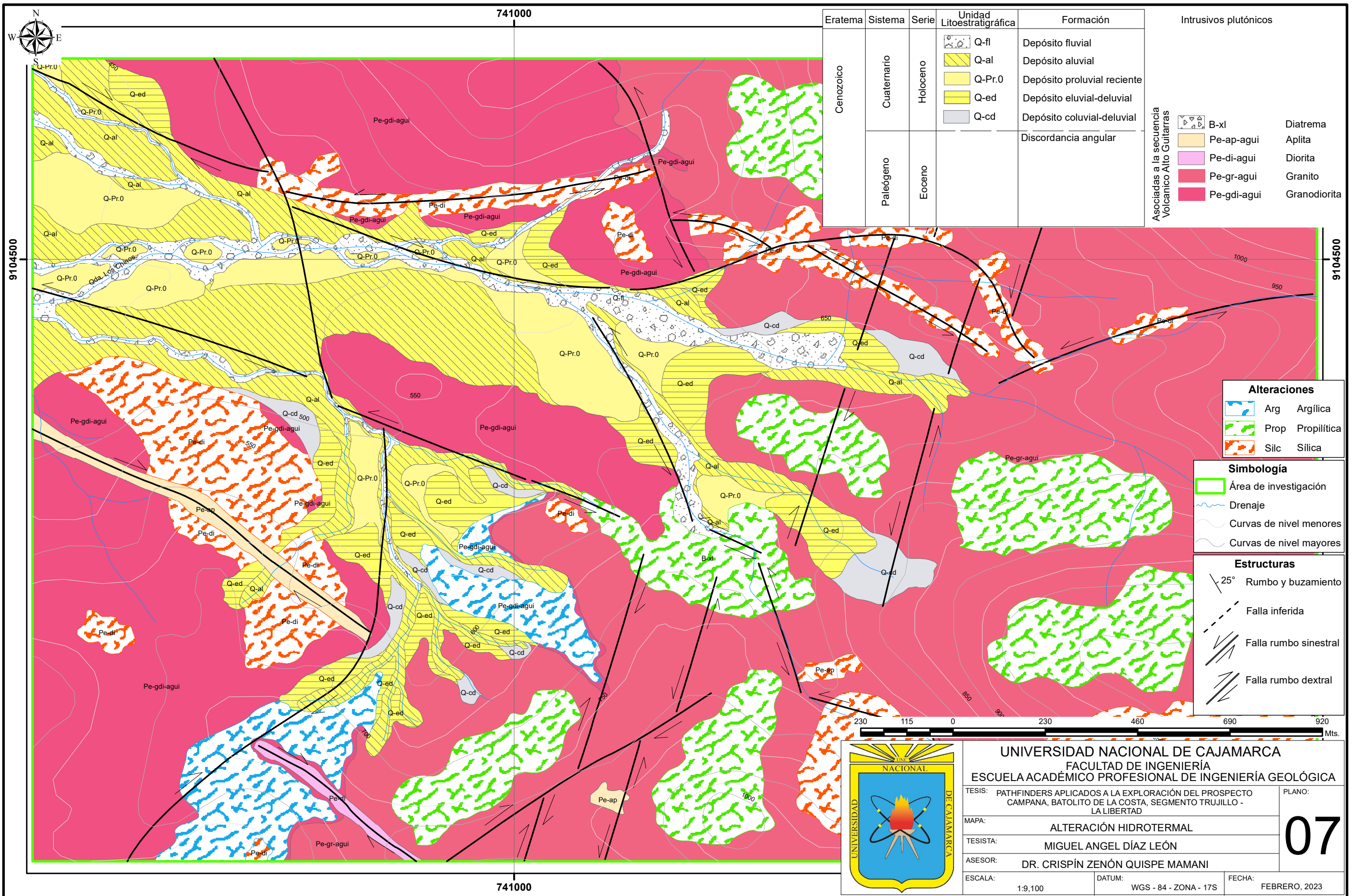


Simbología	
	Área de investigación
	Drenaje
	Curvas de nivel menores
	Curvas de nivel mayores

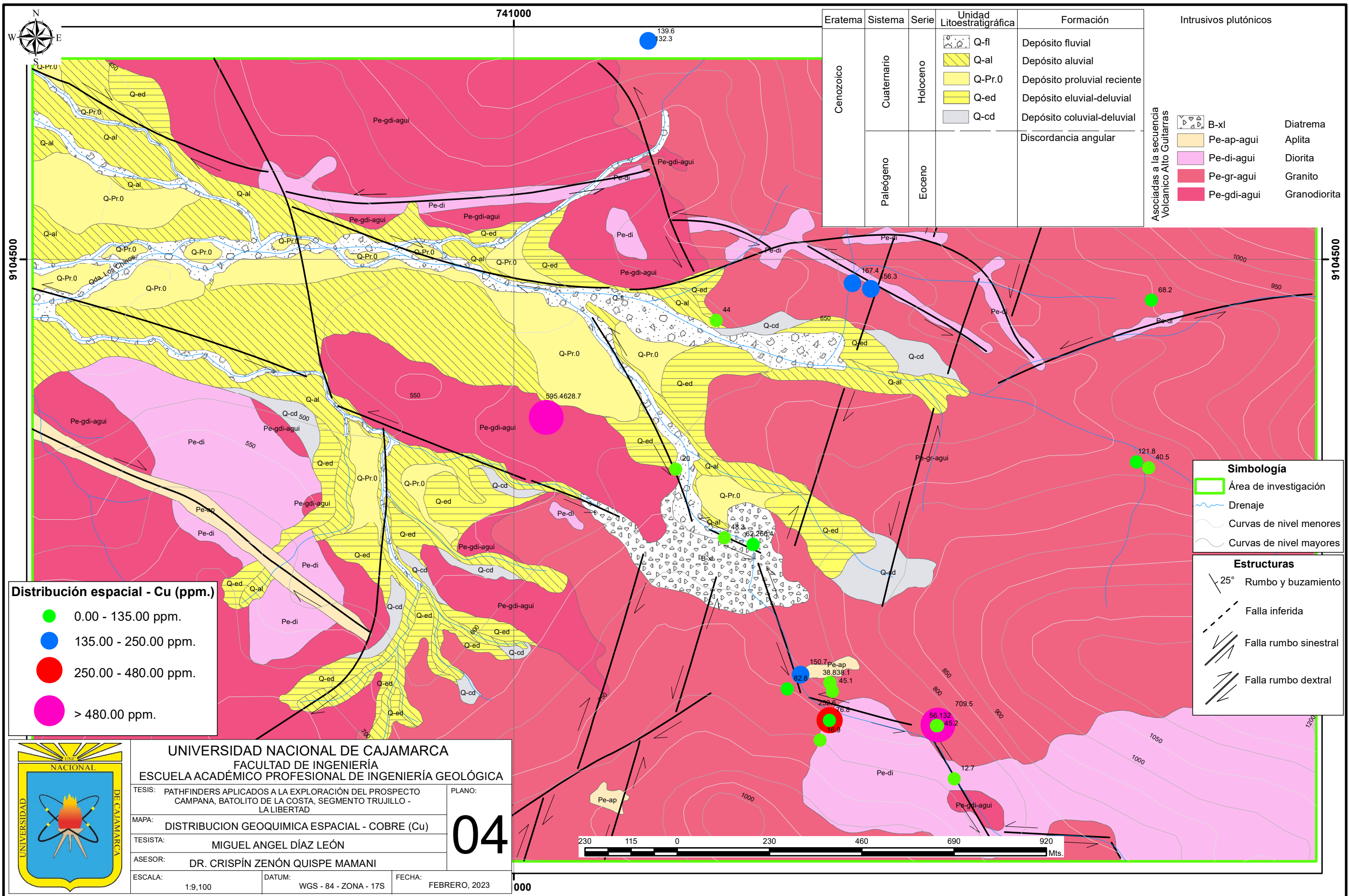
Unidades morfo genéticas				
Simbología	Codigo	Unidad	Área (m2.)	Porcentaje (%)
	0° - 7°	Planicie	153.31	23.95
	7° - 14°	Lomada	144.17	22.53
	14° - 25°	Ladera	197.43	30.85
	25° - 50°	Escarpa	143.38	22.40
	50° - 90°	Montaña	1.71	00.27

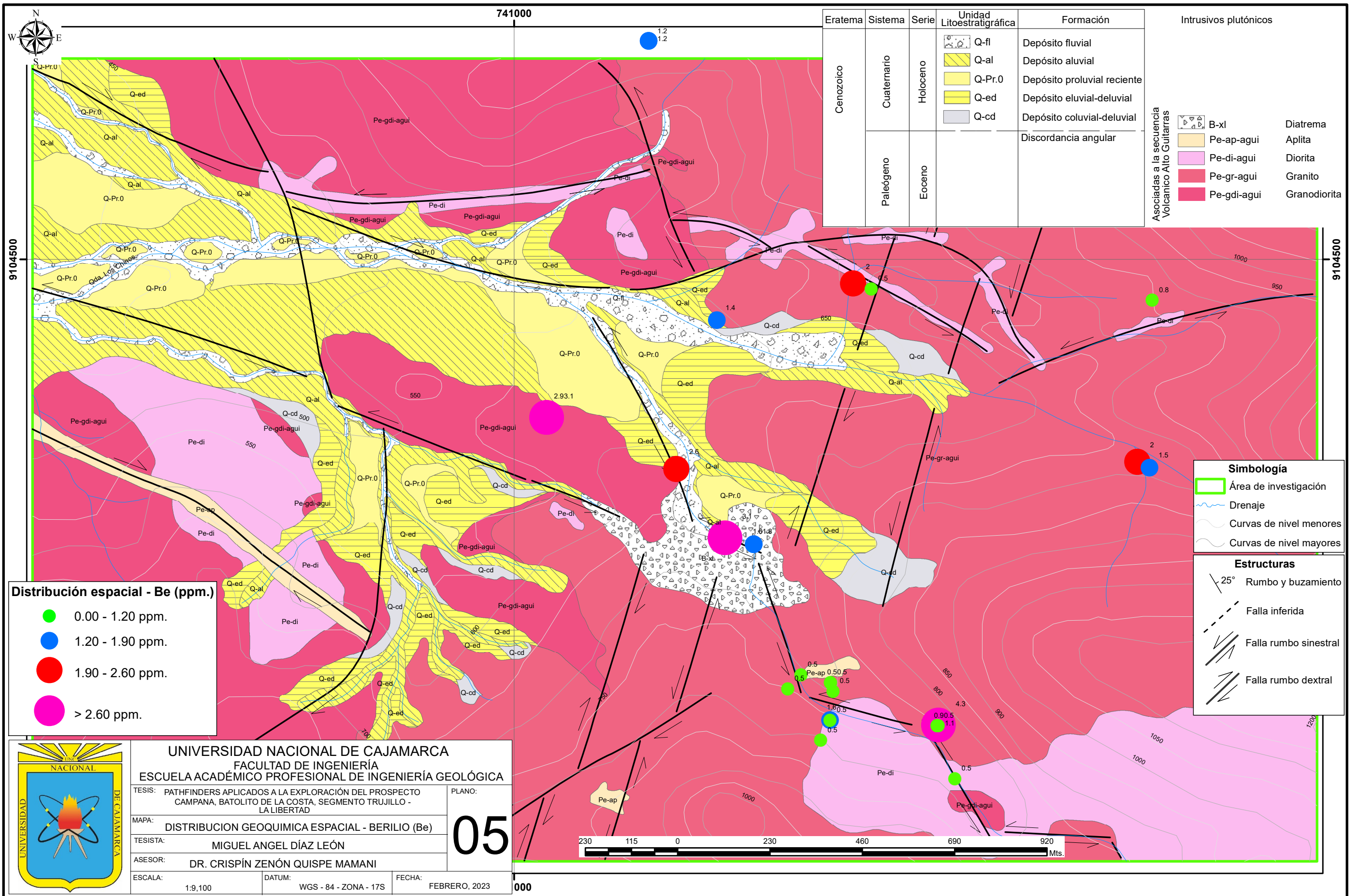


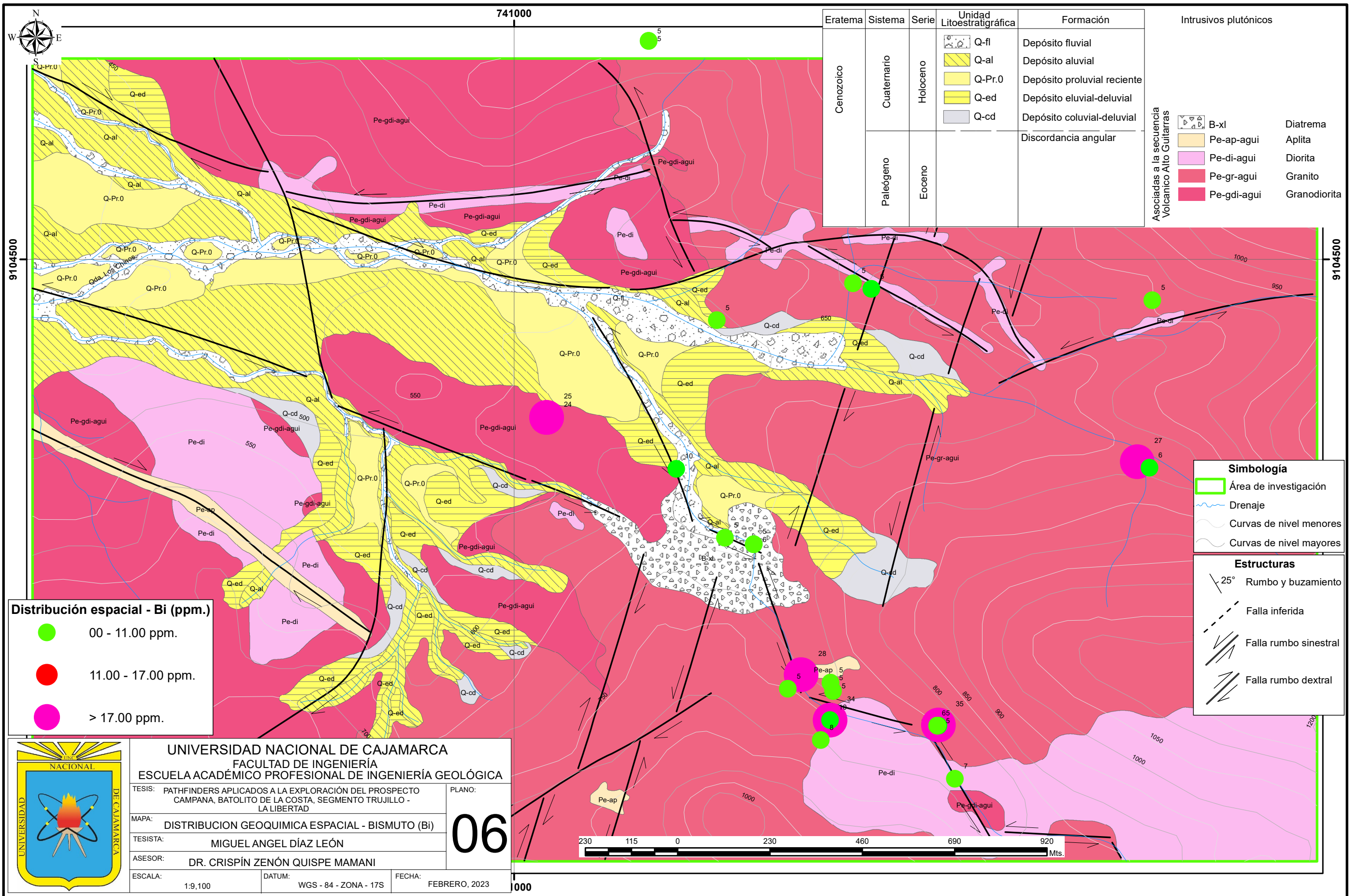
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
TESIS: PATHFINDERS APLICADOS A LA EXPLORACIÓN DEL PROSPECTO CAMPANA, BATOLITO DE LA COSTA, SEGMENTO TRUJILLO - LA LIBERTAD			PLANO:
MAPA: UNIDADES MORFOGENÉTICAS			06
TESISTA: MIGUEL ANGEL DÍAZ LEÓN			
ASESOR: DR. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI			
ESCALA: 1:9,100		DATUM: WGS - 84 - ZONA - 17S	FECHA: FEBRERO, 2023

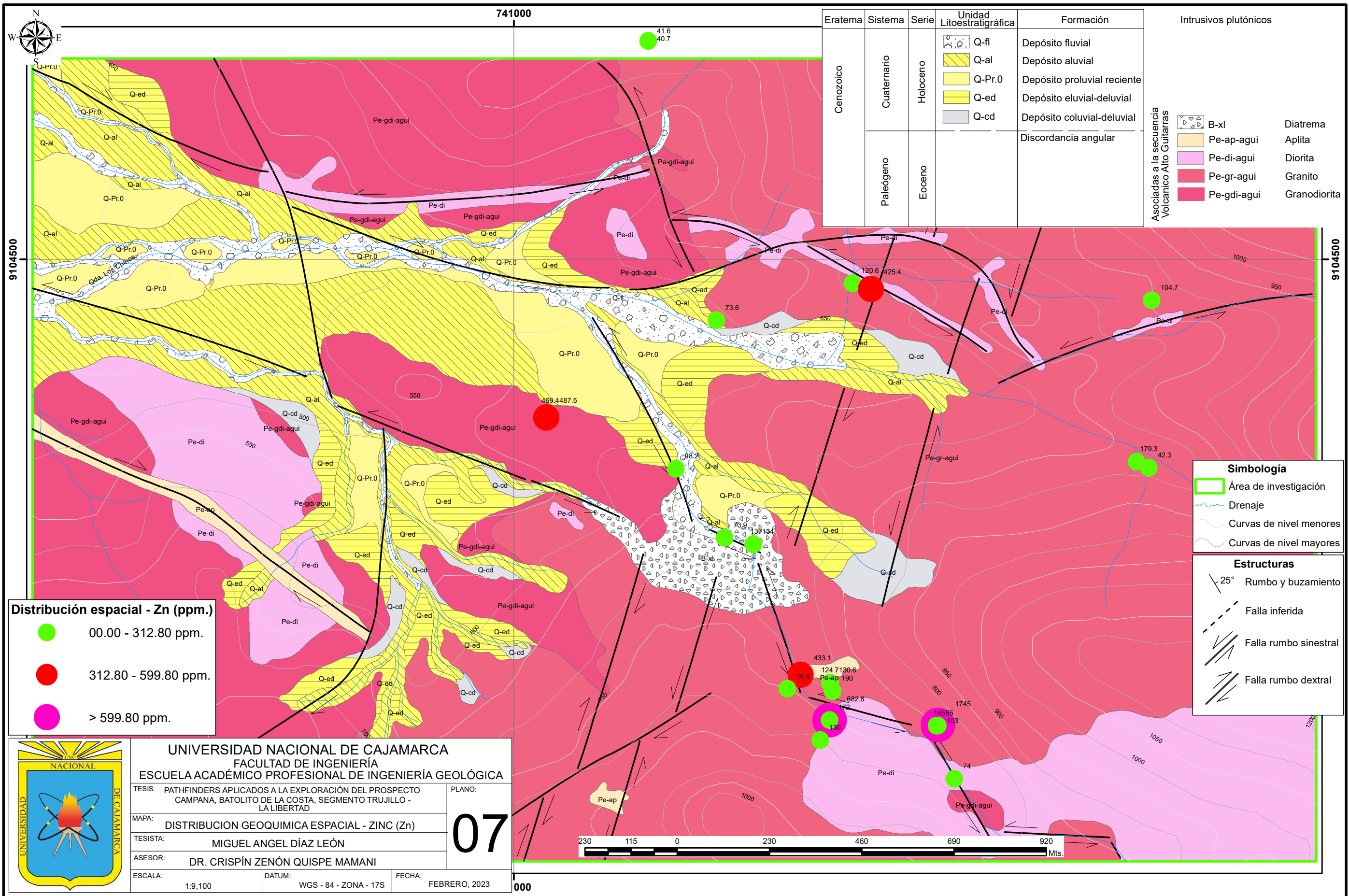


ANEXOS C
DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA ESPACIAL









ANEXOS D
COMPÓSITO DE LAS CONCENTRACIONES MINERALES

Au	0.000	0.105
	0.105	0.155
	> 0.155	
Pb	0.00	87.00
	87.00	171.00
	> 171.00	
Ag	0.00	1.70
	1.70	4.70
	4.70	6.20
	> 6.20	
Cu	0.00	135.00
	135.00	250.00
	250.00	480.00
	> 480.00	
Be	0.00	1.20
	1.20	1.90
	1.90	2.60
	> 2.60	
Bi	0.00	11.00
	11.00	17.00
	> 17.00	
Zn	0.00	312.80
	312.80	599.80
	> 599.80	

Compósito de concentración de elementos

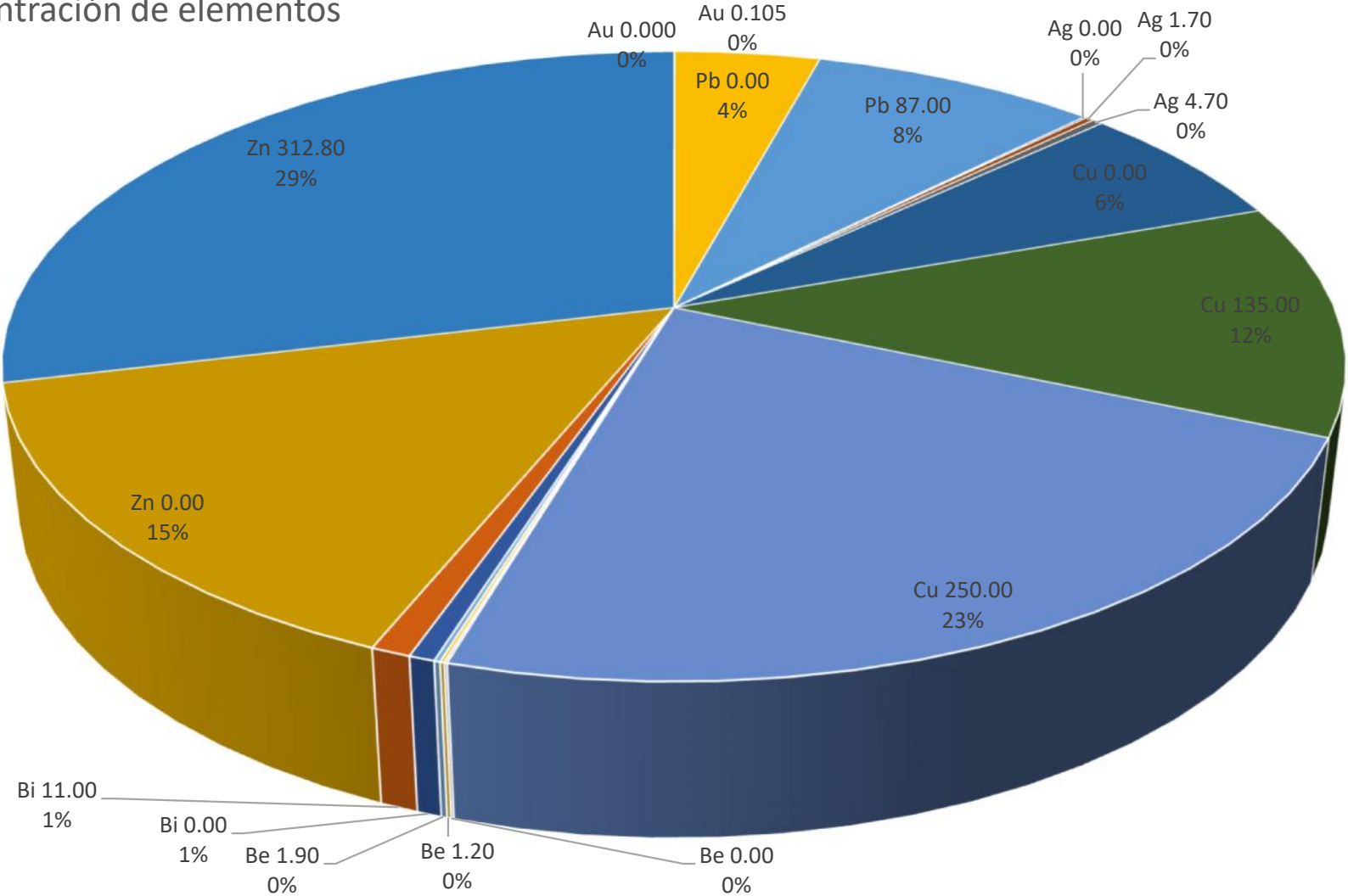


Figura 5.1. Compósito de concentraciones elementos