

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS:

**ESTUDIO DE LAS ESTRUCTURAS DE EMPLAZAMIENTO DE CUERPOS
ÍGNEOS PLUTÓNICOS ENTRE LA COMUNIDAD DE MICHQUILLAY Y EL
SECTOR EL PUNRE**

Para optar por el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

Bach. Kristian Fernando Heras Salazar

Asesor:

Mcs. Ing. José Alfredo Siveroni Morales

CAJAMARCA – PERÚ

2017

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera profesional. A mis padres por ser mi fortaleza y haberme dado la fuerza, el coraje y la valentía para seguir esta carrera.

A mi alma mater la Universidad Nacional de Cajamarca y a los docentes de la Escuela de Ingeniería Geológica por formarme profesionalmente. Agradecer también a mi asesor de tesis, M. Cs. Ing. José Siveroni Morales por el apoyo en la investigación y a los jurados por su revisión en este trabajo.

Un agradecimiento también al Ing. Víctor Rivasplata Melgar por su apoyo brindado durante la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico con mucho cariño a mis padres Nelly y William por sus consejos , perseverancia y por creer en mí en todo momento. A mi hermano Paul que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES	3
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. RELACIÓN ENTRE TECTÓNICA, MAGMATISMO Y MINERALIZACIÓN.....	5
2.2.2. EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL DE LA REGIÓN DE CAJAMARCA.	6
2.2.3. ESTRATIGRAFÍA, PLUTONISMO Y SU RELACIÓN CON ESTRUCTURAS PROFUNDAS.	8
2.2.4. LOS PROCESOS DE ASCENSO DEL MAGMA Y EMPLAZAMIENTO	10
2.2.5. NIVEL DE EMPLAZAMIENTO EPIZONAL DE LAS INTRUSIONES	11
2.2.6. ESTRUCTURAS DE EMPLAZAMIENTO INTRUSIVAS: PLUTONES CONCORDANTES Y DISCORDANTES.	12
2.2.7. TEXTURA DE LAS ROCAS ÍGNEAS.....	16
2.2.8. CLASIFICACIÓN MODAL DE ROCAS PLUTÓNICAS EN EL DOBLE TRIANGULO QAPF (STRECKEISEN, 1976)	17
2.2.9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL	19
2.2.10. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LAS ROCAS ENCONTRADAS EN LA REGIÓN CAJAMARCA (CRUZADO, 2009)	21
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	22
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	24
3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	24
3.1.2.-UBICACIÓN POLÍTICA.....	24
3.1.3.-ACCESIBILIDAD	26
3.1.4. CLIMA	28
3.1.5. VEGETACIÓN	28
3.1.6. HIDROLOGÍA	28

	Pág.
3.2. PROCEDIMIENTOS	30
3.2.1. METODOLOGÍA.....	31
3.2.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	31
3.2.3. TÉCNICAS.....	31
3.2.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.....	31
3.3. GEOLOGÍA LOCAL	32
3.3.1. GRUPO GOYLLARISQUIZGA.....	33
3.3.1.1. FORMACIÓN CHIMÚ.....	33
3.3.1.2. FORMACIÓN SANTA.....	33
3.3.1.3. FORMACIÓN CARHUÁZ.....	34
3.3.1.4. FORMACIÓN FARRAT.....	35
3.3.1.5. FORMACIÓN INCA.....	35
3.3.2. GRUPO CRISNEJAS.....	36
3.3.2.1. FORMACIÓN CHÚLEC.....	36
3.3.2.2. FORMACIÓN PARIATAMBO.....	36
3.3.3. GRUPO PULLUICANA.....	37
3.3.3.1. FORMACIÓN YUMAGUAL.....	37
3.3.3.2. FORMACIÓN MUJARRÚN.....	38
3.3.4. CUERPOS ÍGNEOS.....	38
3.3.5. DEPOSITOS CUATERNARIOS.....	55
3.4.-GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	55
3.4.1. ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.....	55
3.4.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA.....	66
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
4.1. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	71
4.2. ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES	72
4.3. ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS	72
4.4. ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE EMPLAZAMIENTO DE LOS CUERPOS ÍGNEOS PLUTÓNICOS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA ENCAJONANTE.	74
4.4.1. ESTRUCTURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO 01.....	75

	Pág.
4.4.2. ESTRUCTURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO	
02.	78
4.4.3. ESTRUCTURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO	
03.	81
4.4.4. ESTRUCTURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO	
04.	84
4.4.5. ESTRUCTURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO	
05.	87
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	90
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1. CONCLUSIONES	91
5.2. RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS	95

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo. _____	20
Tabla 2. Propiedades Geotécnicas de las rocas encontradas en la región Cajamarca ____	21
Tabla 3. Coordenadas de vertices en sistema UTM-Datum WGS84_____	24
Tabla 4. Vias de acceso a la zona de estudio. _____	26
Tabla 5. Variables independientes y dependientes. _____	31
Tabla 6. Coordenadas de ubicación del cuerpo ígneo N° 01 _____	40
Tabla 7. Coordenadas de ubicación del cuerpo ígneo N° 02 _____	43
Tabla 8. Coordenadas de ubicación del cuerpo ígneo N° 03 _____	46
Tabla 9. Coordenadas de ubicación del cuerpo ígneo N° 04 _____	49
Tabla 10. Coordenadas de ubicación del cuerpo ígneo N°05 _____	52
Tabla 11. Coordenadas de ubicación de falla geológica conjugada. _____	59
Tabla 12. Coordenadas de ubicación de pliegues formados en estratos de la Formación Yumagual _____	60
Tabla 13. Coordenadas de ubicación de pliegue sinclinal formado en estratos de la Formación Yumagual. _____	61
Tabla 14. Coordenadas de la Estación 01 para el análisis de diaclasas. _____	62
Tabla 15. Coordenadas de la Estación 02 para el análisis de diaclasas. _____	63
Tabla 16. Coordenadas de la Estación 03 para el análisis de diaclasas _____	64
Tabla 17. Coordenadas de la Estación 04 para el análisis de diaclasas. _____	65
Tabla 18. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Chimú _____	67
Tabla 20. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Carhuáz _____	67
Tabla 21. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Farrat. _____	68
Tabla 22. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Chúlec. _____	68
Tabla 23. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Pariatambo _____	68

	Pág.
Tabla 24. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Yumagual. _____	69
Tabla 25. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Mujarrun _____	69
Tabla 26. Tabla resumen de resultados de ensayo con Matillo de Schimdt _____	70
Tabla 27. Clase de roca a partir de la resistencia a la compresión simple _____	73

7

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Control litológico sobre el pórfido el Galeno. _____	4
Figura 2 : Sentido de movimiento del sistema de fallas Punre-Canchis _____	6
Figura 3. Mapa estructural y la sección transversal del noreste del distrito de Cajamarca _	7
Figura 4. Mapa geológico simplificado del área de estudio de Piquer (2010) _____	9
Figura 5. Secciones geológicas representativas del área de estudio de Piquer (2010) ____	10
Figura 6. Mecanismos posibles de ascenso de intrusivos _____	11
Figura 7. Nivel de emplazamiento de las intrusiones. _____	12
Figura 8 . Bloque –diagrama que muestra intrusiones concordantes y discordantes. ____	13
Figura 9. Esquema del crecimiento de un lacolito y un lopolito _____	14
Figura 10. Intrusión de capas horizontales en un ambiente tectónico extensional _____	15
Figura 11. Textura de las rocas ígneas _____	17
Figura 12. Clasificación modal de rocas ígneas plutónicas _____	18
Figura 13. Ubicación de la zona de estudio. _____	25
Figura 14. Accesibilidad a la zona de estudio _____	27
Figura 15. Plano Hidrológico de la zona de estudio _____	29
Figura 16. A la izquierda se observan los estratos de areniscas compactas de la formación Chimú y a la derecha el pórfido cuarzodiorita _____	33
Figura 17. Contactos entre las formaciones Chimu, Santa y Carhuaz _____	34
Figura 18. Intercalación de capas delgadas de areniscas rojizas con lutitas grises de la Formación Carhuaz _____	34
Figura 19. Afloramiento rocoso de areniscas blanquecinas de la Formación Farrat. ____	35
Figura 20. Estratos de calizas grises de la Formación Chúlec _____	36
Figura 21. Estratos delgados de la formación Pariatambo _____	37

	Pág.
Figura 22. Estratos de calizas con delgados niveles de lutitas de la Formación Yumagual	37
Figura 23. Estrato de calizas nodulares macizas de la Formación Mujarrún	38
Figura 24. Ubicación de los cuerpos ígneos identificados en la zona de estudio.	39
Figura 25. Cuerpo ígneo intrusivo con alteración supérgena.	40
Figura 26. Muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 01.	41
Figura 27. Triangulo de Streckeisen para clasificación del cuerpo ígneo plutónico 01	41
Figura 28. Bloques de rocas pertenecientes al cuerpo ígneo plutónico 02	43
Figura 29. Muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 02	44
Figura 30. Triangulo de Streckeisen para clasificación del cuerpo ígneo plutónico 02	45
Figura 31. Cuerpo ígneo plutónico 03	46
Figura 32. Muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 03	47
Figura 33. Triangulo de Streckeisen para clasificación del cuerpo ígneo plutónico 03	48
Figura 34. Pórfido con desarrollo de diaclasamiento catafilar.	49
Figura 35. Muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 04	50
Figura 36. Triangulo de Streckeisen para clasificación del cuerpo ígneo plutónico 04	51
Figura 37. Parte central del stock mineralizado de Michiquillay	52
Figura 38. Muestra de mano de una roca obtenida del cuerpo ígneo N° 05	53
Figura 39. Triangulo de Streckeisen para clasificación del cuerpo ígneo plutónico 05	51
Figura 40. Ubicación de las fallas geológicas en la zona de estudio	57
Figura 41. Ubicación de la falla principal Punre-Canchis y su sistema de fallas asociado	58
Figura 42. Falla normal con presencia de una falla conjugada	59
Figura 43. Estratos plegados de la formación Chimú en el frente de corrimiento.	60
Figura 44. Pliegues en estratos de calizas de la Formación Yumagual.	60
Figura 45. Pliegue sinclinal en Estratos de la formación Yumagual	61
Figura 46. Familias de diaclasas en estratos de calizas de la formación Yumagual	61
Figura 47. Familias de diaclasas en estratos de areniscas de la Formación Carhuaz	61
Figura 48. Proyección estereográfica de diaclasas en Estación 01	62
Figura 49. Roseta de diaclasas de la Estación 01	62
Figura 50. Proyección estereográfica de diaclasas en Estación 02	63
Figura 51. Roseta de diaclasas en Estación 02	63
Figura 52. Proyección estereográfica de diaclasas en la estación 03.	64
Figura 53. Roseta de diaclasas de la Estación 03	64
Figura 54. Proyección estereográfica de diaclasas de la estación 04	65

	Pág.
Figura 55. Roseta de diaclasas de la Estación 04 _____	65
Figura 56. Uso de martillo de Schmidt sobre estrato de areniscas de la Formación Chimu	67
Figura 57. Uso de martillo de Schmidt en estrato de areniscas de la Formación Carhuaz_	67
Figura 58. Uso de martillo de Schmidt en estrato de areniscas de la Formación Farrat. __	68
Figura 59. Uso de martillo de Schmidt en estrato de calizas de la formación Chulec. ___	68
Figura 60. Uso de martillo de Schmidt en estrado de calizas de Formación Pariatambo. 68	68
Figura 61. Uso de martillo de Schmidt en estratos de calizas de la Formación Yumagual	69
Figura 62. Uso de martillo de Schmidt en estratos de calizas de la Formación Mujarrún. 69	69
Figura 63. Representación del emplazamiento del cuerpo ígneo plutónico 01 _____	76
Figura 64. Sección geológica del cuerpo ígneo plutónico 01. _____	77
Figura 65. Representación del emplazamiento del cuerpo ígneo plutónico 02 _____	79
Figura 66. Sección geológica del cuerpo ígneo plutónico 02. _____	80
Figura 67. Representación del emplazamiento del cuerpo ígneo plutónico 03 _____	82
Figura 68 Sección geológica del cuerpo ígneo plutónico 03 _____	83
Figura 69. Representación del emplazamiento del cuerpo ígneo plutónico 04 _____	85
Figura 70. Sección geológica del cuerpo ígneo plutónico 04 _____	86
Figura 71. Representación del emplazamiento del cuerpo ígneo plutónico 05 _____	88
Figura 72. Sección geológica del cuerpo ígneo plutónico 05 _____	89
Figura 73. Fotografía desde el Pórfido cuarzodiorita (Cuerpo ígneo plutónico 02) _____	96
Figura 74. Pórfido cuarzodiorita con evidencia de diaclasamiento catafilar. _____	96
Figura 75. Vista del pórfido Michiquillay (cuerpo ígneo plutónico 05) _____	97
Figura 76. Estratos de la Formación Chimú en frente de cabalgamiento _____	97
Figura 77. Techo colgado de areniscas sobre el pórfido de Michiquillay _____	95
Figura 78. Paleocanales característicos en la Formación Carhuaz. _____	98

RESUMEN.

El presente estudio fue desarrollado en el área ubicada entre la Comunidad de Michiquillay y el Sector el Punre, Distrito de La Encañada, Provincia y Departamento de Cajamarca; con la finalidad de mostrar un mejor detalle de las características de emplazamiento magmático que dio origen a los cuerpos ígneos plutónicos, basándose en su geometría y en la relación con la roca encajonante, surge la pregunta: ¿Cómo se presentan las estructuras de emplazamiento de cuerpos ígneos plutónicos en función a la resistencia de la roca encajonante?, teniendo en cuenta que las formaciones geológicas que presentan menor resistencia constituyen zonas favorables para el desplazamiento del magma a través de sus capas debido a la mayor ocurrencia de discontinuidades en sus unidades y al comportamiento plástico de su litología. Se identificaron cinco pórfidos cuarzodiorita intruyendo a secuencias sedimentarias del Cretácico Superior e Inferior, constituyendo una franja con rumbo NW-SE paralelos a la Falla Punre-Canchis y cuyas fallas asociadas serían el principal control estructural para el emplazamiento magmático. A partir de determinar la continuidad de la estratificación antes y después del cuerpo ígneo, el cartografiado geológico y los datos de resistencia se determinó que las intrusiones iniciales se emplazarían de manera discordante a modo de dique en aquellas formaciones geológicas cuya litología presenta mayor resistencia como en las Formaciones Chimú y Farrát, cambiando su emplazamiento al ascender hasta capas débiles de rocas en las que el magma se emplazaría de manera concordante, configurando estructuras tipo Sill, en las formaciones geológicas que presentan menor resistencia como lo son las Formaciones Santa, Carhuáz, Inca, Chúlec y Mujarrún.

Palabras claves: ígneo, plutónico, pórfido, estructura, emplazamiento, resistencia, concordancia.

ABSTRACT

The present study was developed in the area located between the Community of Michiquillay and the sector Punre, District of the Encañada, Province and Department of Cajamarca; with the purpose of showing a better detail of the characteristics of the magmatic emplacement that gave rise to the igneous plutonic bodies, based on its geometry and the relationship with the boxing rock, the question arise : How are the structures of plutonic ignition bodies presented as a function of the strength of the encasing rock?, taking into account that the geological formations that present less resistance are favorable zones for the displacement of the magma through its layers due to the greater occurrence of discontinuities in its units and to the plastic behavior of its lithology. Five porphyries were identified quartzodiorite instructing sedimentary sequences of the Upper and Lower Cretaceous, constituting a strip with NW-SE heading parallel to the Punre-Canchis fault and whose associated faults would be the main structural control for the magmatic site. From the determination of the continuity of the stratification before and after the igneous body, the geological mapping and the resistance data, it was determined that the initial intrusions would be discordantly placed as a dam in those geological formations whose lithology presents greater resistance as in The Chimú and Farrát Formations, changing its location by ascending to weak layers of rocks in which the magma would be located in a concordant way, forming Sill structures, in geological formations that present less resistance, such as the Santa, Carhuáz, Inca, Chúlec and Mujarrún Formations.

Key words: igneous, plutonic, porphyry, structure, emplacement, strength, concordance.

CAPÍTULO I:

INTRODUCCIÓN

Es de amplia difusión académico científico que las estructuras de emplazamiento de cuerpos intrusivos a nivel regional y local, en el norte del Perú, presentan una geometría tubular concéntrica (Davies, 2002; Rivera, 2008) de configuración cortante en su totalidad; pero, eso no es todo cierto, así lo demuestran los estudios de Piquer, J. et al. (2010) en donde las raíces de los cuerpos son canalizados a través de fallas corticales profundas y en superficie estas tienen a alojarse en zonas de debilidad como los contactos entre formación y/o formaciones geológicas menos rígidas (Lillo, J. & Oyarzun R. 2013). Es así que el presente estudio, se plantea mostrar una configuración geométrica de emplazamiento, para la ocurrencia de stocks intrusivos para el tramo comprendido entre la Comunidad de Michiquillay y el Sector El Punre, con tendencia a estructuras tipo sill, lacolito y/o lapolito, todos enmarcados dentro de un cuasi paralelismo a las rocas sedimentarias encajonantes.

El problema que plantea esta tesis es el resolver la siguiente interrogante; ¿Cómo se presentan las estructuras de emplazamiento de cuerpos ígneos plutónicos considerando la resistencia de la roca encajonante de las secuencias sedimentarias ubicadas entre la Comunidad de Michiquillay y el Sector el Punre?, para de esta manera definir esquemas y/o modelos de intrusión a nivel somero/epizonal en la corteza terrestre, menores a 8 Km de profundidad (Best, 1982) y mostrar un mejor detalle de las características geométricas de emplazamiento en las columnas estratigráficas locales.

Como objetivo principal se pretende es realizar el estudio de las estructuras de emplazamiento de cuerpos ígneos plutónicos entre la comunidad de Michiquillay y el sector El Punre.

Como objetivos específicos la investigación se plantea: identificar las características geológico-estructurales de la zona de estudio, caracterizar las formaciones geológicas en base a su resistencia a la compresión uniaxial y determinar las estructuras de emplazamiento de los cuerpos ígneos plutónicos y la relación existente con la resistencia de la roca encajonante.

La hipótesis plantea que los cuerpos ígneos plutónicos ubicados entre la comunidad de Michiquillay y el sector El Punre se encuentran emplazados configurando estructuras sub-paralelas a paralelas a las rocas encajonantes determinando estructuras tipo Sill , las cuales aprovechan unidades formacionales de menor rigidez y con características plásticas para su emplazamiento.

Este proyecto de investigación se encuentra dividido en V Capítulos, en el Capítulo I se muestra el origen del problema, importancia y objetivos de la investigación, en el Capítulo II que corresponde al marco teórico se ha seleccionado antecedentes para la investigación entre ellas algunos nacionales y locales, además de la base teórica y definición de términos. En el Capítulo III se han descrito algunas generalidades del proyecto, procedimientos en la recopilación de información de campo, materiales y métodos, se manifiesta la geología y geología estructural , además de una descripción petrográfica macroscópica de los cuerpos ígneos identificado en la zona de estudio, en el Capítulo IV se procedió a analizar y discutir los resultados siguiendo el orden de los objetivos planteados; en Capítulo V se darán a conocer las conclusiones a las cuales se han llegado a si como las recomendaciones y referencias bibliográficas usadas en el proyecto de investigación.

CAPITULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Dentro de los antecedentes más resaltantes podemos mencionar:

Rivera (2008), Geoquímica Isotópica de Plomo en los Pórfidos Miocénicos del Norte del Perú – Región Cajamarca. Esta tesis tuvo como objetivo determinar la fuente de mineralización de los Pórfidos Au-Cu y Cu-Au-Mo en la zona de estudio, así como también estimar la influencia que ejerce la roca caja con respecto a la mineralización en los dos diferentes tipos de depósitos porfiríticos.

En base a la distribución espacial, el sentido de la evolución geocronológica y las similitudes geoquímicas le permitió relacionar a los sistemas porfiríticos de la región de Cajamarca a un común control estructural regional (Falla Punre-Canchis).

Rivera (2007), Características Estructurales de los centros mineralizados del Galeno y Michiquillay. El presente estudio se realizó dentro del marco del Proyecto GR4: “Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) y su Asociación a los Yacimientos Epitermales en el Norte del Perú “en la dirección de Recursos Minerales y Energéticos del INGEMMET.

En su investigación estudia las características estructurales que influyen en el emplazamiento de los centros mineralizados de El Galeno y Michiquillay. Mediante el modelamiento del pórfido se ha podido observar un fuerte control litológico por parte de la roca caja, que jugó un papel muy importante en el emplazamiento del mismo. Así de esta manera se tiene que cuando el cuerpo porfirítico corta las cuarcitas de la Fm. Chimú el contacto es muy cercano a la vertical, pero cuando el cuerpo intrusivo corta las formaciones Santa y Carhuaz el cuerpo porfirítico se expande o interdigita. Esto posiblemente debido a la reología de la roca.

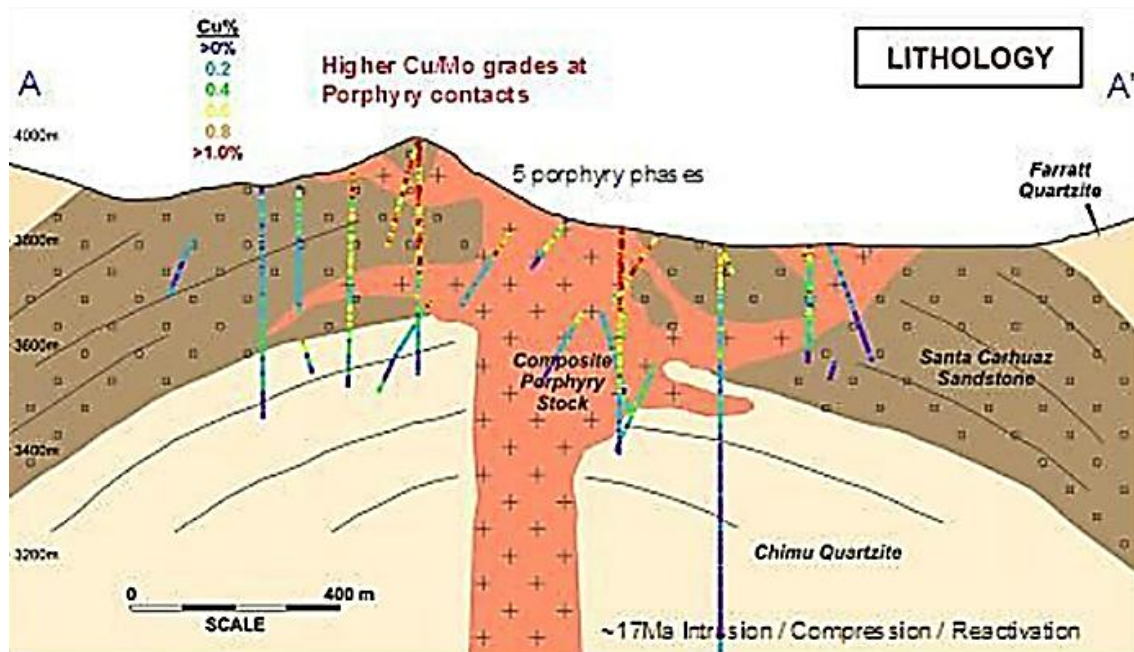


Figura 1 : Control litológico sobre el pórfido el Galeno. Fuente: Características Metalogénicas de los Yacimientos Asociados al Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú, Región Cajamarca (Rivera, 2007).

Michiquillay es un sistema porfirítico Cu-Au-Mo. Este sistema es paralelo al sistema estructural de fallas y pliegues con una orientación general NW. La intrusión fue emplazada en hanging wall de la falla de Michiquillay que buza moderadamente (aprox. 60°) hacia el noreste.

Hollister y Sirvas (1974) sugiere que el complejo de Michiquillay está localizado en la intersección de las fallas Michiquillay con la Encañada (NE). Las fallas predominantemente ocurren hacia el centro del sistema intrusivo y fueron reconocidas por un incremento en la densidad de fracturas hacia la parte central de las zonas de falla (Davies, 2002). Las fallas que cortan la falla Michiquillay y el complejo intrusivo mineralizado tienen desplazamiento sinistral (Davies, 2002).

Davies (2002), Tectonic, Magmatic and Metallogenic Evolution of the Cajamarca Mining District, Northern Peru. Esta tesis investiga los controles tectónicos, magmáticos y geológicos en los centros mineralizados en Cajamarca, se enfoca en las zonas de Michiquillay y el Galeno.

Con base en los hallazgos de este estudio combinado con el trabajo previo (Hollister y Sirvas, 1974; McInnes, 1997), interpreto que el emplazamiento del pórfido Michiquillay durante la primera mitad de Mioceno (~ 19.8 Ma) fue estructuralmente controlado por la falla de

Michiquillay. En su investigación realiza una descripción de la geología, alteraciones y controles estructurales que dieron origen al emplazamiento del Complejo de Michiquillay.

Reyes (1980), Geología De Los Cuadrángulos De Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Estudio ejecutado por el Servicio de Geología y Minería y publicados por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, realizados a escala 1:100 000.

En el estudio realizado describe al depósito cuprífero de Michiquillay como un stock de dacita porfirítica o monzonita cuarcífera, totalmente fracturada y alterada, que intruye a rocas del Cretáceo inferior.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. RELACIÓN ENTRE LA TECTÓNICA, MAGMATISMO Y MINERALIZACIÓN

Uno de los principales factores que controló el magmatismo (plutonismo – volcanismo) en el norte del Perú, fue la dirección del movimiento de la placa tectónica oceánica (placa de Nazca) y sus diferentes razones de convergencia. Antes del Mioceno la placa de Nazca tenía una dirección de convergencia NE (Pardo-Casas y Molnar, 1987) .Fue durante el Mioceno temprano que la actividad magmática se reinició (aprox. 23 Ma). La característica tectónica más importante del Mioceno temprano fue la rotación en sentido del reloj de la dirección de convergencia de la placa de Nazca (aprox. 20 grados) (Pardo-Casas y Molnar, 1987).

El origen de la falla Punre-Canchis (Quispe et al., 2007) se piensa está relacionada a este tectonismo de placa. El comportamiento inicial de esta falla regional fue de rumbo con sentido dextral Fig. 2a, con una clara componente compresional. Es durante el Mioceno temprano que debido al giro en sentido del reloj de la dirección de convergencia de la placa de Nazca Fig.2b, que la falla Punre-Canchis se reactiva. La característica principal de la reactivación de la falla es que cambia su sentido de movimiento a un comportamiento sinistral, con una fuerte componente compresional, pero además con una clara componente tensional en las zonas de inflexión de la falla.

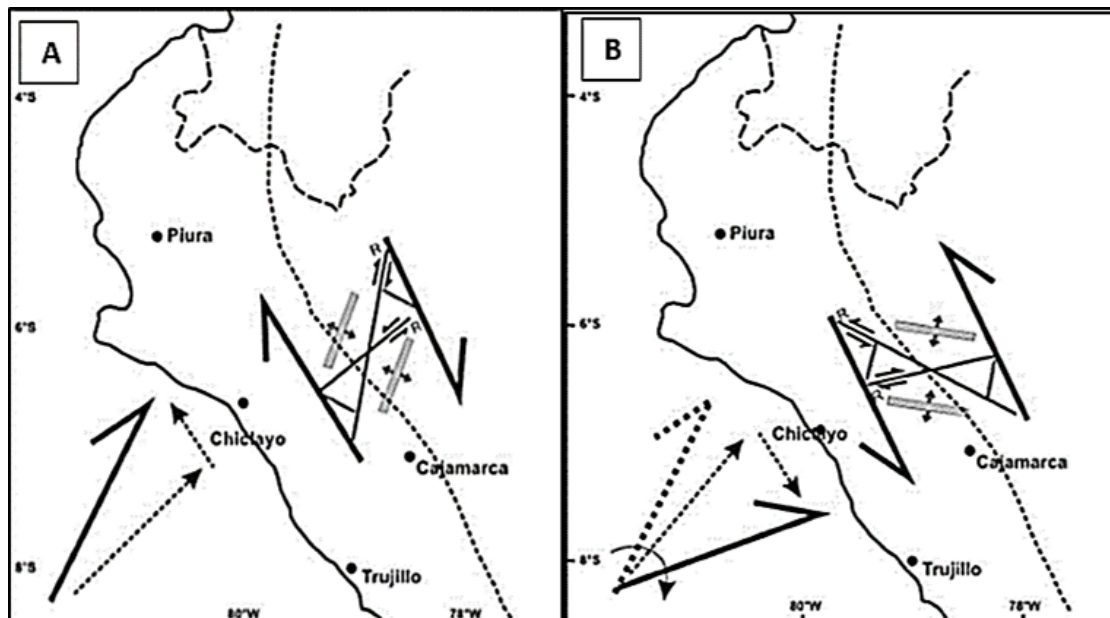


Figura 2: 2 a. Sentido de movimiento del sistema de fallas Punre-Canchis durante el Paleógeno (Modelo Riedel) y Fig. 2b. Sentido del movimiento de fallas Punre-Canchis durante el Mioceno (Modelo Riedel). Fuente: Rivera (2008). Geoquímica Isotópica de Plomo en los Pórfidos Miocénicos del Norte del Perú- Región Cajamarca.

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

Los volcanes, los stocks subvolcánicos y diques son comúnmente emplazados a lo largo de fallas. Estas zonas de falla pueden haberse formado contemporáneamente con el magmatismo o pueden haber sido estructuras mucha más antiguas reactivadas durante el magmatismo (Bussell, 1976; Shaw, 1980). En forma resumida el principal control estructural de los sistemas porfiríticos a nivel regional fue la falla Punre-Canchis y todo su sistema de fallas asociados (Davies, 2002).

2.2.2. EVOLUCIÓN ESTRUCTURAL DE LA REGIÓN DE CAJAMARCA.

Davies (2002). El distrito de Cajamarca se encuentra ubicado en la Cordillera Occidental del norte de Perú. La región se caracteriza por rocas sedimentarias del Cretácico marino deformadas que han sufrido varias fases de deformación ya que desde el Paleógeno sido invadido por múltiples fases magmáticas. En el área de estudio, el análisis de las rocas sedimentarias cubre un área de $\sim 1.250 \text{ Km}^2$ (Fig. 3). En general, éstos se caracterizan por fallas extensionales en pequeña escala superpuestas en escala regional a pliegues. Los planos de estratificación en toda la zona tienen una orientación de aproximadamente NW-SE (23° - 213°).

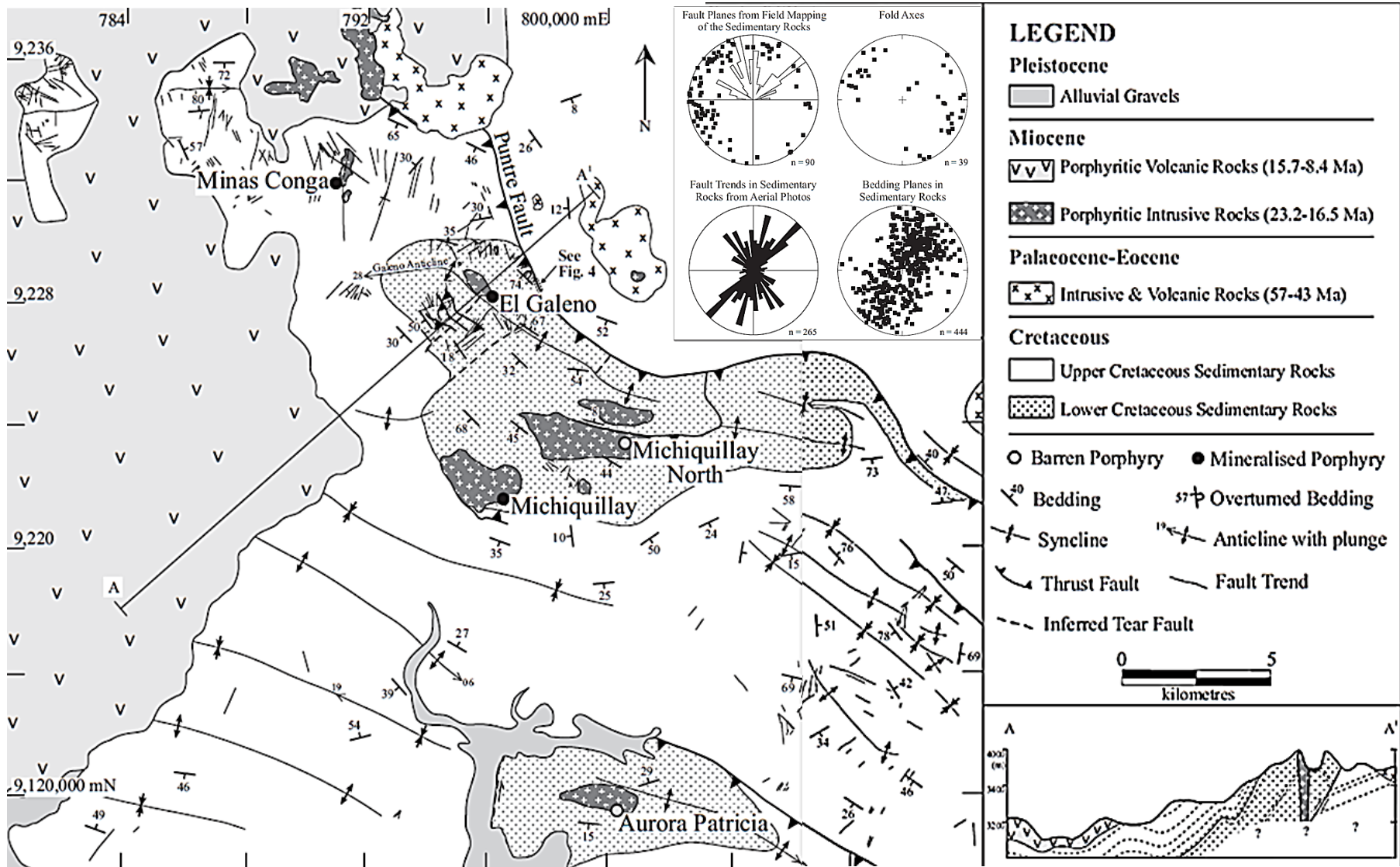


Figura 3. Mapa estructural y la sección transversal del noreste del distrito de Cajamarca donde se presentan las características estructurales importantes en las rocas deformadas sedimentarias del Cretácico. Fuente: Tectonic, Magmatic and Metallogenic Evolution of the Cajamarca Mining District, Northern Peru, Davies, 2002.

2.2.3. ESTRATIGRAFÍA, PLUTONISMO Y SU RELACIÓN CON ESTRUCTURAS PROFUNDAS.

Piquer (2010) El estudio de la evolución geológica cenozoica del sector central de la Cordillera Principal de Chile, a $\sim 35^{\circ}\text{S}$, determinando que se encuentra íntimamente relacionada con la evolución de estructuras profundas, está controlada, en las distintas etapas de su historia, tanto por la depositación de secuencias volcano-sedimentarias como por el ascenso y emplazamiento de cuerpos intrusivos.

Durante el Mioceno Tardío se produjo (sintectónicamente) el ascenso de importantes volúmenes de magma mediante diques fuertemente desorientados, perpendiculares a σ_1 , que intruyeron a través de la zona de debilidad asociada al Sistema de Fallas Infiernillo-Los Cipreses, los que evolucionaron desde una composición diorítica, hacia productos más diferenciados como granodioritas y pórfidos dacíticos y riodacíticos. El emplazamiento ocurrió hacia el oeste de los canales de ascenso de magmas, en el bloque alzado de la falla, principalmente en discontinuidades subhorizontales asociadas a estratificación de la Formación Abanico, cuya apertura se vio favorecida por la existencia de un régimen tectónico compresivo (σ_1 subhorizontal y σ_3 vertical).

En las siguientes imágenes se observan las secciones geológicas se observan el mapa geológico (Fig.4) y las secciones geológicas (Fig5.) en el área estudiada por Piquer.

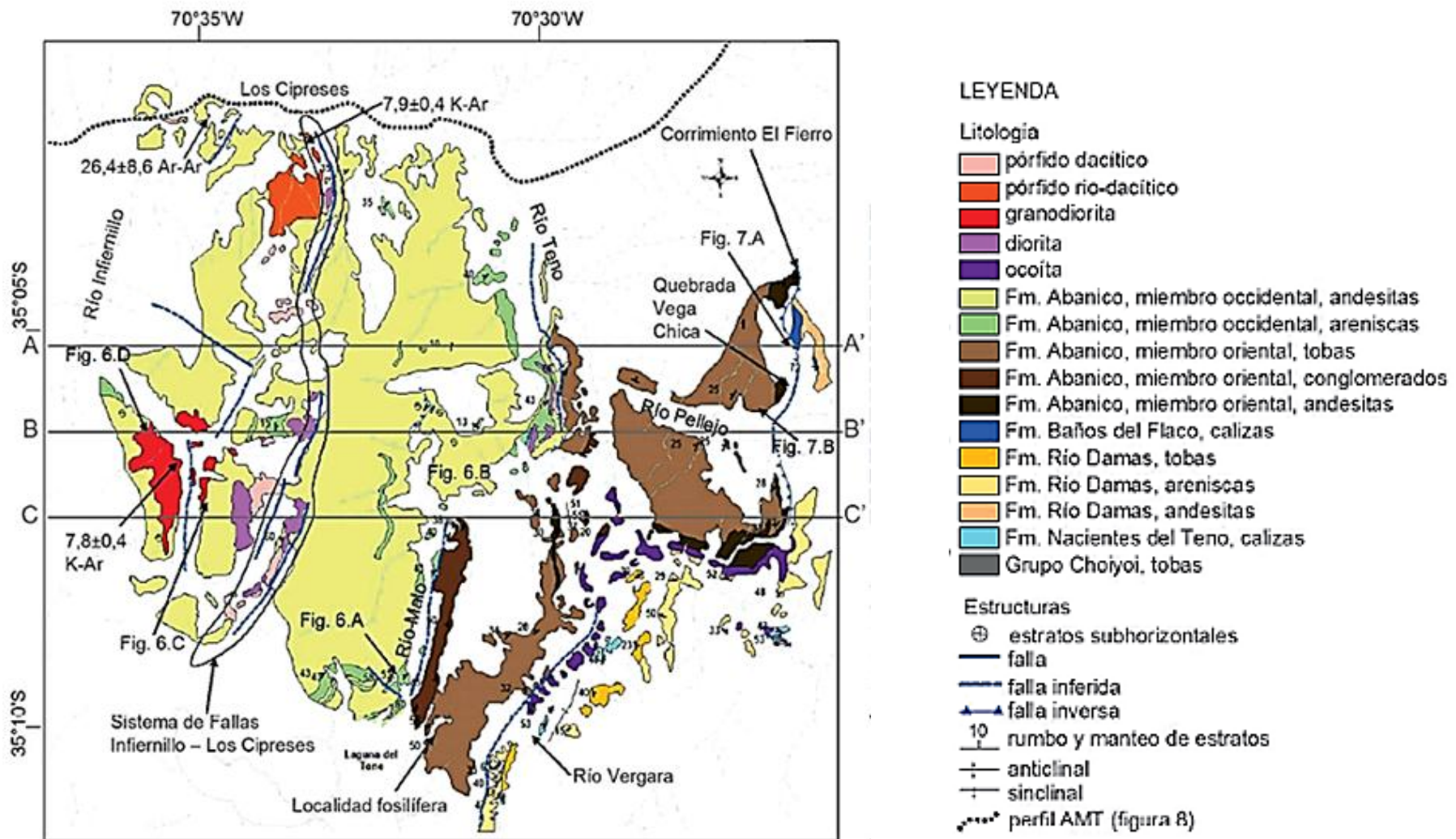


Figura 4. Mapa geológico simplificado del área de estudio. La traza de las secciones geológicas presentadas en la figura 5 se muestra en gris. En color blanco rocas volcánicas y sedimentos no consolidados del Cuaternario. Fuente: El Cenozoico del alto río Teno, Cordillera Principal, Chile central: estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas, Piquer (2010).

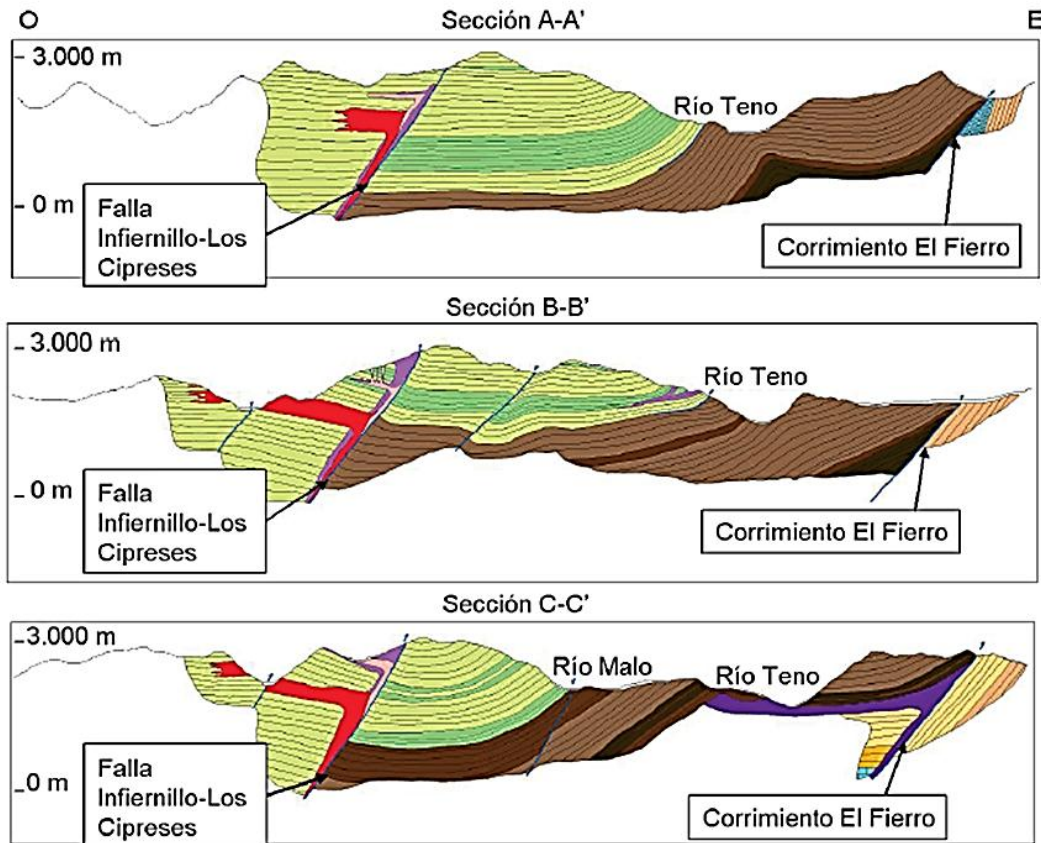


Figura 5. Secciones geológicas representativas del área de estudio. Se indica la ubicación de las fallas principales. La leyenda es la misma que la presentada en la figura 6. Fuente: El Cenozoico del alto río Teno, Cordillera Principal, Chile central: estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas, Piquer (2010).

2.2.4. LOS PROCESOS DE ASCENSO DEL MAGMA Y EMPLAZAMIENTO

Tosellí (2010) Los magmas se forman en profundidad y se segregan desde un residuo sólido para formar masas discretas de fundido. Estas masas son menos densas que el sólido que las rodea por lo que se vuelven boyantes y tienden a ascender si el material que los rodea es suficientemente dúctil. Un diapiro, que es una masa fundida móvil que perfora las capas que se encuentran por encima, que son rocas dúctiles más densas, que ascienden mientras la viscosidad del magma permita el movimiento y la densidad de las rocas de campo sean menores o similares. En las áreas menos dúctiles del manto superior y de la corteza, el magma no puede ascender por diapirismo.

Las fracturas abiertas y vacías están limitadas a niveles muy someros próximos a la superficie y tienen pocas decenas de metros. El magma que viene ascendiendo simplemente rellena tales aberturas. El ascenso del magma puede seguir fracturas

preexistentes, desplazando a las rocas que forman las fracturas y siguiendo estos conductos planares.

En profundidad, la habilidad de los magmas para forzar a una fractura a abrirse es limitada, por la alta presión que existe. Por supuesto si el área está sometida a extensión regional, las paredes de cualquier fractura no están bajo compresión y el magma puede forzar su separación. El número y espesor de los diques que rellenan los conductos depende de la relación de extensión y tiene relación con la velocidad de las placas tectónicas que es menor a aproximadamente 3 cm/año.

La figura 6 resume los mecanismos propuestos por los cuales un plutón hace espacio para ascender. Los batolitos pueden alzar el techo por plegamiento o domamiento, o elevar bloques a lo largo de fallas.

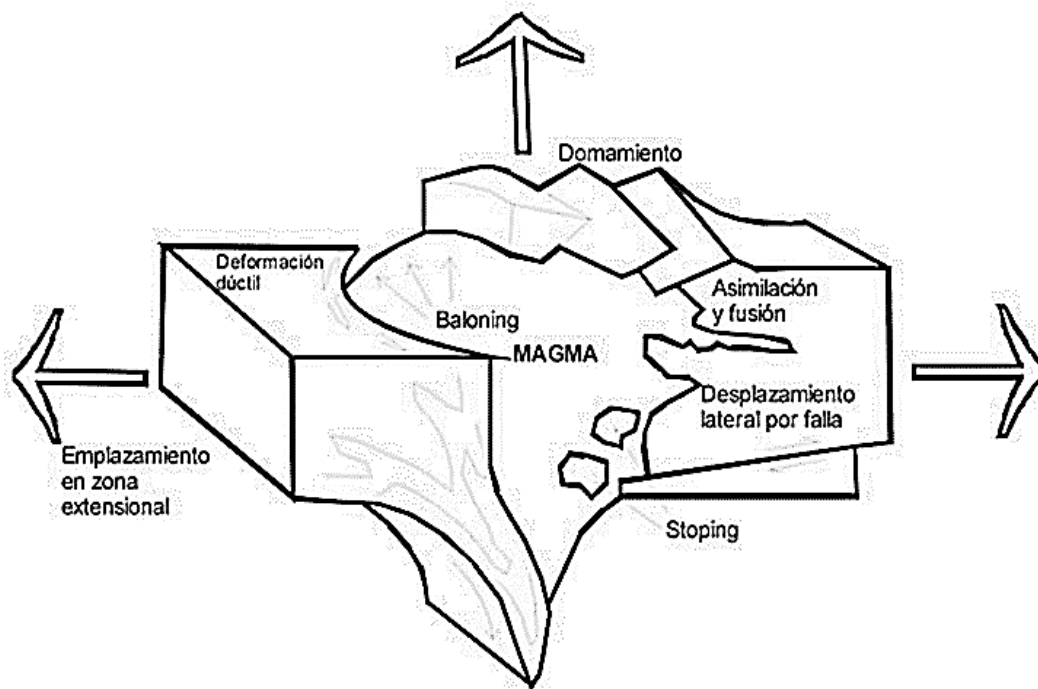


Figura 6. Mecanismos posibles de ascenso de intrusivos (redibujado de Paterson et al. 1991). Fuente: Elementos Básicos de petrología ígnea, Toselli 2010.

2.2.5. NIVEL DE EMPLAZAMIENTO EPIZONAL DE LAS INTRUSIONES

Best (1982). La epizona implica un ambiente de emplazamiento de baja temperatura (aprox. < 300 °C), baja ductilidad (frágil), y profundidades menores a los 10 kilómetros, donde las rocas encajantes pueden ser rocas volcánicas, sedimentarias o metamórficas de bajo grado. Son característicos los plutones de pequeño o mediano tamaño (por ejemplo lacolitos) que tienen normalmente carácter postectónico y que pueden generar aureola de

contacto para volúmenes relativamente grandes de magma. Es común encontrar intrusiones tabulares (diques y sills).

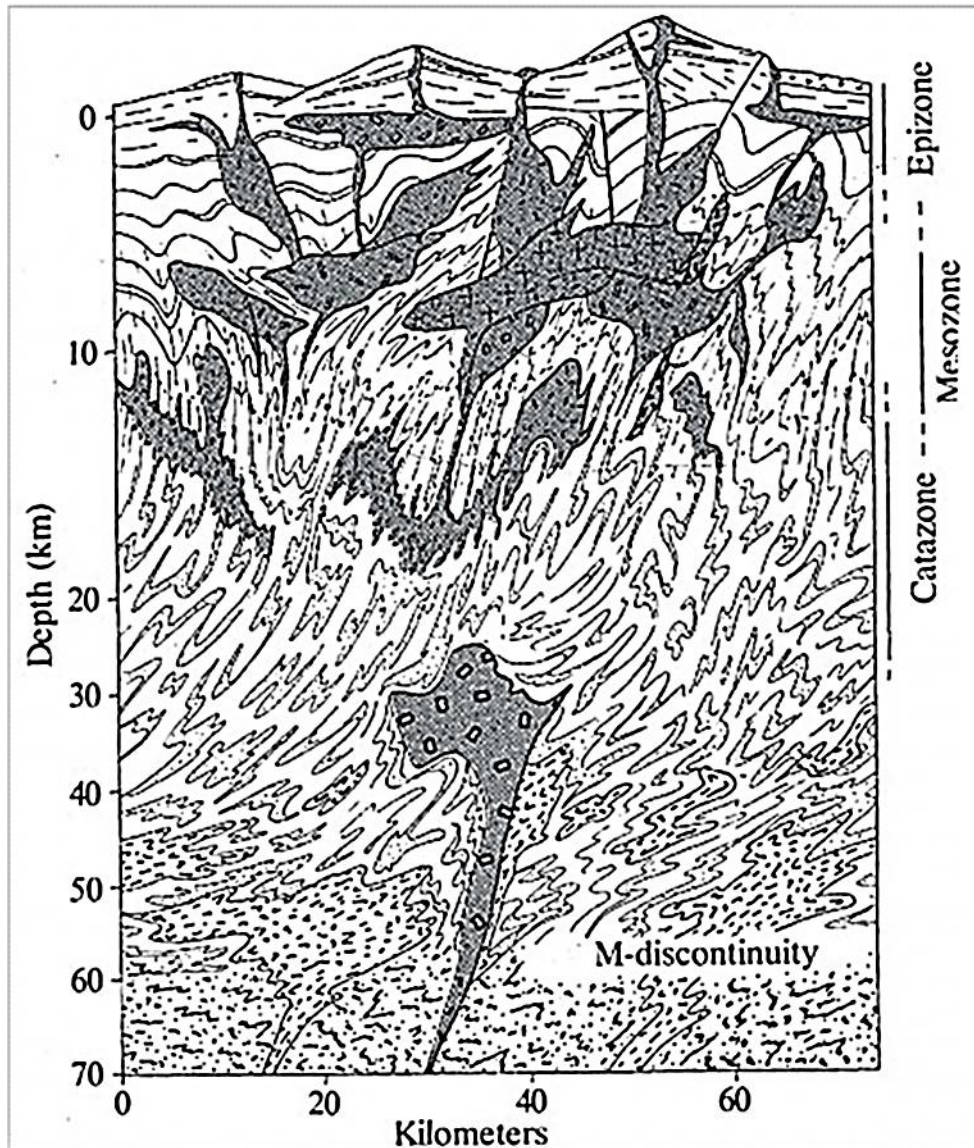


Figura 7. Nivel de emplazamiento de las intrusiones. Fuente: Igneous and Metamorphic Petrology, Best (1982)

2.2.6. ESTRUCTURAS DE EMPLAZAMIENTO INTRUSIVAS: PLUTONES CONCORDANTES Y DISCORDANTES.

Carenas (2014) se reconocen diversos tipos de plutones basándose en su geometría (forma tridimensional) y en la relación con la roca encajonante. Con respecto a su geometría, los plutones son tabulares, cilíndricos, en forma de hongo o irregulares. En relación con la roca encajante los plutones pueden ser intrusiones concordantes (sill,

lacolito), cuando los bordes son paralelos a la estructura de la roca encajante, o intrusiones discordantes (diques y batolitos) cuando se cortan.

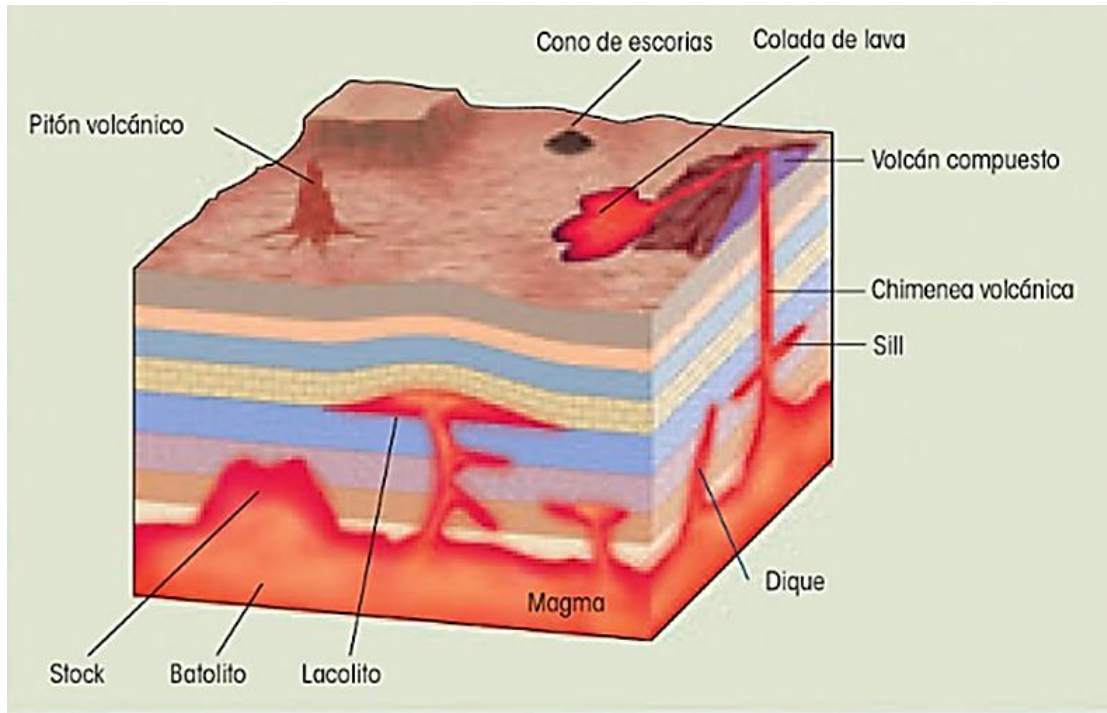


Figura 8. . Bloque diagrama que muestra intrusiones concordantes y discordantes. Se muestran también algunas morfologías de origen volcánico. Fuente: Geología, Universidad Autónoma de Madrid, Carenas (2014)

2.2.6.1. INTRUSIONES CONCORDANTES

2.2.6.1.1. SILL

Llambías (2001) son cuerpos ígneos laminares, que en su mayor parte son concordantes con la estratificación, aunque localmente tienen tramos discordantes. Comúnmente son subhorizontales y están alojados en rocas sedimentarias. El techo y el piso están constituidos por superficies planas, paralelas entre sí, conformando en la mayoría de los casos cuerpos tabulares.

Estas estructuras se encuentran generalmente formando enjambres y están estrechamente asociados a cuencas sedimentarias. El espesor de cada sill es variable, desde unas pocas decenas de centímetros hasta varios metros. Espesores de 50-150 m, o aún más, son frecuentes en las rocas máficas. Lateralmente también alcanzan grandes dimensiones, abarcando hasta varias decenas de kilómetros (Francis, 1982; 1983).

2.2.6.1.2. LACOLITO Y LOPOLITO

En numerosas regiones los sill están estrechamente asociados a lacolitos y lopolitos, pasando transicionalmente de unos a otros. Los magmas con viscosidades relativamente más altas tienden a formar lacolitos en lugar de filones capa, ya que cuando el contraste de viscosidades entre el magma y la roca encajante es alto, de tal manera que el emplazamiento de sucesivas unidades de sill provoca una deformación en el encajante (arqueamiento o doming), que es empujado verticalmente si la superficie libre está próxima (niveles epizonales de intrusión) el resultado sería una superficie superior convexa (Fig. 9a), si el contraste de viscosidad entre el magma y la roca encajante es bajo, es decir, en niveles corticales algo más profundos que los lacolitos, el suelo de la cámara magmática podría hundirse con el progresivo inflamamiento de la forma plutónica por amalgamamiento de nuevos pulsos (nuevas unidades de sill), resultando un plutón con forma de domo invertido (superficie inferior de tendencia cóncava) Fig. 9b.

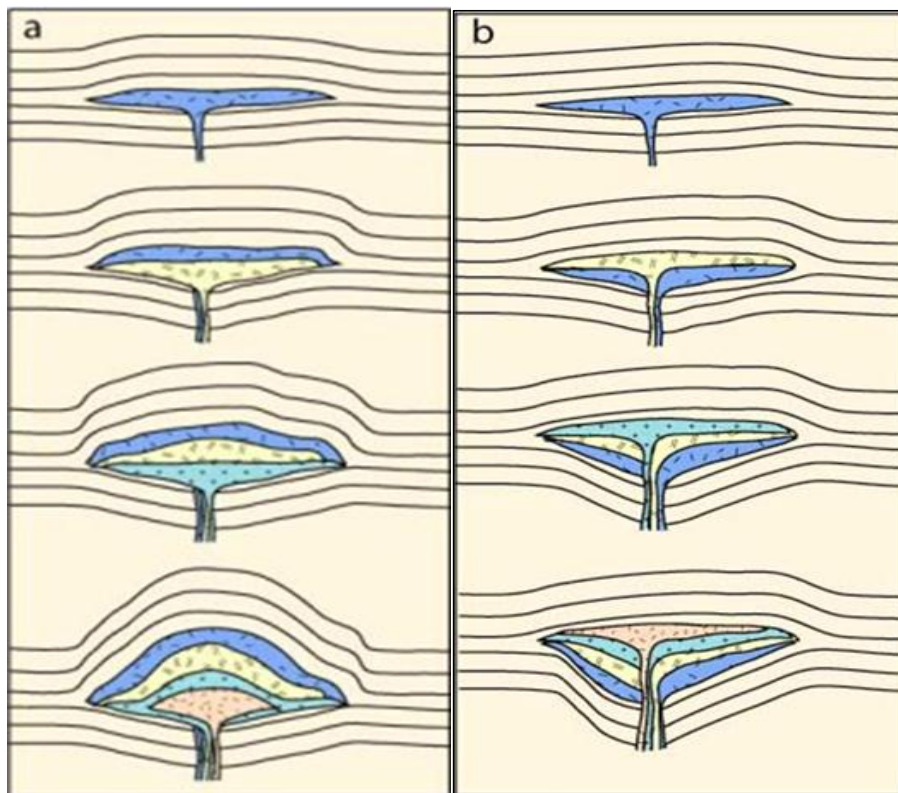


Figura 9. Esquema del crecimiento de un lacolito (Fig.9a) y un lopolito (Fig.9b) ocurridos por sucesivas inyecciones de sill. Departamento de Petrología y Geoquímica (Universidad Complutense de Madrid). Fuente: <https://petroigne.wordpress.com/lacolitos-y-lopolitos/>

La baja viscosidad es una característica propia de los fundidos con composiciones máficas e intermedias y por este motivo los sill con estas composiciones son los más abundantes.

2.2.6.2. INTRUSIONES DISCORDANTES

2.2.6.2.1. DIQUE

Llambías (2001) define al dique como una intrusión discordante tabular muy común, emplazado dentro de fracturas preexistentes. La mayoría son cuerpos pequeños que pueden oscilar de unos pocos centímetros a más de 100 metros de grosor.

Los diques se presentan con frecuencia en agrupaciones de varios diques, constituyendo los enjambres de diques. En numerosos casos se encuentran asociados a cuerpos plutónicos. Los espesores de los diques tienen un amplio rango de variación. En general, el espesor aumenta con la viscosidad del magma y esta propiedad se relaciona con la facilidad del fluido para escurrirse a través de las fracturas. Los diques máficos, cuyos magmas tienen bajas viscosidades, pueden llegar a tener delgados espesores, de solamente unas pocas decenas de centímetros.

Es frecuente que varios filones capa (sill) se conectan entre sí a través de delgados diques o se anastomosan formando filones capa más gruesos. Tal coexistencia entre diques y capas parecen desafiar el concepto de que el estado de esfuerzos determina la orientación de la capa intruida. Sin embargo, la prolongación vertical de diques y la inflación en el magma por diques verticales pueden producir un intercambio o canje de esfuerzos principales locales (Parsons et al., 1992), que permiten el emplazamiento del magma en capas horizontales, (Fig.8). Alternativamente diques verticales que pasan a través de capas débiles de roca pueden dispersarse en ellos formando sills. (Best , 2003)

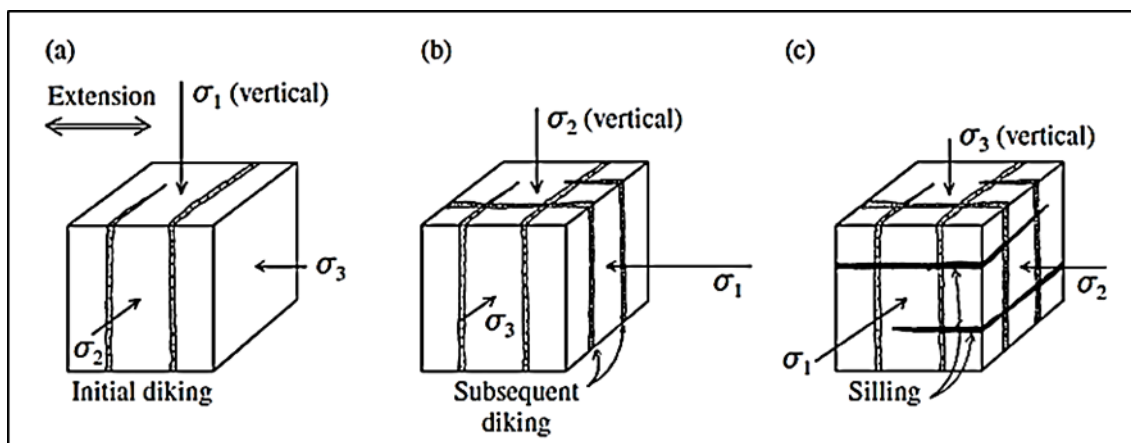


Figura 10. Intrusión de capas horizontales en un ambiente tectónico extensional después de diques verticales. Fuente: Igneous and Metamorphic Petrology, (Best, 2003)

Interpretación de la Figura 8.

a) Intrusiones iniciales son diques verticales perpendiculares al esfuerzo principal horizontal compresivo mínimo, σ_3 . El acuñaamiento del magma generada por la expansión térmica en las paredes de las rocas calentadas incrementa estrés perpendicular a diques de modo que σ_3 se convierte en σ_1 en (b).

b) La magnitud relativa de las otras dos tensiones sigue siendo la misma. La tensión vertical σ_1 se convierte en σ_2 y la tensión horizontal σ_2 se convierte en σ_3 . En este nuevo estado de esfuerzos, el magma adicional se emplaza en diques verticales perpendiculares a los iniciales. Después de esto la posterior construcción de diques, las magnitudes de las tensiones principales se intercambian de nuevo para producir un tercer estado de estrés en (c).

c) Donde σ_3 es ahora vertical, permitiendo que las capas horizontales puedan desarrollarse conforme se introduce más magma. Los sills levantan la corteza que recubre contra la gravedad (McCarthy y Thompson, 1988).

2.2.6.2.2. BATOLITO

Carenas (2014) define al batolito como la intrusión de mayores dimensiones, debiendo tener al menos una superficie de 100 Km², cuando presentan menores dimensiones se denomina stock.

Estos plutones se han originado por repetidas y voluminosas intrusiones de magma en la misma región. Valga como ejemplo el batolito costero de Perú, que fue emplazado durante un periodo de sesenta a setenta millones de años y está formado de unos 800 plutones individuales. Tanto los batolitos como los stocks presentan morfología irregular y con discordantes con las rocas que los limitan.

2.2.7. TEXTURA DE LAS ROCAS ÍGNEAS.

Varias texturas de rocas ígneas se relacionan con la historia de enfriamiento de un magma o lava. El rápido descenso de temperatura, como ocurre en los flujos de lava o en algunas intrusiones cercanas a la superficie, resulta en una textura de grano fino denominada afanítica (Fig. 11 a). En cambio, las rocas ígneas con textura de grano grueso o fanerítica, tienen granos minerales fácilmente visibles sin ampliación (Fig. 11b). Granos minerales tan grandes indican enfriamiento lento y, en general, origen intrusivo.

Las rocas con textura porfirítica (Fig.10c), una combinación de granos minerales de tamaños marcadamente diferentes, tienen una historia de enfriamiento más compleja. Los granos mayores son fenocristales y a los más pequeños se les denomina base de vidrio. Piense que antes de la cristalización completa del magma, la fase líquida restante y los granos minerales sólidos dentro de ella son expulsados, estos son echados sobre la superficie, donde se enfrían rápidamente, para construir una textura afanítica. La roca ígnea resultante tendría granos minerales grandes (fenocristales) suspendidos en una base de vidrio finamente cristalina y la roca se caracteriza como un pórfido. (Wicander y Monroe ,2000)

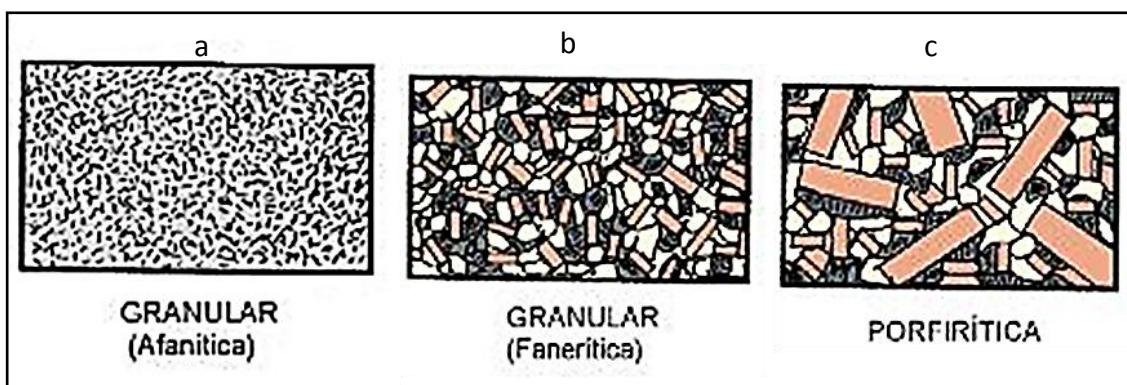


Figura 11. Textura de las rocas ígneas Fuente: <http://www.ebah.com.br/content>

2.2.8. CLASIFICACIÓN MODAL DE ROCAS PLUTÓNICAS EN EL DOBLE TRIANGULO QAPF (STRECKEISEN, 1976)

El contenido mineral modal significa la participación cuantitativa de los minerales en porcentajes de volumen global de la roca en cuestión y se puede determinar cuantitativamente.

El diagrama "STRECKEISEN" o "QAPF" es actualmente el diagrama más "oficial" en la denominación de las rocas ígneas. El diagrama permite en una manera bastante fácil la denominación de rocas plutónicas y volcánicas. Solamente el contenido modal de 4 minerales en una muestra (y la textura) definen al final el nombre de la roca.

Los cuatro parámetros del triángulo doble de Streckeisen son: Q (Cuarzo y otros minerales de SiO₂), A (Feldespatos alcalinos), P (Plagioclasa) y F (Feldespatoides). Se convierte los porcentajes de volumen de A, P, Q o F a 100% y los resultados se presentan en el triángulo doble de Streckeisen. En la figura se observa el diagrama usado.

Campo	Nombres
1a	Cuarzolita o Silexita
1b	Granitoides ricos en cuarzo
2	Granito de feldespato alcalino; con bajo índice de color: Alaskita
3a	Sienogranito
3b	Monzogranito, Adamellita
4	Granodiorita
5	Tonalita, Cuarzodiorita; con bajo índice de color: Trondjemita
6*	Cuarzo-sienita de feldespato alcalino
6	Cuarzo-sienita
6'	Sienita feldespatoidal, Pulaskita
7*	Cuarzosienita
7	Sienita
7'	Miaskita
8*	Cuarzo-monzonita
8	Monzonita
8'	Monzonita feldespatoidal
9*	Cuarzo-monzodiorita, Cuarzo-monzogabro
9	Monzodiorita, Monzogabro
9'	Monzodiorita o Monzogabro feldespatoidal
10*	Cuarzodiorita, Cuarzogabro
10	Gabro (% An en Plg > 50%) o Diorita (% An en Plg < 50%)
10'	Gabro o Diorita feldespatoidal
11	Sienita nefelínica, Foyaita, Lujavrita
12	Plagifoyaita
13	Essexita
14	Theralita, Teschenita si tiene Analcima
15	Foidolita

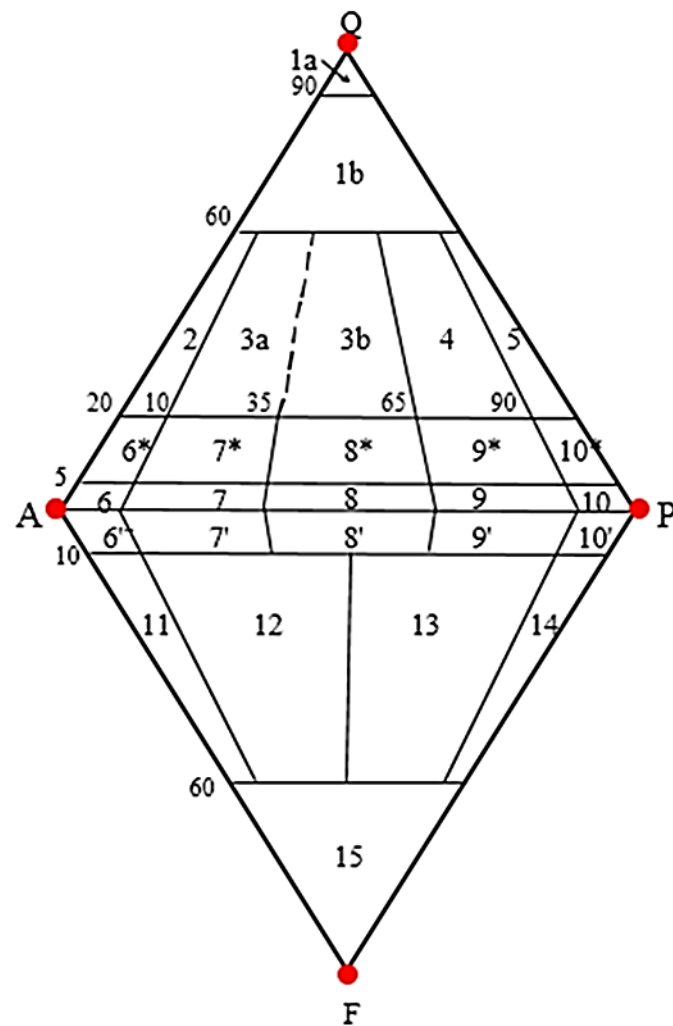


Figura 12. Clasificación Modal de Rocas Ígneas Plutónicas. Fuente: Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada (Le Maitre et al 2002)

2.2.9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL

La resistencia es el esfuerzo que la roca puede soportar para ciertas condiciones de deformación. La rotura ocurre cuando la deformación elástica o en algunos casos, plástica, no puede acomodar el esfuerzo y se generan discontinuidades en el cuerpo rocoso.

La Resistencia a la Compresión Uniaxial (σ_c) es una propiedad mecánica de falla de las rocas y numéricamente nos indica la dureza y la fuerza máxima que soportan las rocas antes de su fractura. La resistencia a la compresión uniaxial es inversamente proporcional a la porosidad, ya que cuando un esfuerzo de sobrecarga aumenta, la roca se vuelve más compacta y resistente a la fractura (Toselli, 2009).

El valor de la resistencia aporta información sobre las propiedades ingenieriles de las rocas, en la tabla N° 01 se incluyen valores de resistencia a compresión simple para diferentes tipos de roca.

Tabla 01: Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo.

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de Resistencia a compresión Simple (MPa)
S_1	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	$< 0,025$
S_2	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025-0,05
S_3	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05-0,1
S_4	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,1-0,25
S_5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0,25-0,5
S_6	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	$> 0,5$
R_0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25-1,0
R_1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1,0-5,0
R_2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5,0-25
R_3	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-50
R_4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
R_5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100-250
R_6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo sólo saltan esquirlas.	>250

Fuente: ISRM (1981)

2.2.10. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LAS ROCAS ENCONTRADAS EN LA REGIÓN CAJAMARCA (CRUZADO, 2009)

Realizó un estudio Geológico del Departamento de Cajamarca.

Tabla 2. Propiedades Geotécnicas de las rocas encontradas en la región Cajamarca

Ambiente de Origen	Tipo de Roca	Propiedades Geotécnicas				
		Peso específico (g/cm ³)	Porosidad (%)	Resistencia a la compresión simple (kp/cm ²)		Resistencia a la tracción (kp/cm ²)
				Valores medios	Rangos de valores	
Volcánico	Andesita	2,2-2,35	10-15	2.100-3.200	1.000-5.000	70
	Riolita	2,4-2,6	4-6			
	Toba	1,9-2,3	14-40		100-460	10-40
Sedimentario	Arenisca	2,3-2,6	5-25 (16,0)	550-1.400	300-2.350	50-200
	Caliza	2,3-2,6	5-20 (11,0)	600-1.400	500-2.000	40-300
	Limolita				350-2.500	27
	Lutita	2,2-2,6	2-15	200-400	100-900	15-100 5-10*
	Marga			300-700	200-900	
Metamórfico	Cuarcita	2,6-2,7	0,1-0,5	2.000-3.200	1.000-5.000	100-300

Fuente: Estudio de Geología, Cruzado (2009).

El valor de la densidad de las areniscas y calizas es de entre 2,3-2,6 g/cm³. Se puede considerar un valor promedio de 2.45 g/cm³.

El grafico de Miller a emplear para determinar la resistencia a la compresión simple de la roca necesita emplear el valor del peso específico ($\frac{W}{V}$) en kN/m³; para lo cual se puede realizar la transformación:

$$\text{Densidad (Kg/m}^3\text{)} = \frac{2.45 \text{ g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1\,000\,000 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1\,000 \text{ g}} = 2450 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso Específico (kN/m}^3\text{)} = \frac{2450 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{9.8 \text{ m}}{\text{s}^2} = 24\,010 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} = 24.010 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Composición magmática. Las rocas ígneas se caracterizan como máficas (45 a 52% de sílice), intermedias (53 a 65% de sílice) o félsicas (> 65% de sílice). El magma padre desempeña un papel importante en la composición mineral de las rocas ígneas; no obstante, un mismo magma puede producir diversas rocas ígneas porque su composición puede cambiar como resultado de la secuencia en la cual se cristalizan los minerales, así como del asentamiento del cristal, la asimilación y la mezcla de magmas (Wicander y Monroe, 2000).

Contraste Reológico. Para evaluar las relaciones del plutón con la caja es necesario estimar el contraste reológico entre el magma y la caja. Los extremos de variación en el comportamiento reológico corresponden a los comportamientos frágil y dúctil. Comúnmente los plutones emplazados en la corteza superior lo hacen en un campo frágil, mientras que los emplazados en la corteza inferior lo hacen en un campo dúctil. (Tosellí, 2010).

Deformación. La deformación consiste en la traslación y el cambio de forma de un cuerpo. Esta puede ser homogénea o heterogénea. En el primer caso las relaciones entre los distintos elementos del cuerpo que se deforma se mantienen sin variar las relaciones angulares entre ellos. Es heterogénea, cuando al final de la deformación estos elementos no guardan ninguna relación entre sí (Llambías ,2001)

Esclerómetro o martillo de Schmidt. El esclerómetro consiste en un pequeño aparato de geometría cilíndrica que dispone de un muelle en su interior y de un punta retráctil, la cual, al ser presionada contra la roca hace que el muelle se dispare. En función de la dureza o resistencia de la roca, el muelle sufre mayor o menor rebote, valor que queda reflejado en una escala situada al costado del aparato.(Gonzales 2004).

Esfuerzo. El esfuerzo (stress) se define como la fuerza aplicada por unidad de área. En geología los esfuerzos compresivos tienen signo positivo y los extensivos negativos, contrariamente a la convención empleada en mecánica o ingeniería. (Llambías, 2015).

Estructura ígnea. Se refiere a las formas que adoptan los cuerpos ígneos durante el proceso de cristalización de un magma, son parcelas de magma que ascienden a través de la litósfera quedando atrapadas en la corteza al enfriarse y cristalizar. También pueden

llegar hasta la superficie formando los cuerpos plutónicos y los volcánicos. (Wicander y Monroe, 2000).

Magma. Es una masa total o parcialmente fundida de silicatos con gases disueltos, que ocurren en o debajo de la corteza cristalina de la tierra y que es capaz de instruirse como tal, en fisuras y erupcionar en la superficie, separándose ella en lava y gases volcánicos. Clásicamente se considera a los magmas como silicáticos, pero los hay también de carbonatos (carbonatitas), de sulfuros y óxidos férricos (Rittman 1981)

Plutón. Cuerpo ígneo intrusivo que se forma cuando el magma se enfría y cristaliza dentro de la corteza. Las formas de los plutones se caracterizan como masiva o irregulares, tabulares, cilíndricas o fungiformes (en forma de hongo) (Wicander y Monroe, 2000).

Resistencia a la compresión uniaxial. La resistencia a compresión simple o resistencia uniaxial es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial (Gonzales, 2004).

Sill. También llamado filón capa, son cuerpos ígneos laminares que se diferencian de los diques por ser en gran parte concordantes y no tener una obvia asociación con fracturas. Están relacionados con los planos de estratificación de rocas sedimentarias o de secuencias volcánicas estratificadas (Llambías, 2001).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Se encuentra entre los 3500 y 3900 m.s.n.m de la Comunidad de Michiquillay, está ubicada entre las cartas nacionales de Celendín (14-g) y San Marcos (15-g). Los vértices que delimitan su área son los siguientes.

Tabla N° 03. Coordenadas de vértices en sistema UTM –Datum WGS84

Vértice	Latitud	Longitud
V1	9218000	792500
V2	9227000	792500
V3	9227000	806000
V4	9218000	806000

3.1.2. UBICACIÓN POLÍTICA

El área de estudio comprende los sectores de Michiquillay, Quinuamayo y el Punre, pertenecientes a la comunidad campesina de Michiquillay, se encuentra ubicada en el distrito de La Encañada, Provincia y Departamento de Cajamarca.

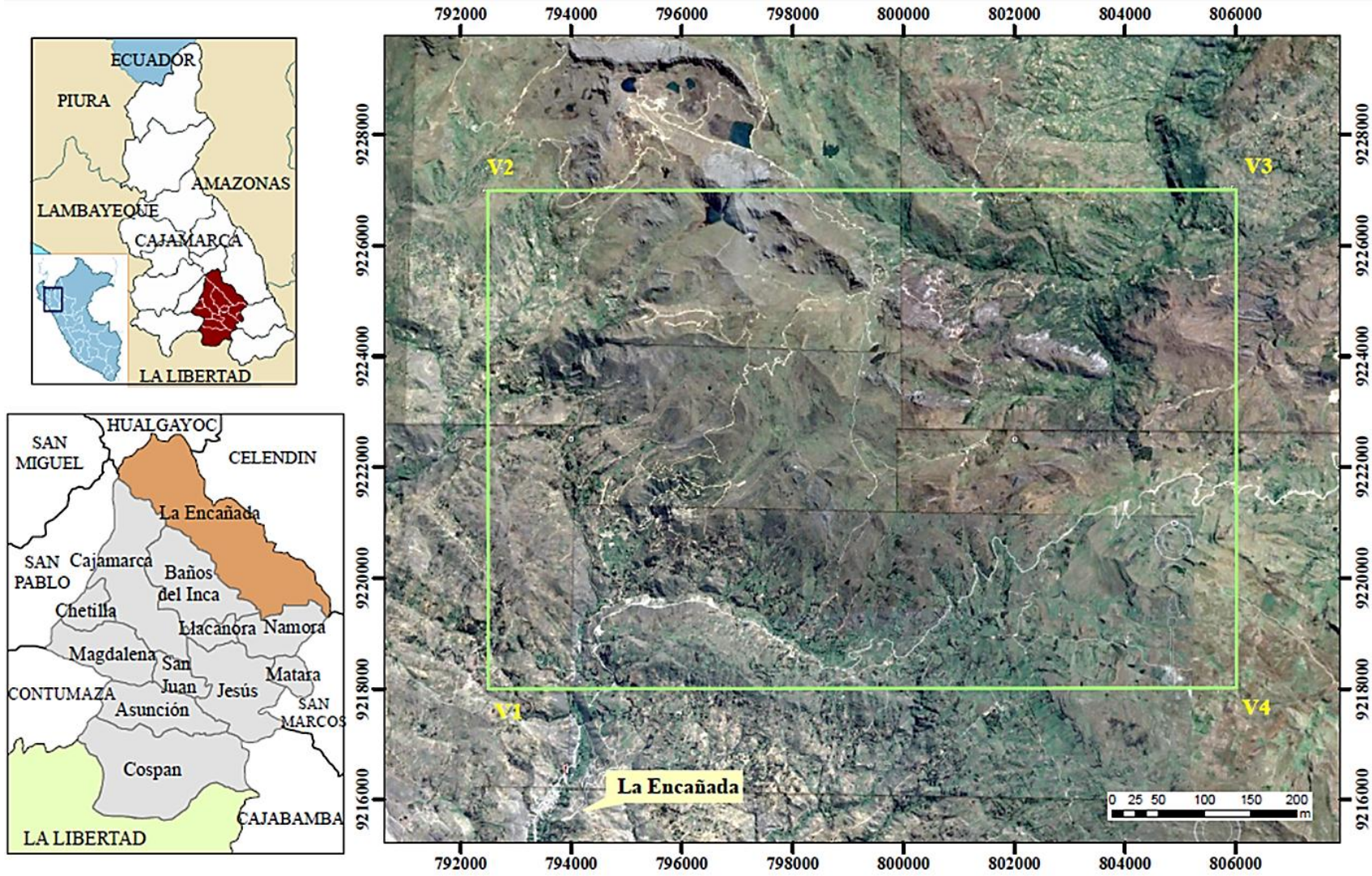


Figura 13. Ubicación del área de estudio

3.1.3.-ACCESIBILIDAD

El acceso es mediante carreteras asfaltadas y afirmadas (Figura 14).

En la tabla 4 se especifica el tipo de carreteras y la longitud de estas en cada tramo.

Tabla 4. Vías de acceso a la zona de estudio.

TRAMO	TIPO DE CARRETERA	LONGITUD (Km)
Cajamarca - La Encañada	Carretera asfaltada	31.4
La Encañada - Quinuamayo	Carretera asfaltada	10.4
Quinuamayo – Sector el Punre	Trocha carrozable	9.1
Sector el Punre -Michiquillay	Trocha carrozable	10.2
LONGITUD TOTAL		61.1

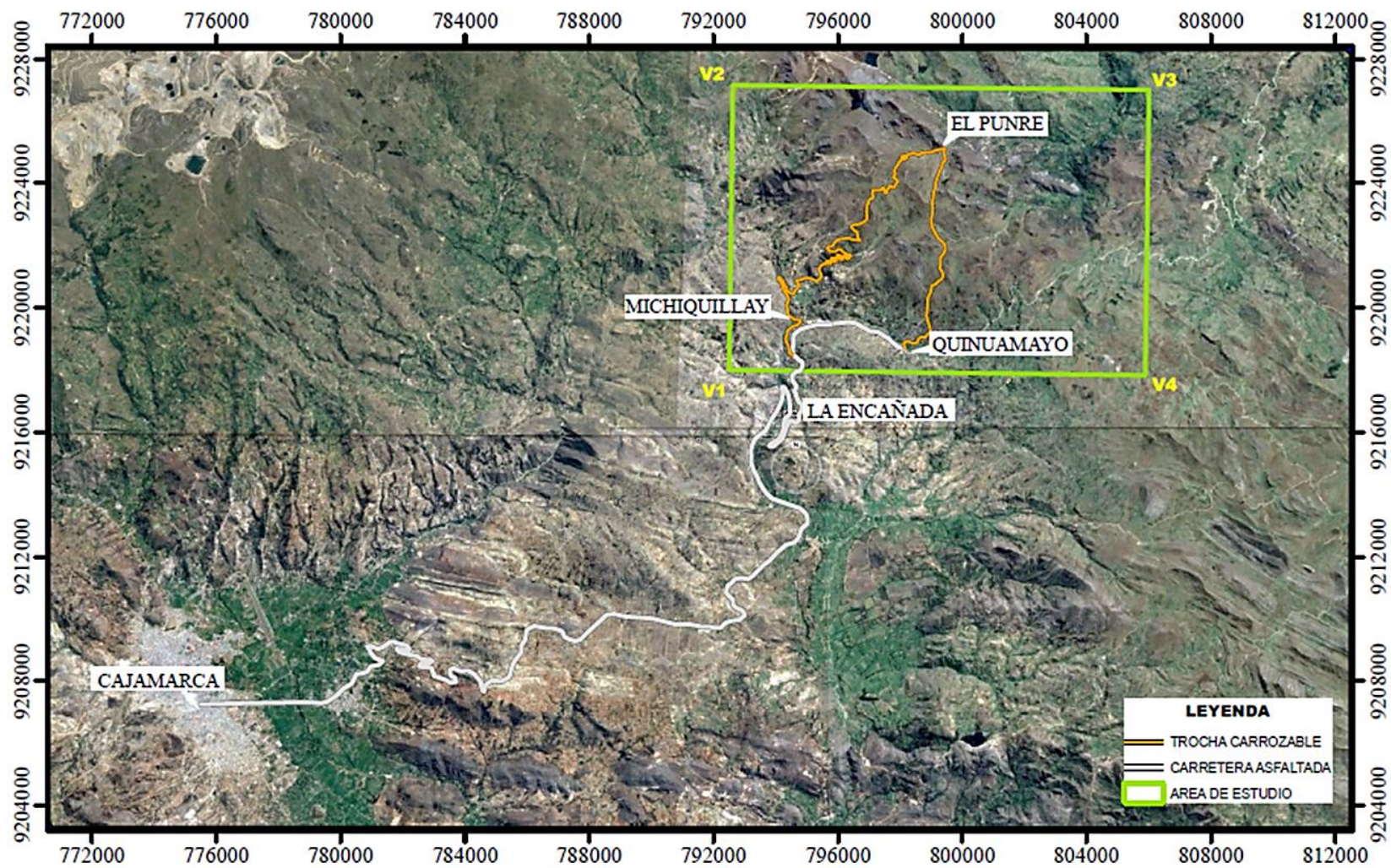


Figura 14. Accesibilidad a la zona de estudio

3.1.4. CLIMA

El clima de la zona de estudio está caracterizada por la presencia de las Regiones Naturales de Ladera (3201 -3500 m.s.n.m) y Jalca (> 3500 m.s.n.m). En general, las precipitaciones son mayores en la zona de Jalca (900-1400 mm), disminuyen y son más variables en las Laderas (500-1000 mm) y menores en la zona de Valle (400-650 mm) (ADEFOR, 1999). Las heladas afectan menos la Ladera y más el valle donde se acumula el aire frío, sobre todo en la época seca cuando la humedad en el aire es menor. La temperatura máxima promedio es de 20 °C y la mínima promedio es de 4 °C (Senamhi)

3.1.5. VEGETACIÓN

En el distrito de La Encañada, la información sobre la cobertura vegetal fue clasificada por CODESAN (Consortio para el desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina) usando tres categorías: Cultivos anuales (cereales, tuberosas y raíces), Áreas degradadas (eriazos y suelos desnudos) y Cobertura permanente (pastos y bosques).

La vegetación en la zona de estudio se caracteriza por la presencia en su mayor parte de cobertura permanente como bosques en las partes altas y cultivos anuales como tuberosas, raíces y cereales en las partes bajas.

3.1.6. HIDROLOGÍA

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro del área de influencia de dos Cuencas Hidrográficas como son la Cuenca del Río Sendamal y la Cuenca del Río Grande; además de cuatro Microcuencas como son la Microcuenca del Río La Encañada , Microcuenca del Río Yanatora , Microcuenca del Río Tambomayo y Microcuenca del Río Rosamayo.

En la Figura 15 se observa un plano hidrológico de la zona.

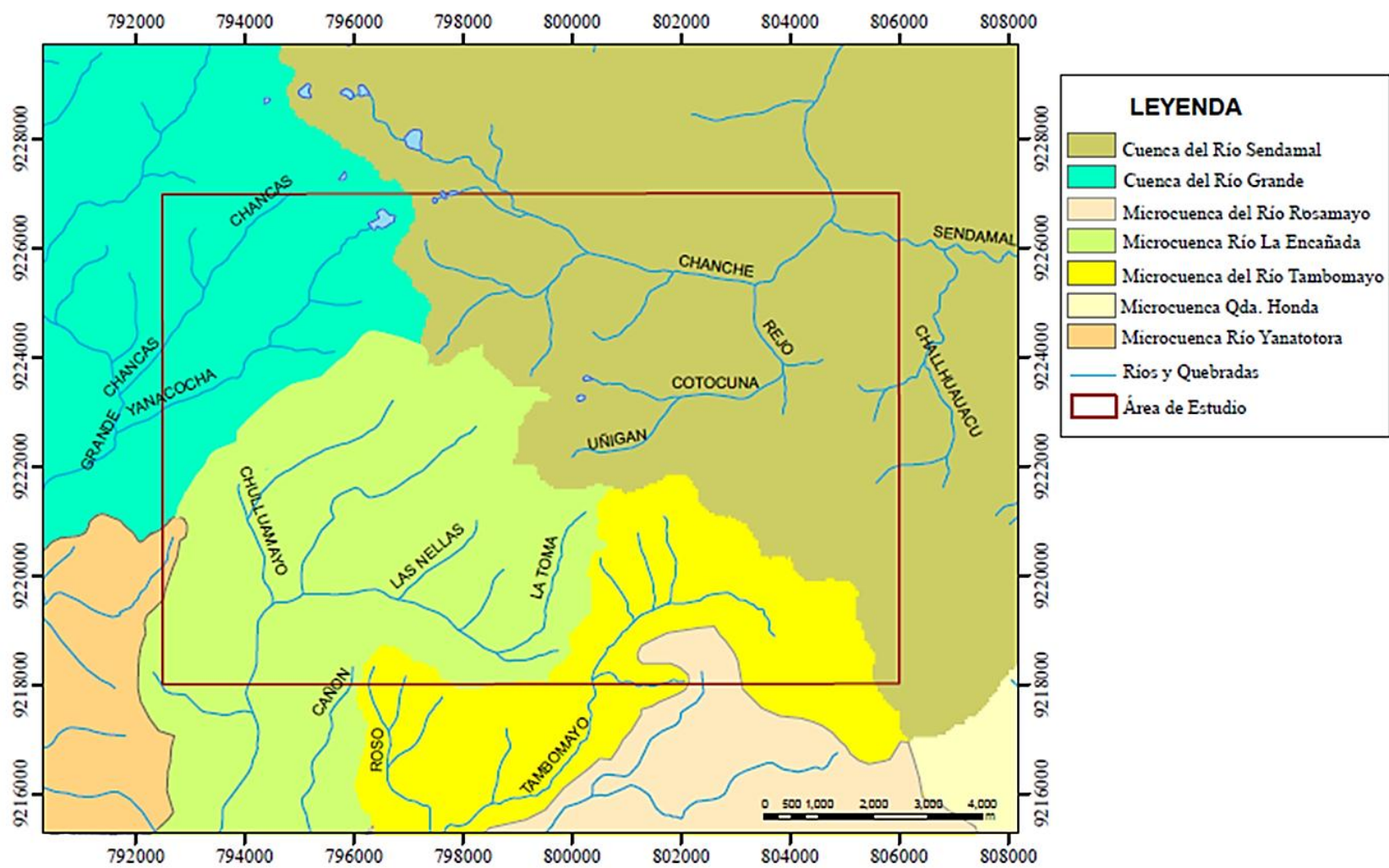


Figura 14. Plano hidrológico

3.2. PROCEDIMIENTOS

El desarrollo del presente tema de investigación se ha realizado básicamente en tres etapas llevadas a cabo de Agosto del 2016 a Junio del 2017

ETAPA DE GABINETE

Durante esta primera etapa se procedió a coleccionar la información que existe sobre el área de estudio, la cual consiste en bibliografía especializada, planos, informes, imágenes de satélite y demás publicaciones. Entre los principales documentos que sirvieron como texto de consulta tenemos la tesis de maestría de Rivera (2008), la tesis doctoral de Davies (2002) y la información proveniente del INGEMMET, como la del Boletín N° 31.

En esta etapa también se definieron los tróvers geológicos a emplear durante la investigación, teniendo en cuenta la información teórica recolectada y las imágenes satelitales obtenidas mediante Google Earth, 2016.

ETAPA DE CAMPO

El trabajo de campo se centró en identificación de estructuras de emplazamiento de los cuerpos ígneos plutónicos a lo largo de los tróvers realizados entre la Comunidad de Michiquillay y el Sector el Punre. Se realizó un cartografiado geológico a escala 1/25000, para lo cual se identificó las distintas litologías encontradas, se realizó la medida de rumbo y buzamiento de las estructuras identificadas usando la brújula geológica. Para la interpretación correspondiente se realizaron secciones geológicas y columnas estratigráficas en campo.

Empleando el martillo de Schmidt se determinó la resistencia a la compresión uniaxial de las unidades formacionales identificadas.

ETAPA DE GABINETE

En esta última etapa se realizó un análisis e interpretación de los datos tomados en campo, se detalló la forma en la que se presentan las estructuras de emplazamiento de los cuerpos ígneos en base a la información geológica obtenida.

Los datos se procesaron haciendo uso del software ArcGis 10.1, para realizar los planos.

Se interpretaron las secciones geológicas realizadas en base a los datos tomados en campo, asimismo se realizó una descripción macroscópica de la litología de los cuerpos ígneos identificados en la zona.

3.2.1. METODOLOGÍA

El tipo de investigación es analítica y de nivel descriptiva-correlacional en campo, ya que se centra en la observación directa en campo, sin pruebas de laboratorio, de parámetros geológicos.

3.2.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Las variables independientes y dependientes de la investigación se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 5. Variables independientes y dependientes.

VARIABLES INDEPENDIENTES (Causa)	VARIABLES DEPENDIENTES (Efecto)
Deformaciones plásticas y frágiles de las rocas (pliegues, fallas y diaclasas). Estructuras de emplazamiento intrusivo concordante y discordante.	Esfuerzos tectónicos Magmatismo

3.2.3. TÉCNICAS

Dentro de las técnicas empleadas durante la investigación se tienen las siguientes.

- Análisis documental y observación dirigida.
- Cartografiado Geológico.
- Tomas fotográficas.
- Informe Final.

3.2.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

Los equipos y materiales empleados durante el desarrollo de la presente tesis se detallan a continuación:

3.2.4.1 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS USADOS EN GABINETE

Laptop Toshiba Corei5

Papel Bond A4 de 80 gramos para realizar las secciones geológicas, las columnas estratigráficas y para la impresión del informe

Cartas geológicas: 14g y 15g

Impresora láser Epson I355

Set de reglas

Útiles de escritorio como lápices, borradores, tajadores, colores y otros.

3.2.4.2. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS USADOS EN CAMPO

Brújula Brunton 5006 Lm

GPS Navegador Garmin Map64s

Martillo de Schmidt

Cámara fotográfica Canon 12 Mppx. Zoom óptico 10X.

Picota de geólogo para extraer las muestras de roca.

Tablero

Planos: Topográfico, geológico, satelital a escala 1:50 000.

Lupa 20x para realizar la descripción macroscópica de las muestras de roca.

Protactor de 4 escalas.

Libreta de campo para registrar los datos tomados en campo.

3.3. GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio se pueden apreciar las formaciones geológicas pertenecientes a los grupos Goyllarisquizga (Formaciones Chimú, Santa, Carhuáz, Farrat), Crisnejas (Inca, Chúlec y Pariatambo) y Puillucana (Formaciones Yumagual y Mujarrún)

3.3.1. GRUPO GOYLLARISQUIZGA

3.3.1.1. FORMACIÓN CHIMÚ

La Formación Chimú, aflora yaciendo mayormente en forma concordante, sobre la Formación Chicama (lo más probable es que exista una discordancia paralela) e infrayaciendo con igual carácter a la Formación Santa. (Benavides 1956).

Localmente la Formación Chimú se encuentra aflorando en la zona del Sector Punre (Noroeste de la zona de estudio) en contacto con un stock de composición diorítico. Litológicamente está constituida por areniscas cuarzosas compactas de tonalidades grises blanquecinas.

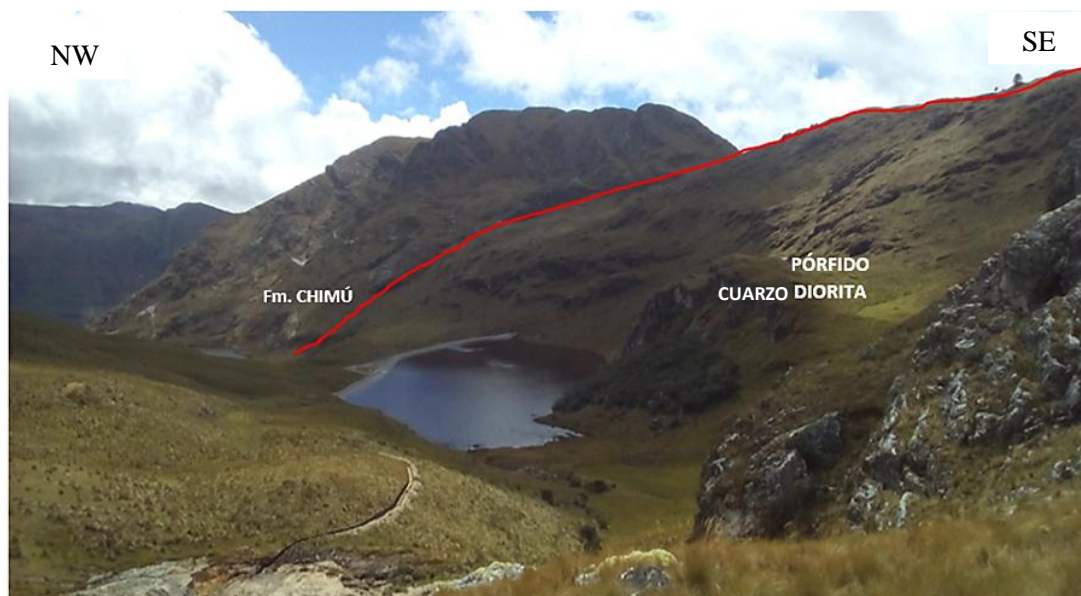


Figura 16. A la izquierda se observan los estratos de areniscas compactas de la formación Chimú y a la derecha el pórfido cuarzodiorita. Este contacto se observa en la entrada al sector el Punre.

3.3.1.2 FORMACIÓN SANTA

La Formación Santa sobreyace a la Formación Chimú e infrayace a la Formación Carhuáz, en ambos casos con discordancia paralela (Benavides, 1956)

Litológicamente la Formación Santa consiste en una intercalación de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras. Sus afloramientos no son observables ya que se hallan completamente cubiertos por suelos, sin embargo en la zona cercana a la Falla Punre se puede inferir la ubicación de esta formación que sobreyace a estratos de la Formación Chimú que son más resistentes a la meteorización.



Figura 17. Contactos entre las formaciones Chimú, Santa y Carhuáz observado desde el cruce de la carretera Punre-Michiquillay.

3.3.1.3. FORMACIÓN CARHUÁZ

La Formación Carhuáz yace con suave discordancia sobre la Formación Santa e infrayace concordantemente a la Formación Farrat (Benavides, 1956).

Localmente la Formación Carhuáz se encuentra ampliamente distribuida en la zona de estudio, sus afloramientos son observables principalmente en los sectores de Quinuamayo y Micuypampa.

Litológicamente esta formación consta de unas alternancias de areniscas rojizas intercaladas con lutitas grises de origen fluviodeltaico bien estratificadas en capas delgadas y medianas (Figura 18), se pueden observar paleocanales característicos en esta formación



Figura 18. Intercalación de capas delgadas de areniscas rojizas con lutitas grises de la Formación Carhuáz, ubicado cerca al cruce de la carretera Quinuamayo-Micuypampa.

3.3.1.4. FORMACIÓN FARRAT

La Formación Farrat representa el nivel superior de la parte clástica del Cretácico inferior, esta formación suprayace con aparente concordancia a la Formación Carhuáz y subyace con la misma relación a la Formación Inca (Benavides 1956).

Localmente la Formación Farrat está conformada por afloramientos resistentes a la erosión y conformando escarpas y altas cumbres alargadas en la zona de Michiquillay y Quinuamayo. Litológicamente consta de areniscas blanquecinas de grano medio a grueso.



Figura 19. Afloramiento rocoso constituido por areniscas blanquecinas de la Formación Farrat ubicado en tramo de la carretera Quinuamayo-Micuypampa.

3.3.1.5. FORMACIÓN INCA

La formación Inca infrayace concordantemente a la Formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat, con un aparente paso transicional. En diversas zonas de Cajamarca se ha observado que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas con lutitas ferruginosas, dando en superficie un matiz rojizo, con evidente acción de limonitización (Benavides, 1956)

En la zona de estudio sus afloramientos no son observables ya que se hallan completamente cubiertos por suelos.

3.3.2. GRUPO CRISNEJAS

3.3.2.1. FORMACIÓN CHÚLEC

Esta formación suprayace concordantemente a la Formación Inca e infrayace con la misma relación a la Formación Pariatambo (Benavides, 1956).

Localmente la formación Chúlec se observa en la zona de Michiquillay y Quinuamayo Bajo, principalmente aflorando en los ríos Chulluamayo y Quinuamayo. Litológicamente, consta de una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, la que por intemperismo adquieren un color crema-amarillento.



Figura 20. : Estratos de calizas grises de la Formación Chúlec ubicado cerca al lecho del Río Chullumayo.

3.3.2.2. FORMACIÓN PARIATAMBO

La formación Pariatambo yace concordantemente con la Formación Chúlec e infrayace, con suave discordancia a la Formación Yumagual (Benavides 1956).

Litológicamente consiste de una alternancia de lutitas con estratos delgados de calizas bituminosas negruzcas (Figura 30), las calizas presentan nódulos silíceos y un olor fétido característico al fracturarlas.

En la zona de estudio esta formación se observa ampliamente en los tramos iniciales de la carretera La Encañada- Celendín.



Figura 21. Estratos delgados de la Formación Pariatambo constituidos por calizas bituminosas nodulares intercalados con lutitas grises, observados en tramo inicial de corte la carretera La Encañada-Celendín.

3.3.3. GRUPO PULLUICANA

3.3.3.1. FORMACIÓN YUMAGUAL

La formación Yumagual suprayace con leve discordancia a la formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la formación Mujarrun y Grupo Quilquiñam indiviso (Benavides 1956).

Localmente esta formación se observa ampliamente expuesta en los tramos de la carretera Encañada-Celendín (SE de la zona de estudio). Litológicamente la Formación Yumagual consiste en una secuencia de calizas y margas gris parduzcas en bancos consistentes más o menos uniformes, intercalados con escasos niveles de lutitas grises (Figura 31).



Figura 22. Estratos de calizas consistentes intercalados con delgados niveles de lutitas de la Formación Yumagual observados en corte de la carretera La Encañada-Celendín, cerca al cruce con la carretera que va a Michiquillay.

3.3.3.2. FORMACIÓN MUJARRÚN

La parte inferior de la secuencia (Formación Mujarrún) descansa concordantemente sobre la formación Yumagual, mientras que su parte superior (Grupo Quilquiñán), infrayace con discordancia paralela a la Formación Cajamarca (Benavides 1956).

Localmente la parte inferior (Formación Mujarrún) se puede observar expuesta en el sector de Quinuamayo Bajo al SE del área de investigación. Litológicamente esta formación consiste en una gruesa secuencia de calizas nodulares macizas



Figura 23. Estrato de calizas nodulares macizas de la Formación Mujarrún observados en tramo de la Carretera La Encañada-Celendín, en el sector de Quinuamayo Alto.

3.3.4. CUERPOS ÍGNEOS

En la zona de estudio afloran una serie de cuerpos ígneos que se encuentran emplazados en rocas sedimentarias.

En base a la distribución espacial, el sentido de la evolución geocronológica y las similitudes geoquímicas se piensa que estos cuerpos ígneos están controlados por la falla Punre-Canchis (Ribera 2008). Con motivo de diferenciarlos a partir de su ubicación es que se ha enumerado a los cuerpos ígneos en el orden que se ubican en el trayecto determinado en gabinete para el desarrollo de esta tesis (Figura. 24)

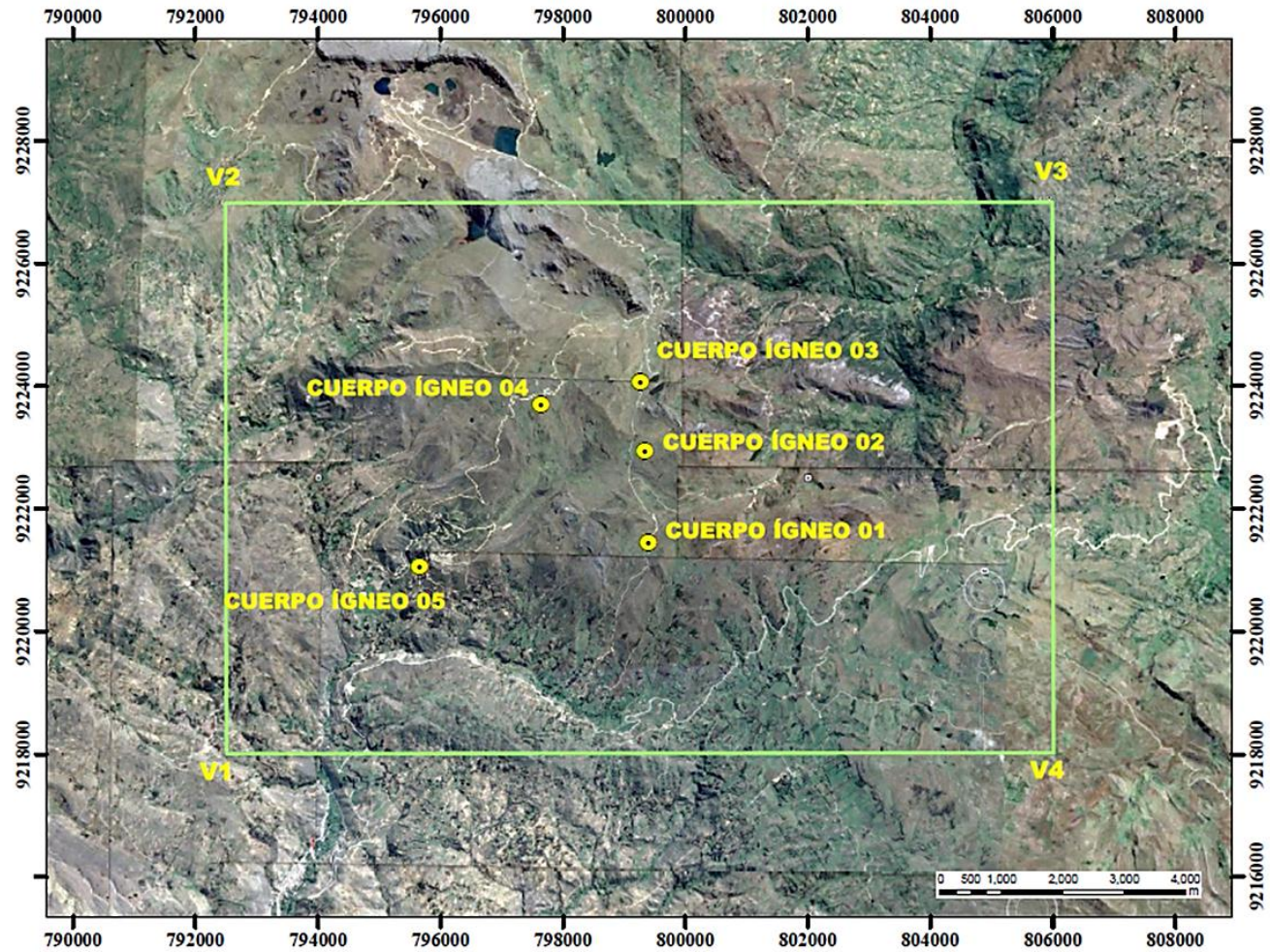


Figura 24. Ubicación de los cuerpos ígneos en el área de estudio

A continuación se detalla información de la ubicación y descripción macroscópica de las rocas constituyentes de estos cuerpos ígneos.

3.3.4.1. CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO N°01

Este primer cuerpo ígneo fue identificado en un tramo inicial de la carretera Quinuamayo-Punre, se encuentra en contacto con la Formación Carhuaz, la roca presenta una textura porfirítica y se encuentra fuertemente meteorizada.

Tabla 6. Coordenadas de ubicación del cuerpo ígneo N° 01

COORDENADAS UTM		
Latitud	Longitud	Cota (m.s.n.m)
9221433	799397	3739



Figura 25. Cuerpo ígneo intrusivo con alteración supérgena y desarrollo de arcillas blanquecinas.

3.3.4.1.1. Descripción Macroscópica de la roca ígnea.

La roca aflorante es de color gris blanquecina, de textura porfirítica, principalmente compuesta por cristales de plagioclasa (50%), menor contenido cuarzo (10%) y escaso feldespató potásico (5%), se observa también la presencia de biotita hexagonal.

El detalle de la siguiente imagen tomada con ayuda de una lupa permite diferenciar el tono blanquecino de las plagioclasas, el tono claro transparente del cuarzo y también los cristales de biotita.

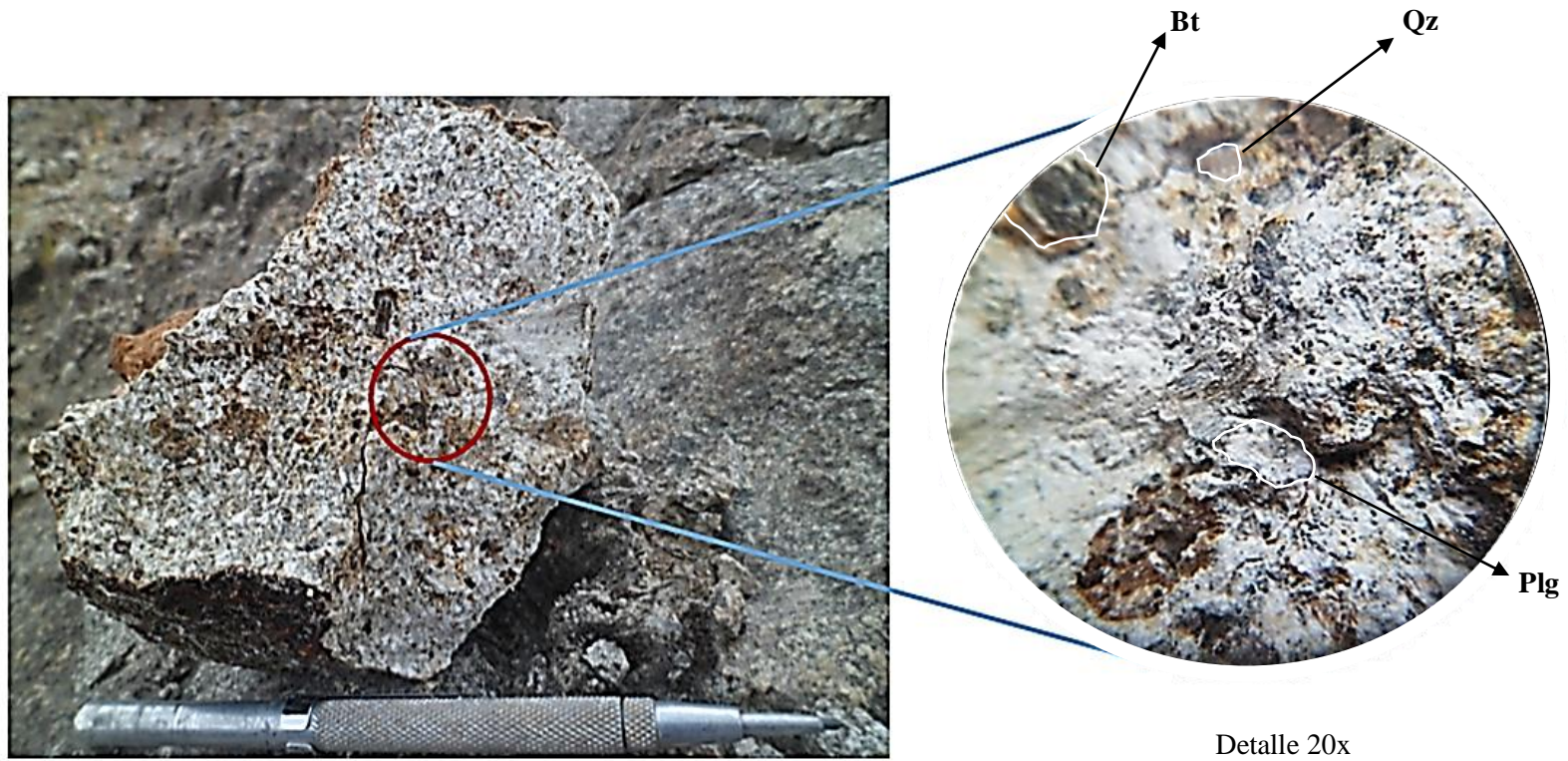


Figura 26. A la izquierda se observa la muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 01. A la derecha la vista de la muestra a detalle 20x en la que se identifica la presencia de Plagioclasa (Plg), Cuarzo (Qz) y Biotita (Bt).

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA PLUTÓNICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)

Campo	Nombres
1a	Cuarzolita o Silexita
1b	Granitoides ricos en cuarzo
2	Granito de feldespato alcalino; con bajo índice de color: Alaskita
3a	Sienogranito
3b	Monzogranito, Adamellita
4	Granodiorita
5	Tonalita, Cuarzodiorita; con bajo índice de color: Trondjemita
6*	Cuarzo-sienita de feldespato alcalino
6	Cuarzo-sienita
6'	Sienita feldespatoidal, Pulaskita
7*	Cuarzosienita
7	Sienita
7'	Miaskita
8*	Cuarzo-monzonita
8	Monzonita
8'	Monzonita feldespatoidal
9*	Cuarzo-monzodiorita, Cuarzo-monzogabro
9	Monzodiorita, Monzogabro
9'	Monzodiorita o Monzogabro feldespatoidal
10*	Cuarzodiorita, Cuarzogabro
10	Gabro (%An en Plg > 50%) o Diorita (%An en Plg < 50%)
10'	Gabro o Diorita feldespatoidal
11	Sienita nefelínica, Foyaita, Lujavrita
12	Plagifoyaita
13	Essexita
14	Theralita, Teschenita si tiene Analcima
15	Foidolita

Componente	Porcentaje	Porcentaje relativo
Q	10	15.38
A	5	7.69
P	50	76.92
F	0	0

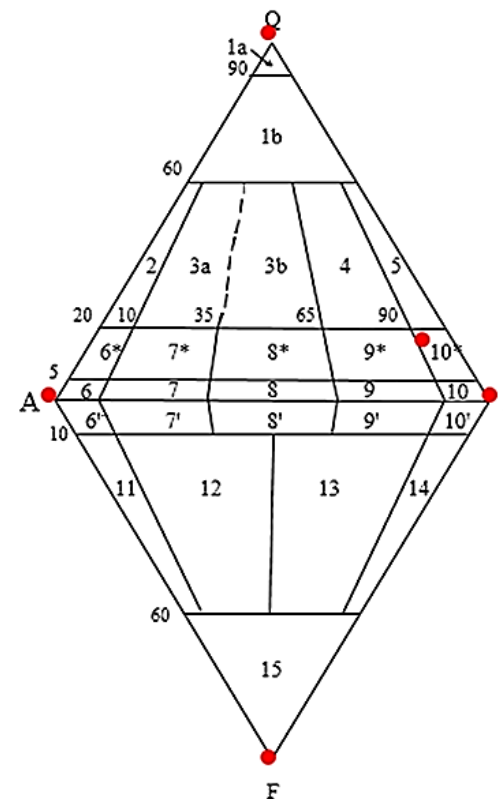


Figura 27. Triángulo de Streckeisen en el que se define al cuerpo ígneo plutónico como un pórfido cuarzodiorita

3.3.4.2. CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO N° 02

Este segundo cuerpo ígneo fue identificado cerca al cruce de la carretera Quinuamayo-Micuypampa; se encuentra en contacto con la formación Carhuáz, la roca presenta una textura porfirítica.

Tabla 7. Coordenadas de ubicación del cuerpo ígneo N° 02

COORDENADAS UTM		
Latitud	Longitud	Cota (m.s.n.m)
9222941	799342	3820



Figura 28. Bloques de rocas pertenecientes al cuerpo ígneo plutónico N° 02

3.3.4.2.1. Descripción Macroscópica de la roca ígnea.

La roca aflorante es de color gris, de textura porfirítica, principalmente compuesta por cristales de plagioclasa (45%), menor contenido cuarzo (10%) y escaso contenido de feldespato potásico (5%), se observa también la presencia placas negras de biotita.

El detalle de la siguiente imagen tomada con ayuda de una lupa permite diferenciar el tono blanquecino de las plagioclasas, el tono claro transparente del cuarzo, el tono rosáceo claro del feldespato potásico y los cristales oscuros de biotita.



Figura 29. A la izquierda se observa la muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 02. A la derecha la vista de la muestra a detalle 20x en la que se identifica la presencia de Plagioclasa (Plg), Cuarzo (Qz), Feldespato potásico (Fk) y Biotita (Bt).

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA PLUTÓNICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)

Campo	Nombres
1a	Cuarzolita o Silexita
1b	Granitoides ricos en cuarzo
2	Granito de feldespato alcalino; con bajo índice de color: Alaskita
3a	Sienogranito
3b	Monzogranito, Adamellita
4	Granodiorita
5	Tonalita, Cuarzodiorita; con bajo índice de color: Trondjemita
6*	Cuarzo-sienita de feldespato alcalino
6	Cuarzo-sienita
6'	Sienita feldespatoidal, Pulaskita
7*	Cuarzosienita
7	Sienita
7'	Miaskita
8*	Cuarzo-monzonita
8	Monzonita
8'	Monzonita feldespatoidal
9*	Cuarzo-monzodiorita, Cuarzo-monzogabro
9	Monzodiorita, Monzogabro
9'	Monzodiorita o Monzogabro feldespatoidal
10*	Cuarzodiorita, Cuarzogabro
10	Gabro (%An en Plg > 50%) o Diorita (%An en Plg < 50%)
10'	Gabro o Diorita feldespatoidal
11	Sienita nefelínica, Foyaita, Lujavrita
12	Plagifoyaita
13	Essexita
14	Theralita, Teschenita si tiene Analcima
15	Foidolita

Componente	Porcentaje	Porcentaje relativo
Q	10	16.67
A	5	8.33
P	45	75.00
F	0	0

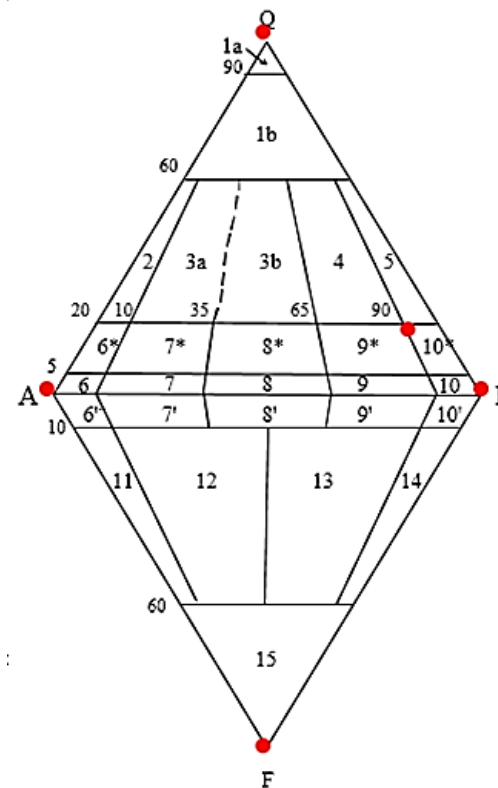


Figura 30. Triángulo de Streckeisen en el que se define al cuerpo ígneo plutónico como un pórfido cuarzodiorita

3.3.4.3. CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO N° 03

Este tercer cuerpo ígneo fue identificado en el tramo final de la carretera Quinuamayo-El Punre.

Tabla 8. Coordenadas de ubicación del cuerpo ígneo N° 03

COORDENADAS UTM		
Latitud	Longitud	Cota (m.s.n.m)
9224071	799265	3739



Figura 31. Cuerpo ígneo N° 03

3.3.4.3.1. Descripción Macroscópica de la roca ígnea.

La roca en el cuerpo ígneo es de color gris verdosa, de textura porfídica, compuesta principalmente por fenocristales de plagioclasa (65%) y escasa cantidad de hornblenda (5%) y cuarzo (5%). Se observa además minerales ferromagnesianos como biotita y hornblenda.

Se puede observar un leve desarrollo de alteración propilítica en la roca, con presencia de epidota. El detalle de la imagen con ayuda de la lupa permite diferenciar los fenocristales de plagioclasa, la presencia de prismas negros de hornblenda, de placas oscuras de biotita y manchas verdosas de epidota.

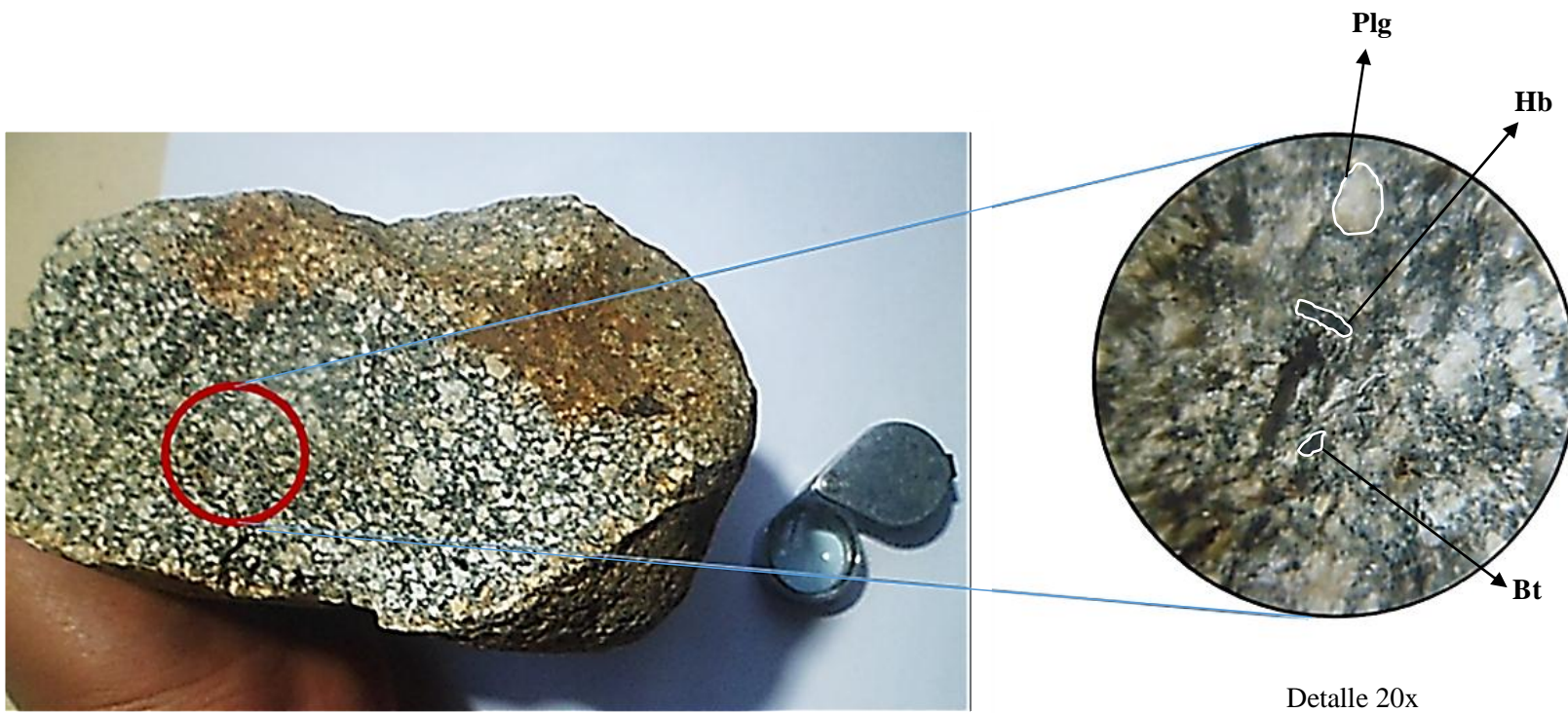


Figura 32. A la izquierda se observa la muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 03. A la derecha la vista de la muestra a detalle 20x en la que se identifica la presencia de Plagioclasa (Plg), Biotita (Bt) y Hornblenda (Hb).

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA PLUTÓNICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)

Campo	Nombres
1a	Cuarzolita o Silexita
1b	Granitoides ricos en cuarzo
2	Granito de feldespato alcalino; con bajo índice de color: Alaskita
3a	Sienogranito
3b	Monzogranito, Adamellita
4	Granodiorita
5	Tonalita, Cuarzodiorita; con bajo índice de color: Trondjemita
6*	Cuarzo-sienita de feldespato alcalino
6	Cuarzo-sienita
6'	Sienita feldespatoidal, Pulaskita
7*	Cuarzosienita
7	Sienita
7'	Miaskita
8*	Cuarzo-monzonita
8	Monzonita
8'	Monzonita feldespatoidal
9*	Cuarzo-monzodiorita, Cuarzo-monzogabro
9	Monzodiorita, Monzogabro
9'	Monzodiorita o Monzogabro feldespatoidal
10*	Cuarzodiorita, Cuarzogabro
10	Gabro (%An en Plg > 50%) o Diorita (%An en Plg < 50%)
10'	Gabro o Diorita feldespatoidal
11	Sienita nefelínica, Foyaita, Lujavrita
12	Plagifoyaita
13	Essexita
14	Theralita, Teschenita si tiene Analcima
15	Foidolita

Componente	Porcentaje	Porcentaje relativo
Q	5	6.67
A	5	6.67
P	65	86.67
F	0	0

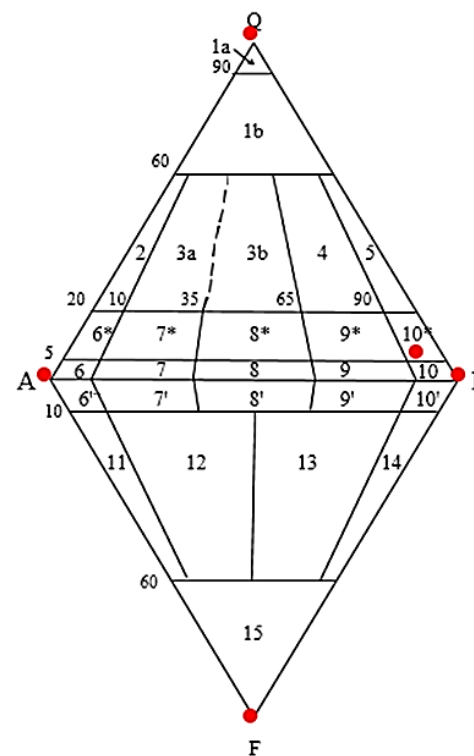


Figura 33 .Triángulo de Streckeisen en el que se define al cuerpo ígneo plutónico como un pórfido Cuarzodiorita

3.3.4.4. CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO N° 04

El cuarto cuerpo ígneo fue identificado en el tramo inicial de la carretera Punre-Michiquillay, presenta textura porfirítica y evidente desarrollo de diaclasamiento catafilar.

Tabla 9. Coordenadas de ubicación del cuerpo ígneo N° 04

COORDENADAS UTM		
Latitud	Longitud	Cota (m.s.n.m)
9223684	797635	3908



Figura 34. Pórfido con desarrollo de diaclasamiento catafilar.

3.3.5.4.1.- Descripción Macroscópica de la roca ígnea.

La roca en el cuerpo ígneo plutónico es de color gris, de textura porfídica compuesta principalmente por fenocristales de plagioclasa (45%), menor cantidad de cuarzo (10%) y escasos de feldespato potásico (5%). Se observan además minerales ferromagnesianos como biotita y hornblenda.

El detalle de la imagen tomada con ayuda de una lupa permite diferenciar el tono blanquecino de las plagioclasas (Plg), el tono claro transparente del cuarzo (Qz), los prismas oscuros de la hornblenda (Hb) y las micas de la biotita (Bt).

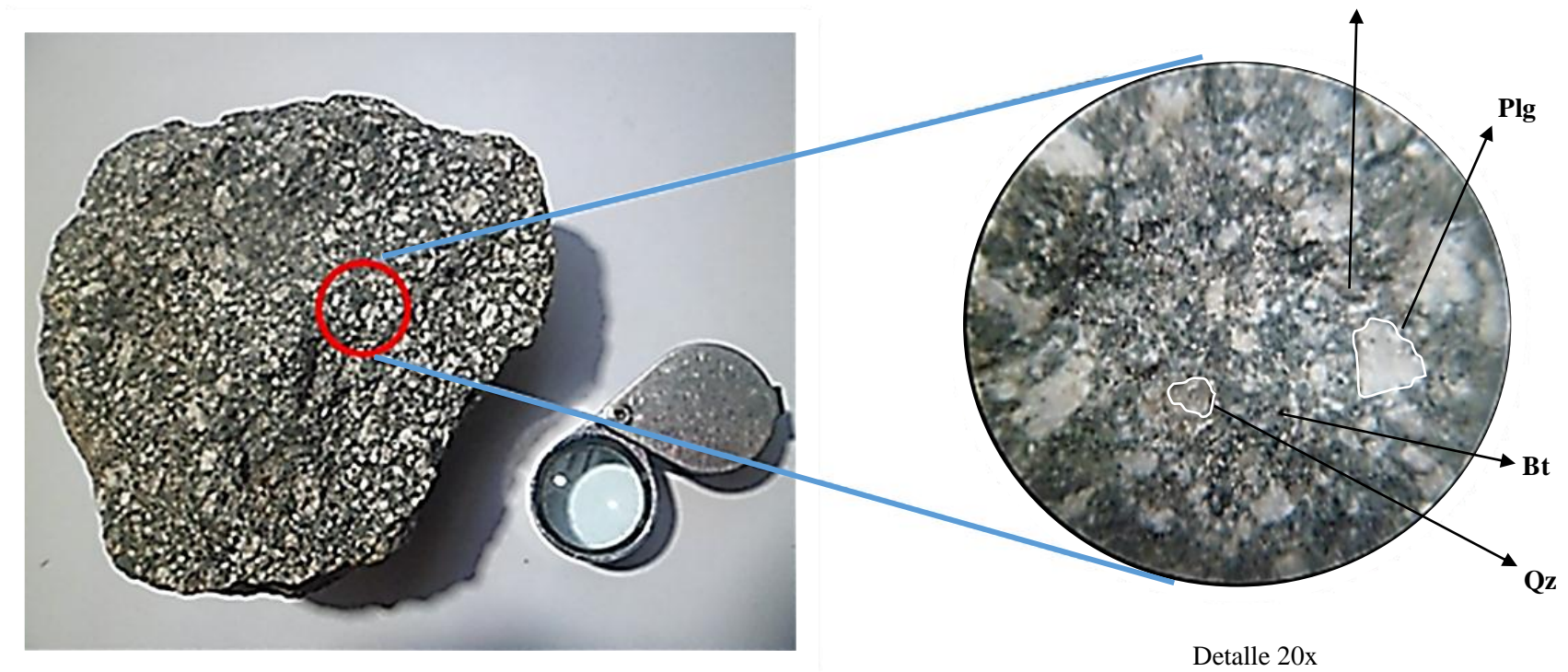


Figura 35. A la izquierda se observa la muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 04. A la derecha la vista de la muestra a detalle 20x en la que se identifica la presencia de Plagioclasa (Plg), Cuarzo (Qz) , Biotita (Bt) y Hornblenda (Hb).

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA PLUTÓNICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)

Campo	Nombres
1a	Cuarzolita o Silexita
1b	Granitoides ricos en cuarzo
2	Granito de feldespato alcalino; con bajo índice de color: Alaskita
3a	Sienogranito
3b	Monzogranito, Adamellita
4	Granodiorita
5	Tonalita, Cuarzodiorita; con bajo índice de color: Trondjemita
6*	Cuarzo-sienita de feldespato alcalino
6	Cuarzo-sienita
6'	Sienita feldespatoïdal, Pulaskita
7*	Cuarzosienita
7	Sienita
7'	Miaskita
8*	Cuarzo-monzonita
8	Monzonita
8'	Monzonita feldespatoïdal
9*	Cuarzo-monzodiorita, Cuarzo-monzogabro
9	Monzodiorita, Monzogabro
9'	Monzodiorita o Monzogabro feldespatoïdal
10*	Cuarzodiorita, Cuarzogabro
10	Gabro (%An en Plg > 50%) o Diorita (%An en Plg < 50%)
10'	Gabro o Diorita feldespatoïdal
11	Sienita nefelínica, Foyaita, Lujavrita
12	Plagifoyaita
13	Essexita
14	Theralita, Teschenita si tiene Analcima
15	Foidolita

Componente	Porcentaje	Porcentaje relativo
Q	10	16.67
A	5	8.33
P	45	75.00
F	0	0

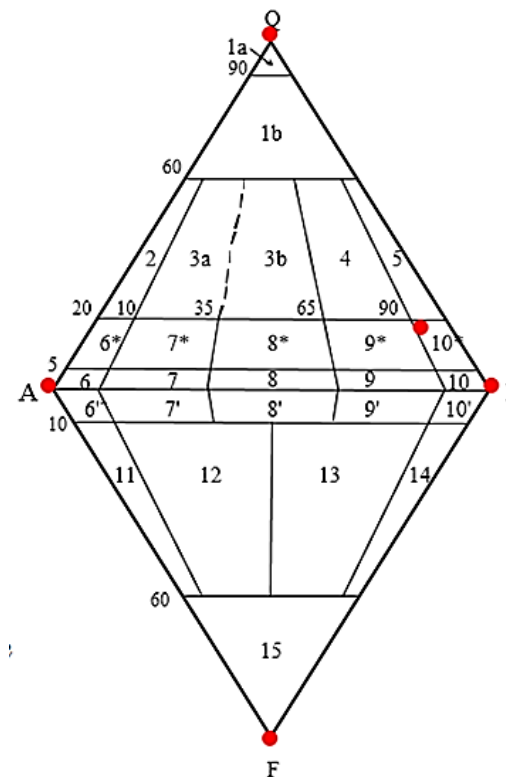


Figura 36. Triángulo de Streckeisen en el que se define al cuerpo ígneo plutónico como un pórfido Cuarzodiorita

3.3.4.5. CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO N° 05

Este último cuerpo ígneo plutónico fue identificado en el tramo final de la carretera Punre-Michiquillay.

En este pórfido mineralizado de Cu-Au-Mo (Rivera, 2007) se pudo identificar la zona central con presencia de alteración fílica. Dentro de los minerales identificados destaca la presencia de pirita con patinas oscuras que corresponde a calcosina, además se observa la presencia de calcantita y vetillas de cuarzo.

Tabla 10. Coordenadas de ubicación del cuerpo ígneo N° 05

COORDENADAS UTM		
Latitud	Longitud	Cota (m.s.n.m)
9221062	795658	3591



Figura 37. Parte central del stock mineralizado de Michiquillay. La coloración azul verdosa corresponde a la presencia de calcantita.

3.3.4.5.1.- Descripción Macroscópica de la roca ígnea.

La roca en el cuerpo ígneo intrusivo es de color gris, presentando una textura porfirítica y una textura obliterada en parte de la roca. Dentro de los minerales formadores se identificaron principalmente Plagioclasas (45%) y en menor contenido Cuarzo (10%), dentro de los minerales ferromagnesianos se observan pequeños cristales de biotita.

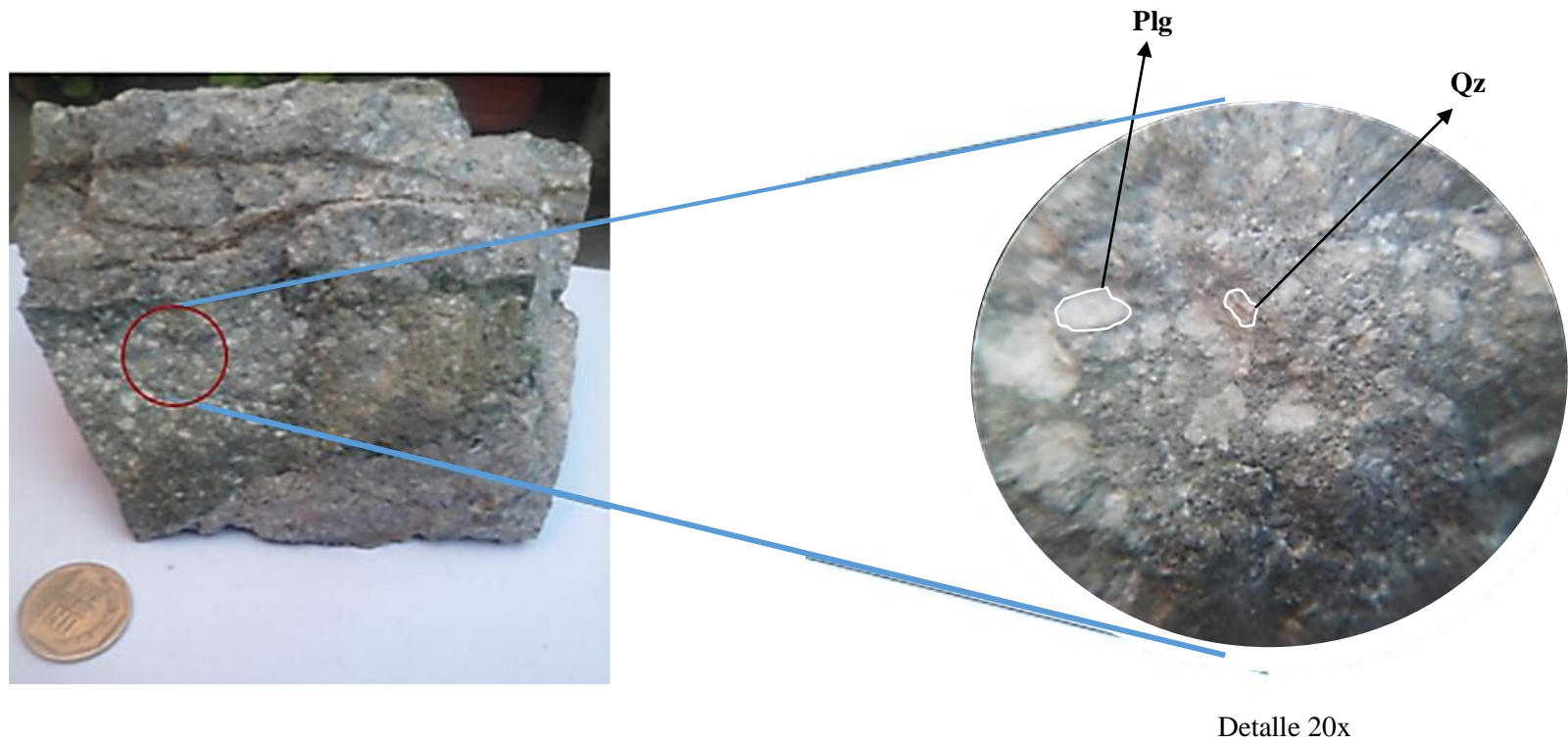


Figura 38. A la izquierda se observa la muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 05. A la derecha la vista de la muestra a detalle 20x en la que se identifica la presencia de Plagioclasa (Plg) y Cuarzo (Qz).

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA PLUTÓNICA EN EL TRIANGULO Q-A-P-F (Streckeisen, 1976)

Campo	Nombres
1a	Cuarzolita o Silexita
1b	Granitoides ricos en cuarzo
2	Granito de feldespato alcalino; con bajo índice de color: Alaskita
3a	Sienogranito
3b	Monzogranito, Adamellita
4	Granodiorita
5	Tonalita, Cuarzodiorita; con bajo índice de color: Trondjemita
6*	Cuarzo-sienita de feldespato alcalino
6	Cuarzo-sienita
6'	Sienita feldespatoidal, Pulaskita
7*	Cuarzosienita
7	Sienita
7'	Miaskita
8*	Cuarzo-monzonita
8	Monzonita
8'	Monzonita feldespatoidal
9*	Cuarzo-monzodiorita, Cuarzo-monzogabro
9	Monzodiorita, Monzogabro
9'	Monzodiorita o Monzogabro feldespatoidal
10*	Cuarzodiorita, Cuarzogabro
10	Gabro (%An en Plg > 50%) o Diorita (%An en Plg < 50%)
10'	Gabro o Diorita feldespatoidal
11	Sienita nefelínica, Foyaita, Lujavrita
12	Plagifoyaita
13	Essexita
14	Theralita, Teschenita si tiene Analcima
15	Foidolita

Componente	Porcentaje	Porcentaje relativo
Q	10	16.67
A	5	8.33
P	45	75.00
F	0	0

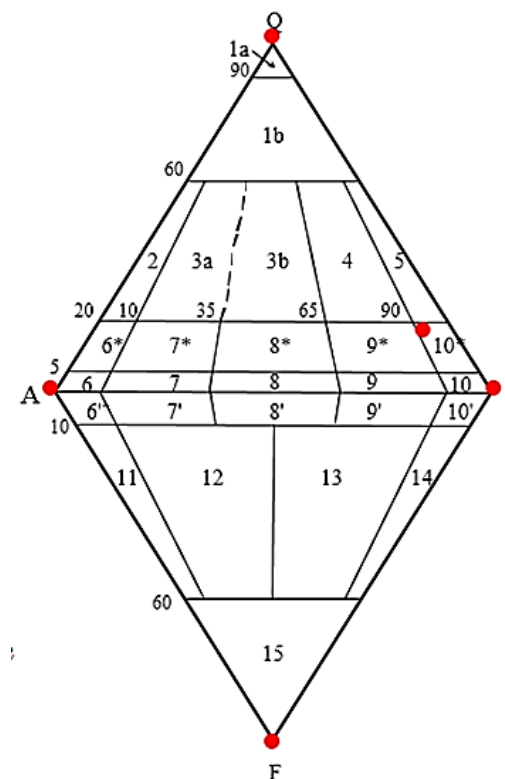


Figura 39. Triángulo de Streckeisen en el que se define al cuerpo ígneo plutónico como un pórfido cuarzodiorita

3.3.5. DEPOSITOS CUATERNARIOS

En discordancia angular sobre todas las unidades descritas anteriormente se tiene una variedad de depósitos cuaternarios, Las unidades más recientes están representadas por depósitos glaciares y glaciofluviales que rellenan los valles, y en menor escala depósitos aluviales y coluviales sobre las laderas, relleno de pequeñas quebradas.

3.4.-GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Se evidencia que los planos de estratificación de las unidades geológicas identificadas en la zona de estudio presentan una orientación aproximadamente NW-SE, estas habrían sido afectadas por una importante actividad tectónica evidenciado por la presencia de una serie de estructuras como pliegues y fallas.

El principal control estructural lo constituiría la Falla Punre-Canchis y su sistema de fallas asociadas que presentan una orientación aproximadamente NW-SE y que habrían constituido zonas favorables para el emplazamiento de los cuerpos ígneos plutónicos identificados.

Se puede observar la presencia de un sistema secundario de lineamientos con orientación NE-SW que coincide en la actualidad con una serie de quebradas.

Para analizar el control litológico existente para el emplazamiento de los cuerpos ígneos se ha realizado un análisis de las estructuras geológicas y del comportamiento de la roca mediante el ensayo de Schmidt a fin de determinar el esfuerzo máximo que soportan antes de fracturarse y convertirse en zonas de debilidad favorables para el emplazamiento de los cuerpos ígneos.

3.4.1. ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

3.4.1.1. FALLAS

La falla Punre-Canchis es una estructura regional que atraviesa la zona de estudio con una dirección variable NO-SE a E-O y luego N-S. Esta falla coincide con la quebrada Chanche observada en la zona del Sector Punre. En la Figura 40 se indica la ubicación de falla Punre-Canchis que presenta el comportamiento de una falla por cabalgamiento ya que como se observó en campo el contacto entre las Formaciones Chimú y Chúlec

ocasionado por la falla indicaría que las presiones laterales ocurridas en la Región ocasionaron que las capas rocosas de edad más antigua se superpongan sobre las otras secuencias de edad más moderna.

Asociados a esta falla regional Punre -Canchis se identificó la presencia de un sistema de fallas secundario con dirección NW-SE y buzamiento hacia el SW que habrían constituido zonas favorables para el emplazamiento de los cuerpos ígneos.

Una estructura con vergencia contraria al sistema de fallas mencionado lo constituye la Michiquillay, esta presenta una dirección NW-SE que se hunde 60° hacia el NE (Hollister y Sirvas, 1974).

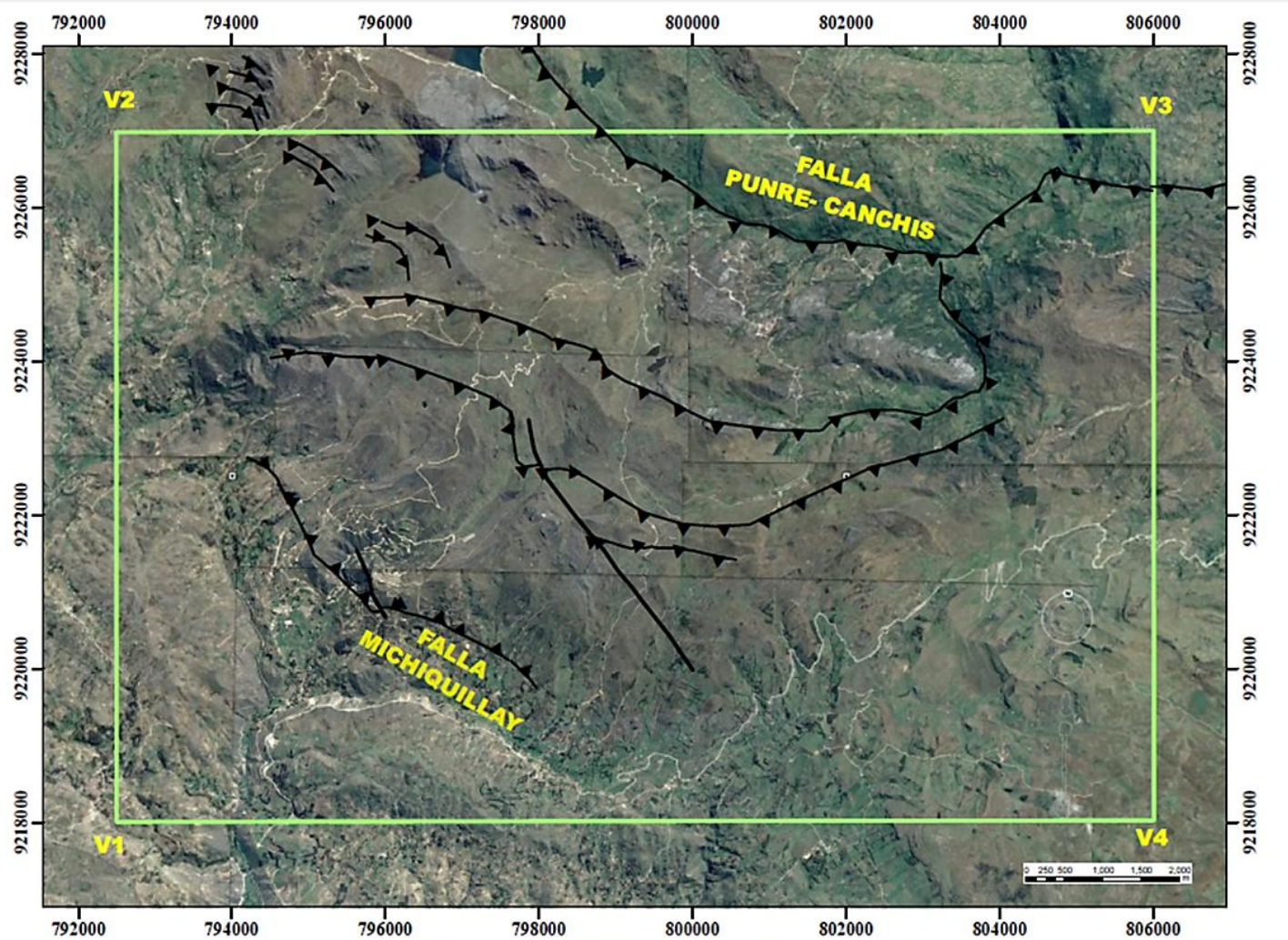


Figura 40. Ubicación de las fallas geológicas en la zona de estudio.

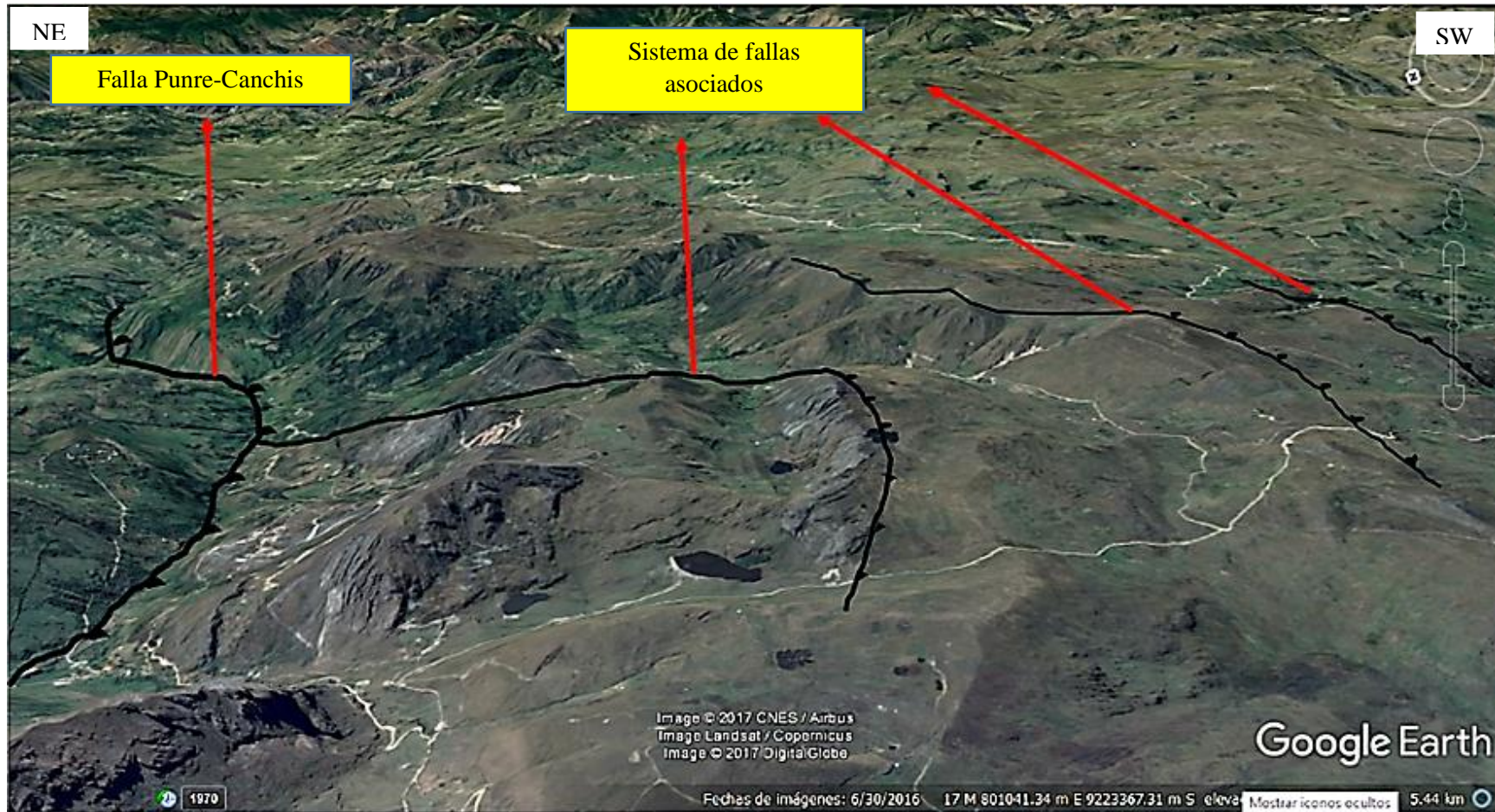


Figura 41. Ubicación de la falla principal Punre-Canchis y su sistema de fallas asociado.

3.4.1.2. FALLAS MENORES

A lo largo de la carretera Encañada-Celendín se pudo identificar la presencia de fallas en estratos de la Formación Yumagual. En la figura 42 se observa una falla normal de rumbo N165 y buzamiento 74°, en la cual también se puede observar la presencia de una falla conjugada.

Tabla 11. Coordenadas de ubicación de falla geológica conjugada.

COORDENADAS UTM		
Latitud	Longitud	Cota (m.s.n.m)
9219529	796057	3373



Figura 42. Falla normal (color rojo) con presencia de una falla conjugada (color naranja) en estratos de calizas intercaladas con lutitas de la Formación Yumagual.

3.4.1.3. PLIEGUES

En la parte cercana al frente de corrimiento se observa la presencia de un pliegue anticlinal en estratos de areniscas de la Formación Chimú, generado debido a las fuerzas de compresión que generaron una secuencia de etapas de plegamiento/fallamiento característicos en la formación de un manto de corrimiento.



Figura 43. Estratos plegados de la formación Chimú en el frente de corrimiento. Ubicado en el sector el Punre.

Se pudo identificar la presencia de una serie de pliegues (anticlinales y sinclinales), evidenciados principalmente en las formaciones Pariatambo y Yumagual debido al comportamiento dúctil de su litología . En las siguientes imágenes se observan los pliegues identificados en la zona de estudio, a lo largo del corte de la carretera Encañada-Celendín.

Tabla 12. Coordenadas de ubicación de pliegues formados en estratos de la Formación Yumagual.

COORDENADAS UTM		
Latitud	Longitud	Cota (m.s.n.m)
9219503	796073	3477



Figura 44. Pliegues evidenciados en estratos de calizas intercaladas con lutitas gris oscuras de la Formación Yumagual ubicados en corte de carretera Encañada-Celendín.

Tabla 13. Coordenadas de ubicación de pliegue sinclinal formado en estratos de la Formación Yumagual.

COORDENADAS UTM		
Latitud	Longitud	Cota (m.s.n.m)
9219437	795626	3436



Figura 45. Estratos de capas de calizas intercaladas con lutitas de la Formación Yumagual formando un pliegue sinclinal observado en corte de la carretera La Encañada-Celendín

3.4.1.4. DIACLASAS

Se pudo identificar una serie de planos de ruptura que dividen los macizos rocosos, evidenciando la deformación tectónica presente en la zona de estudio en la cual las fuerzas compresivas han actuado principalmente en dirección NE-SW. Por lo general se identificó dos o más orientaciones preferenciales (juegos), constituyendo sistemas de diaclasas. Estos sistemas de diaclasas fueron evidenciadas en las rocas comúnmente llamadas “rocas duras”, como es el caso de las areniscas de las Formaciones Chimú, Carhuáz y Farrat; así también en las calizas de la Formación Yumagual.

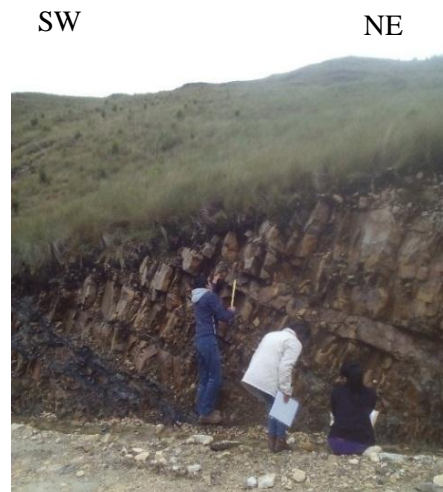
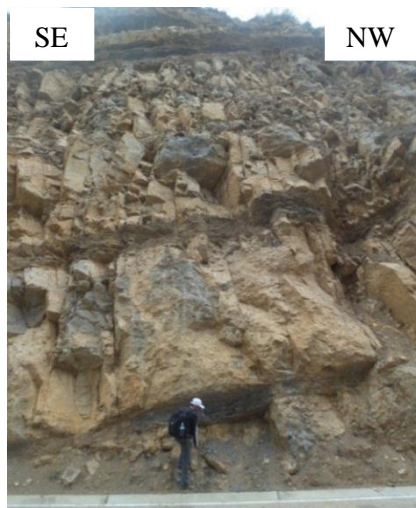


Figura 46 (izquierda). Familias de diaclasas en estratos de calizas de la Formación Yumagual.
Figura 47 (derecha). Familias de diaclasas en estratos de areniscas de la Formación Carhuáz.

3.4.1.5. ESTACIONES ESTRUCTURALES

A continuación se muestran las proyecciones estereográficas y la roseta de esfuerzos obtenida de cada estación en la cual se realizó el análisis de diaclasas.

3.4.1.5.1. ESTACIÓN 01

Esta primera estación se realizó en un macizo rocoso de areniscas cuarzosas de la Formación Farrat.

Tabla 14. Coordenadas de la Estación 01 para el análisis de diaclasas.

Coordenadas UTM		
Norte	Este	Cota
799409	9221422	3862

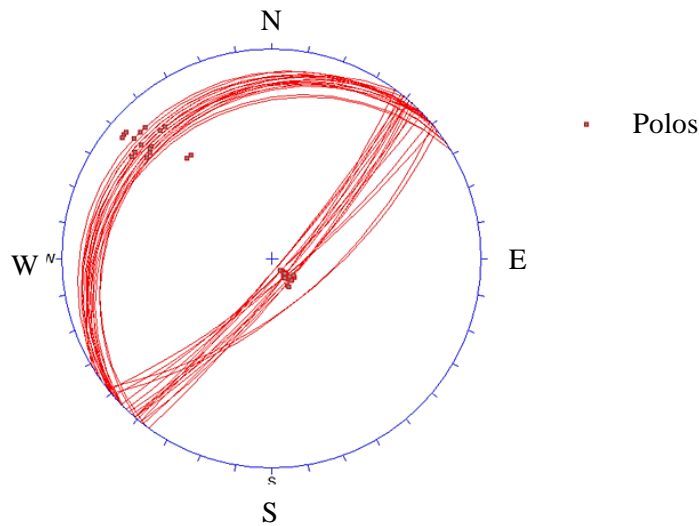


Figura 48. Proyección estereográfica de diaclasas en Estación 01

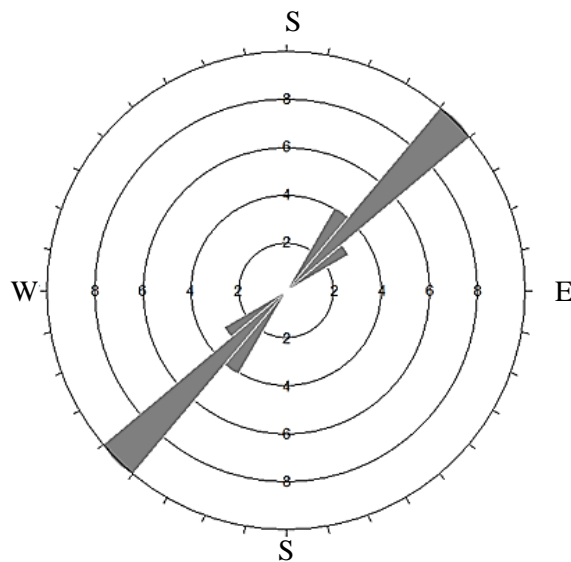


Figura 49. Roseta de diaclasas de la Estación 01

A partir de la concentración de polos se definen 2 familias principales (Familia 1: Buzamiento 80/ Dirección del buzamiento 132, Familia 2: Buzamiento 13/ Dirección del buzamiento 319).

El diagrama de roseta se permite definir una dirección predominante del rumbo de las diaclasas que se encuentran en un rango de 40°-50°, lo que nos indica a su vez la dirección del esfuerzo principal que ha generado los sistemas de lineamientos estructurales observados en la zona de estudio y que constituyen zonas de debilidad.

3.4.1.4.2. ESTACIÓN 02

Esta segunda estación se realizó en un macizo rocoso de areniscas rojizas intercaladas con lutitas grises de la Formación Carhuaz.

Tabla 15. Coordenadas de la Estación 02 para el análisis de diaclasas.

Coordenadas UTM		
Este	Norte	Cota
799236	922248	3819

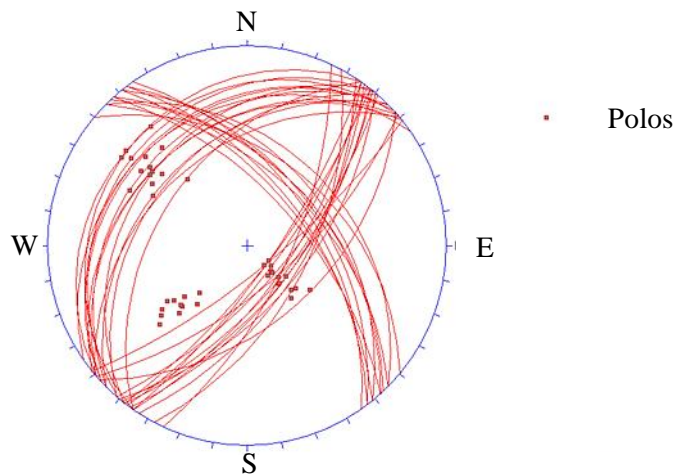


Figura 50. Proyección estereográfica en la Estación 02

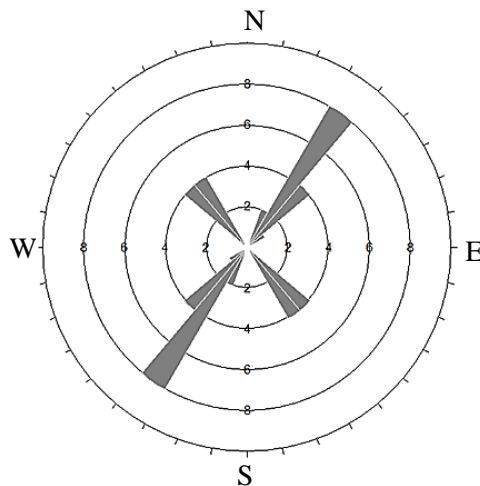


Figura 51. Roseta de diaclasas en Estación 02

A partir de la concentración de polos se definen 3 familias principales (Familia 1: Buzamiento 50/ Dirección del buzamiento 49, Familia 2: Buzamiento 66/ Dirección del buzamiento 128, Familia 3: Buzamiento 27/ Dirección del buzamiento 316).

Del análisis del diagrama de roseta se puede definir una dirección predominante del rumbo de las diaclasas que se encuentran en un rango de 30°-40° .Además se observa un rango menor de 130°-150° (rumbo).

3.4.1.4.3. ESTACIÓN 03

Esta tercera estación se realizó en un macizo rocoso de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú.

Tabla 16. Coordenadas de la Estación 03 para el análisis de diaclasas

Coordenadas UTM		
Este	Norte	Cota
799613	9224530	3713

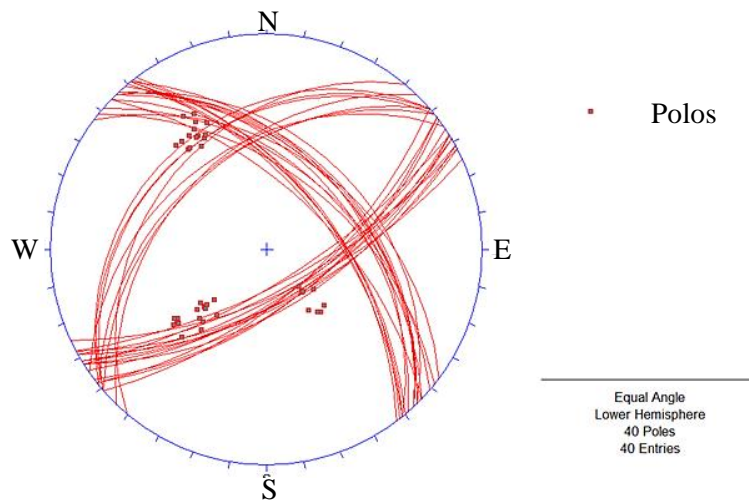


Figura 52. Proyección estereográfica de diaclasas en la estación 03.

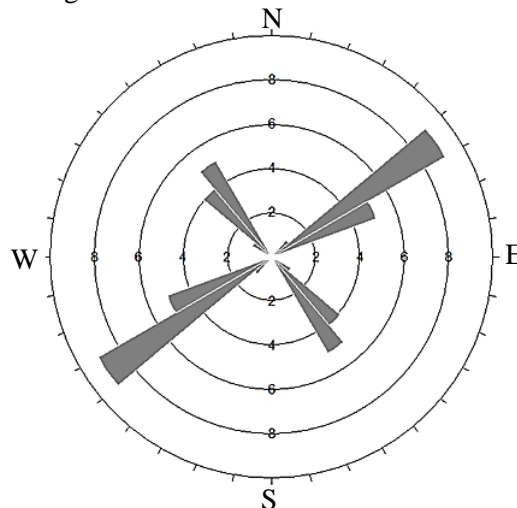


Figura 53. Roseta de diaclasas de la Estación 03

A partir de la concentración de polos se definen 3 familias principales (Familia 1: Buzamiento 49/ Dirección del buzamiento 47, Familia 2: Buzamiento 64/ Dirección del buzamiento 148, Familia 3: Buzamiento 35/ Dirección del buzamiento 319).

Se puede definir una dirección predominante del rumbo de las diaclasas que se encuentran en un rango de 60°-70°, además un segundo rango de 140°-150° (rumbo). Se puede emplear la teoría de Anderson de fallas según la cual la dirección del esfuerzo principal es el ángulo agudo formado por las fallas conjugadas, es así que la dirección del esfuerzo principal sigue la tendencia NE-SW.

3.4.1.4.4.-ESTACIÓN 04

Esta cuarta estación se realizó en estratos de calizas macizas de la Formación Yumagual.

Tabla 17. Coordenadas de la Estación 04 para el análisis de diaclasas.

Coordenadas UTM		
Este	Norte	Cota
796545	9219519	3408

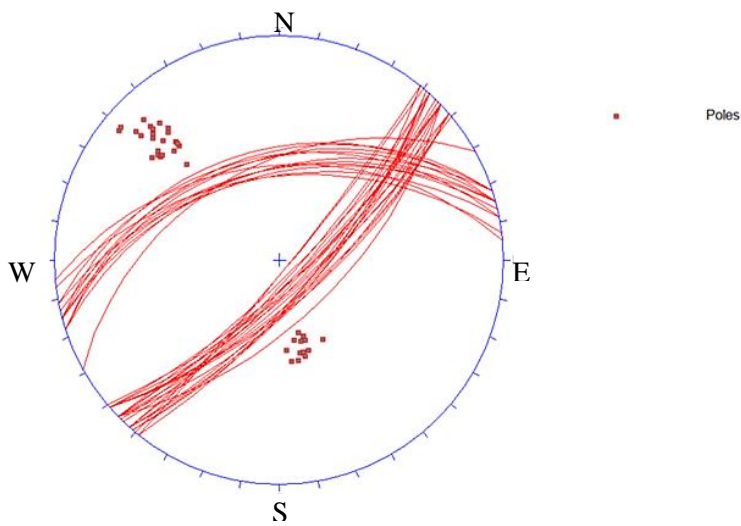


Figura 54. Proyección estereográfica de diaclasas de la estación 04

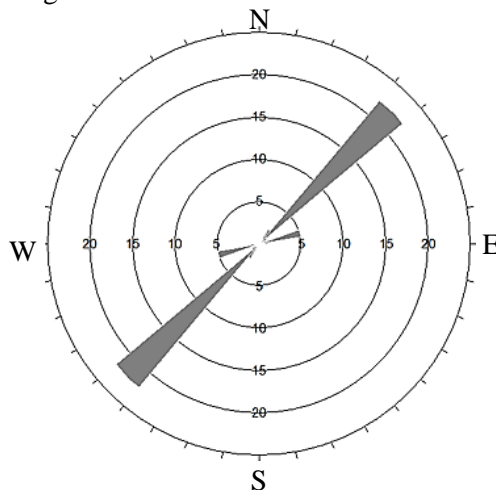


Figura 55. Roseta de diaclasas de la Estación 04

A partir de la concentración de polos se definen 2 familias principales (Familia 1: Buzamiento 75/ Dirección del buzamiento 135, Familia 2: Buzamiento 44/ Dirección del buzamiento 347)

Se puede definir una dirección predominante del rumbo de las diaclasas que se encuentran en un rango de 40°-50°.

3.4.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA

Este análisis se realizó en campo empleado un Martillo de Schmidt con el fin de determinar la resistencia de las rocas en las formaciones que afloran en el área de estudio.

Esta propiedad resulta importante para analizar el emplazamiento de los cuerpos ígneos ya que como se afirma en el estudio realizado por Piquer (2010) el ascenso de importantes volúmenes de magma aprovechan las zonas de debilidad asociadas a sistemas de fallas, en este caso las rocas que presentan menor resistencia a la compresión uniaxial son aquellas que soportan la menor fuerza máxima antes de fallar y como consecuencia resultan más favorables para el emplazamiento de los cuerpos ígneos.

El ensayo consiste en medir la resistencia al rebote de la superficie de la roca ensayada. La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a compresión simple mediante un gráfico debido a Miller (1965) que contempla la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto del plano ensayado.

Para la realización del ensayo, en primer lugar, se limpió la zona a ensayar, que debe estar libre de fisuras o grietas, eliminando la pátina de roca meteorizada. A continuación se aplica el martillo, presionando hasta que salta el muelle; el martillo se colocó perpendicular al plano de ensayo. En función de la dureza o resistencia de la roca, el muelle sufre mayor o menor rebote, valor que queda reflejado en una escala situada al costado del aparato. Se realizó en cada punto de medida 10 percusiones con el martillo, eliminando los 5 valores más bajos y tomando el valor promedio de los restantes.

Una vez promediados los 05 valores de rebote más altos de cada una de las estaciones realizadas en campo, se correlaciono estos valores mediante el ábaco de Miller para obtener la resistencia a la compresión simple en función de la densidad de la roca, la inclinación del martillo y el plano ensayado.

El valor del peso específico a usar en el ábaco de Miller para areniscas y calizas identificadas es de 24 kN/m^3 .

Los resultados obtenidos tras aplicar el ensayo en los afloramientos de las unidades geológicas en la zona de estudio fueron los siguientes:

- Formación Chimú



Tabla 18. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Chimú

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
ESTACIÓN N° 01	120
ESTACIÓN N° 02	123
ESTACIÓN N° 03	125
ESTACIÓN N° 04	123
RESISTENCIA PROMEDIO	122.75

Figura 56. Uso de martillo de Schmidt sobre un estrato de areniscas cuarzosas de la formación Chimú.

- Formación Carhuáz



Tabla 19. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Carhuáz

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
ESTACIÓN N° 01	40
ESTACIÓN N° 02	37.5
ESTACIÓN N° 03	37.5
ESTACIÓN N° 04	37
RESISTENCIA PROMEDIO	38

Figura 57. Uso de martillo de Schmidt sobre estratos de areniscas rojizas de la Formación Carhuáz.

- Formación Farrat



Figura 58. Uso de martillo de Schmidt sobre un estrato de areniscas cuarzosas de la Formación Farrat.

Tabla 20. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Farrat.

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
ESTACIÓN N° 01	78
ESTACIÓN N° 02	81
ESTACIÓN N° 03	77.5
ESTACIÓN N° 04	79.5
RESISTENCIA PROMEDIO	79

- Formación Chulec.



Figura 59. Uso de martillo de Schmidt sobre un estrato de calizas arenosas de la formación Chulec.

Tabla 21. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Chulec.

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
ESTACIÓN N° 01	34
ESTACIÓN N° 02	36
ESTACIÓN N° 03	35.5
ESTACIÓN N° 04	35
RESISTENCIA PROMEDIO	35.13

- Formación Pariatambo



Figura 60. Uso de martillo de Schmidt sobre un estrato de calizas nodulares de la Formación Pariatambo.

Tabla 22. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Pariatambo

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
ESTACIÓN N° 01	48
ESTACIÓN N° 02	47.5
ESTACIÓN N° 03	48
ESTACIÓN N° 04	48
RESISTENCIA PROMEDIO	47.88

- Formación Yumagual



Tabla 23. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Yumagual.

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
ESTACIÓN N° 01	76.5
ESTACIÓN N° 02	72
ESTACIÓN N° 03	74
ESTACIÓN N° 04	76
RESISTENCIA PROMEDIO	74.63

Figura 61. Uso de martillo de Schmidt sobre estratos de calizas de la Formación Yumagual

- Formación Mujarrún



Tabla 24. Resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt en la Formación Mujarrun

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
ESTACIÓN N° 01	34
ESTACIÓN N° 02	36.5
ESTACIÓN N° 03	36
ESTACIÓN N° 04	34.5
RESISTENCIA PROMEDIO	35.25

Figura 62. Uso de martillo de Schmidt sobre estratos de calizas de la Formación Mujarrún.

En base a los resultados obtenidos se puede determinar que existen formaciones geológicas como las Formaciones Chimú, Farrat y Yumagual que presentan una considerable mayor resistencia a la compresión simple en comparación a las Formaciones Carhuáz, Chúlec, Pariatambo y Mujarrún. Teniendo en cuenta que las rocas con mayor resistencia soportan mayor fuerza antes de romperse podríamos inferir que el magma al ascender presenta mayor dificultad para emplazarse siguiendo estas secuencias estratigráficas por lo cual no constituirían zonas favorables para el emplazamiento; lo contrario ocurriría en aquellas formaciones que presentan una menor resistencia y por lo tanto constituirían formaciones favorables para el emplazamiento magmático.

En la siguiente tabla se observan los resultados obtenidos de resistencia a la compresión simple que presentan las formaciones geológicas identificadas.

Tabla 25. Tabla resumen de resultados del ensayo con Martillo de Schmidt.

Formación Geológica	Resistencia a compresión simple(MPa)
Fm. Chimu	122.75
Fm. Farrat	79
Fm. Yumagual	74.63
Fm. Pariatambo	47.88
Fm. Carhuaz	38
Fm. Mujarrún	35.25
Fm. Chulec	35.13

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Analizando las características geológicas de la zona de estudio podemos apreciar la presencia de secuencias sedimentarias del Cretácico como lo son las formaciones pertenecientes al Grupo Goyllarisquizga representado por las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrát, el Grupo Crisnejas representado por las Formaciones Inca, Chúlec y Pariatambo, finalmente el Grupo Pulluicana representado por las Formaciones Yumagual y Mujarrún.

Las secuencias sedimentarias han sufrido varias fases de deformación ya que desde el Paleógeno sido invadido por múltiples fases magmáticas (Davies, 2002).

Se identificó la presencia de cinco cuerpos ígneos intrusivos cuyas rocas evidencian una textura porfirítica, con abundancia de fenocristales de plagioclasas (45 a 65 %), menor presencia de cuarzo (5 a 10%) y escaso feldespato potásico (5%), clasificando a estos cuerpos como pórfidos cuarzo-diorita (Streckeisen, 1976). Por la profundidad de emplazamiento menor a los 10 Km se determina que las intrusiones corresponden a un ambiente epizonal (Best, 1982).

Las unidades litológicas de las secuencias sedimentarias silicoclásticas del Cretácico Inferior, las secuencias calcáreas del Cretácico Inferior y la ubicación de los cinco pórfidos cuarzodiorita se observan en el plano geológico elaborado en esta tesis (Ver plano P-3)

4.2. ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

Los planos de estratificación de las rocas sedimentarias Cretácicas en la zona tienen una orientación aproximada NW-SE y se encuentran afectadas por una importante actividad tectónica que posiblemente esté relacionada al emplazamiento de los sistemas porfíricos. La evolución magmática en la Región estuvo controlada por fallas regionales de cabalgamiento entre las que destaca la falla Punre-Canchis con rumbo general NW, esta falla presenta muchas inflexiones en todo su recorrido que puede haber provocado que los esfuerzos tengan diferentes comportamientos a través del tiempo geológico (Rivera, 2008).

A partir del análisis de diaclasas se puede determinar la dirección del esfuerzo principal NE-SW que habría dado origen al sistema estructural de fallas y pliegues de orientación general NW. En dirección al esfuerzo principal se identificó un sistema secundario de lineamientos con orientación NE-SW.

Las fallas inversas asociadas a la falla Punre-Canchis presentan una orientación general NW-SE y buzamiento aproximado de 60° hacia el SW. Estas fallas constituyen los controles estructurales que habrían permitido el ascenso del magma mediante diques hacia niveles más superficiales.

Una estructura con vergencia contraria al sistema de fallas mencionado que se comporta como una falla de retrocabalgamiento lo constituye la falla de Michiquillay (Davies, 2002), esta presenta una dirección NW-SE con buzamiento hacia el NE (dirección de buzamiento contrario al de la falla Punre-Canchis).

Las estructuras geológicas que han sido identificadas se muestran en el Plano Estructural elaborado durante el desarrollo de esta tesis (Ver plano P-4).

4.3.-ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS

Un aspecto importante que se plantea esta tesis es que los cuerpos intrusivos aprovechan unidades formacionales más favorables para su emplazamiento, es decir unidades estratigráficas donde las rocas al ser menos resistentes permiten al magma emplazarse a

través de sus capas. Es por eso que para el desarrollo del presente estudio se consideró fundamental el hecho de analizar el grado de resistencia que presentan las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio.

Se empleó el martillo de Schmidt para determinar el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a la compresión uniaxial y a partir de este valor numérico determinar la fuerza máxima que soportan las rocas antes de su fractura, una roca que soporta un menor esfuerzo antes de su fractura es una roca con mayor tendencia a presentar discontinuidades que constituyen zonas favorables para el emplazamiento.

En base a los resultados obtenidos se pudo determinar cuáles son las formaciones geológicas que se presentan más favorables para el emplazamiento de los cuerpos ígneos intrusivos.

En la tabla 26 se realiza la clasificación de las formaciones geológicas de la zona de estudio en función a su resistencia según la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Se puede determinar que las Formaciones Carhuáz, Chúlec y Mujarrún; se presentan más favorables para el emplazamiento de los cuerpos ígneos plutónicos debido a su menor grado de resistencia.

Tabla 26. Clase de roca a partir de la resistencia a la compresión simple.

Formación Geológica	Resistencia a compresión uniaxial (MPa)	Clase	Descripción
Formación Chimu	122.75	R_5	Roca muy dura
Formación Farrat	79	R_4	Roca dura
Formación Yumagual	74.63	R_4	Roca dura
Formación Pariatambo	47.88	R_3	Roca moderadamente dura
Formación Carhuaz	38	R_3	Roca moderadamente dura
Formación Mujarrún	35.25	R_3	Roca moderadamente dura
Formación Chulec	35.13	R_3	Roca moderadamente dura

El valor de la resistencia aporta importante información sobre las propiedades ingenieriles de las rocas, por lo cual esta información puede ser usada para posteriores estudios de ingeniería.

La resistencia de las rocas en las formaciones geológicas de la zona de estudio se muestra en el Plano de Resistencia del macizo rocoso elaborado durante el desarrollo de esta tesis (Ver plano P-5).

4.4. ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE EMPLAZAMIENTO DE LOS CUERPOS ÍGNEOS PLUTÓNICOS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA ENCAJONANTE.

El presente estudio busca determinar las estructuras de emplazamiento de los cuerpos ígneos plutónicos identificados entre la zona de Michiquillay y el Punre, de manera que se pueda mostrar una configuración geométrica de su emplazamiento teniendo en cuenta la relación con la roca caja (intrusiones concordantes y discordantes).

Las bases teóricas recopiladas para el desarrollo de esta tesis nos citan el importante papel que juega el control litológico por parte de la roca caja en el emplazamiento de los cuerpos ígneos. Uno de los principales factores que determinan el emplazamiento del magma a través de las secuencias estratigráficas es la resistencia que presentan las formaciones al fracturamiento, constituyendo zonas favorables aquellas formaciones geológicas con menor resistencia a la compresión por constituir capas débiles en las cuales el magma puede emplazarse a través de ellas formando estructuras tipo sills (Best 2003).

El comportamiento plástico de las rocas también constituye un factor favorable para el emplazamiento. Los magmas son masas menos densas que el sólido que las rodea por lo que se vuelven boyantes y tienden a ascender si el material que los rodea es suficientemente dúctil. El ascenso del magma puede seguir fracturas preexistentes, desplazando a las rocas que forman las fracturas y siguiendo estos conductos planares (Toselli, 2010)

La viscosidad del magma que da origen a los cuerpos ígneos también influye en la formación de estructuras de emplazamiento ya que esta propiedad se relaciona con la facilidad del magma para desplazarse a través de las fracturas. La baja viscosidad es una característica propia de los fundidos con composiciones máficas e intermedias y por este motivo los sills con estas composiciones son los más abundantes (Llambías, 2001).

Se identificó cinco cuerpos ígneos plutónicos que se hallan constituyendo una franja con rumbo NW-SE paralelos a la falla Punre-Canchis. A continuación se detallaran las

estructuras de emplazamiento de los cinco cuerpos ígneos plutónicos, determinando si se presentan concordantes a modo de sills o discordantes a modo de dique.

4.4.1. ESTRUCTURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO 01.

Este primer cuerpo ígneo plutónico se identificó en el tramo inicial de la carretera Quinuamayo-Punre, se trata de un pórfido cuarzodiorita que se encuentra emplazado aparentemente en el techo de una falla inversa que buza hacia el SW (similar dirección que la falla Punre), por lo que se infiere que esta falla que posiblemente se encuentra asociada a la Falla Punre es el principal control estructural para el emplazamiento del cuerpo ígneo.

Se identificó a partir de datos en campo y con ayuda de imágenes satelitales que el cuerpo ígneo se encuentra emplazado en aparente concordancia con los estratos de la Formación Carhuaz configurando una estructura cuasiparalela a la estratificación (Fig. 63). Visto en planta su superficie presenta una forma elongada con dirección W-E (Ver plano P-03); con ayuda del software ArcGis 10.1 se determinó que el área que abarca el cuerpo en superficie es de aproximadamente 0.06 Km².

Por su composición se puede inferir que el magma que lo origino era un magma con baja viscosidad (propio de los fundidos de composiciones máficas e intermedias) y por tanto con facilidad para emplazarse a través de las fracturas.

En base a las características descritas podemos interpretar que el magma inicialmente se habría emplazado a través de la falla de manera discordante a modo de dique atravesando las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, con un contacto cercano a la vertical, conforme se produjo el ascenso la prolongación vertical de diques habría logrado producir un intercambio de esfuerzos que permitieron el emplazamiento a través de capas débiles de roca como lo son en las areniscas de la Formación Carhuáz, configurando estructuras tipo Sill. En la figura 64 se muestra la interpretación del emplazamiento del cuerpo ígneo mediante una sección geológica.

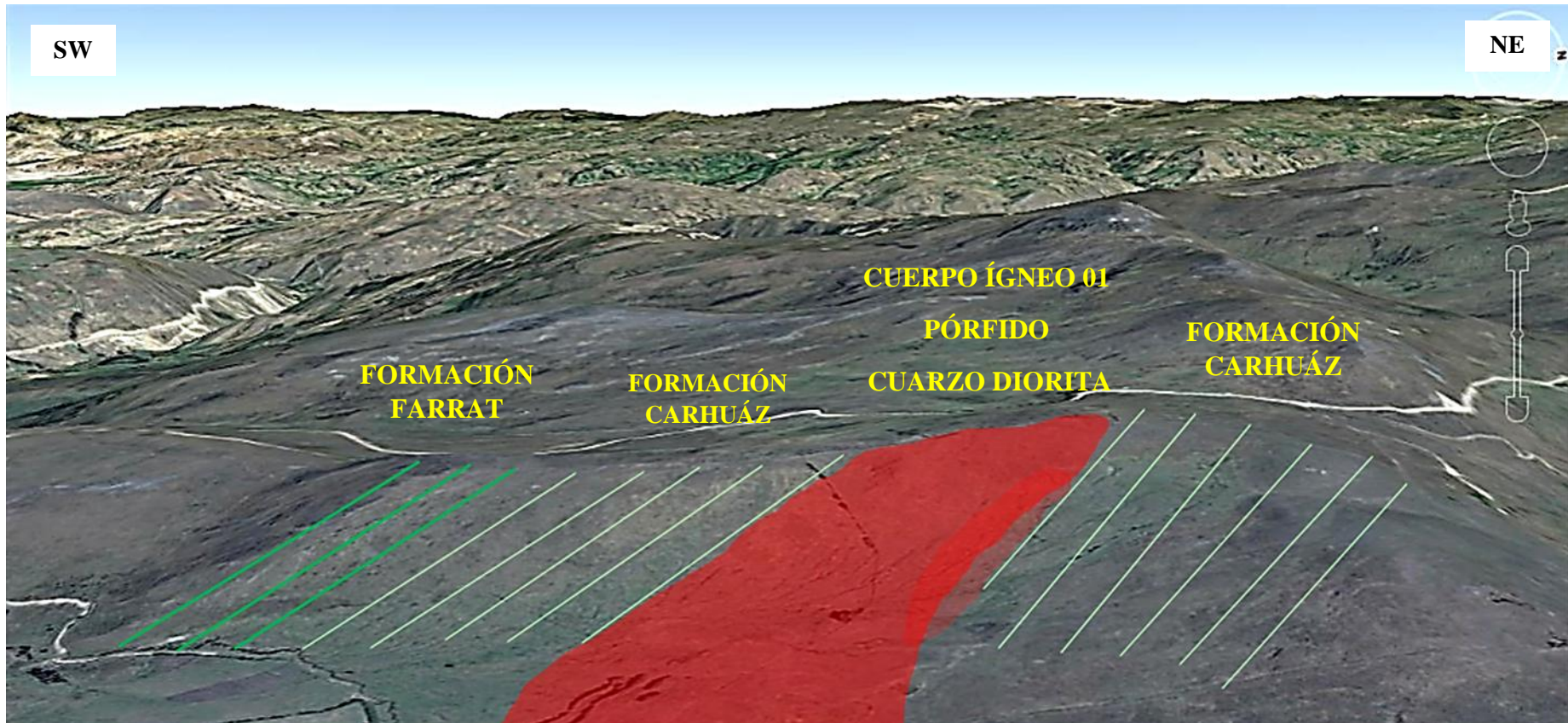


Figura 63. Representación del cuerpo ígneo plutónico N° 01 en tramo de la carretera Quinuamayo-El Punre.

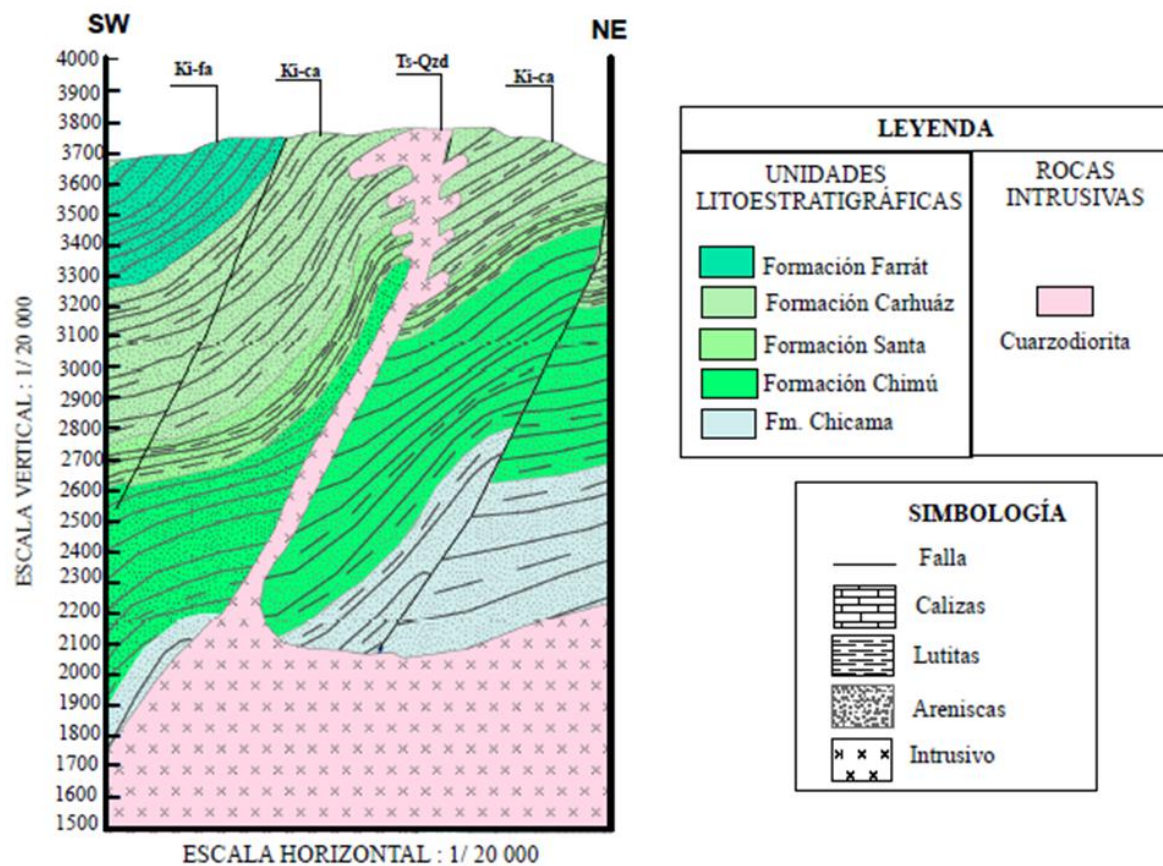


Figura 65. Sección Geológica del cuerpo ígneo plutónico 01

4.4.2. ESTRUCTURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO 02.

Este segundo cuerpo ígneo plutónico se ubica en el cruce de la carretera que va hacia Micuypampa, se trata de un pórfido cuarzodiorita que se encuentra aparentemente emplazado en el techo de una falla inversa que buza hacia el SW (similar dirección que la falla Punre), por lo que se infiere que esta falla posiblemente se encuentra asociada a la Falla Punre, siendo el principal control estructural para el emplazamiento del pórfido.

Se identificó en campo y con ayuda de imágenes satelitales que este cuerpo ígneo al igual que el anterior presenta concordancia con los estratos de la Formación Carhuaz y la Formación Farrat. (Fig. 65). Visto en planta su superficie presenta una forma elongada con dirección NW-SE (Ver plano P-03); con ayuda del software ArcGis 10.1 se determinó que el área que abarca el cuerpo en superficie es de aproximadamente 2.09 Km².

Al ser un pórfido cuarzodiorita, se puede inferir que el magma que lo origino era un magma con baja viscosidad (propio de los fundidos de composiciones máficas e itnermedias) y por tanto presento facilidad para emplazarse a través de las fracturas. Es así que podemos inferir que el magma inicialmente se habría emplazado a través de la falla de manera discordante a modo de dique atravesando las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, conforme se produjo el ascenso del magma el desplazamiento habría cambiado logrando emplazarse de manera concordante a través de capas débiles de roca en la Formación Carhuáz, configurando estructuras tipo Sill.

En la figura 66 se muestra la interpretación del emplazamiento del cuerpo ígneo mediante una sección geológica.

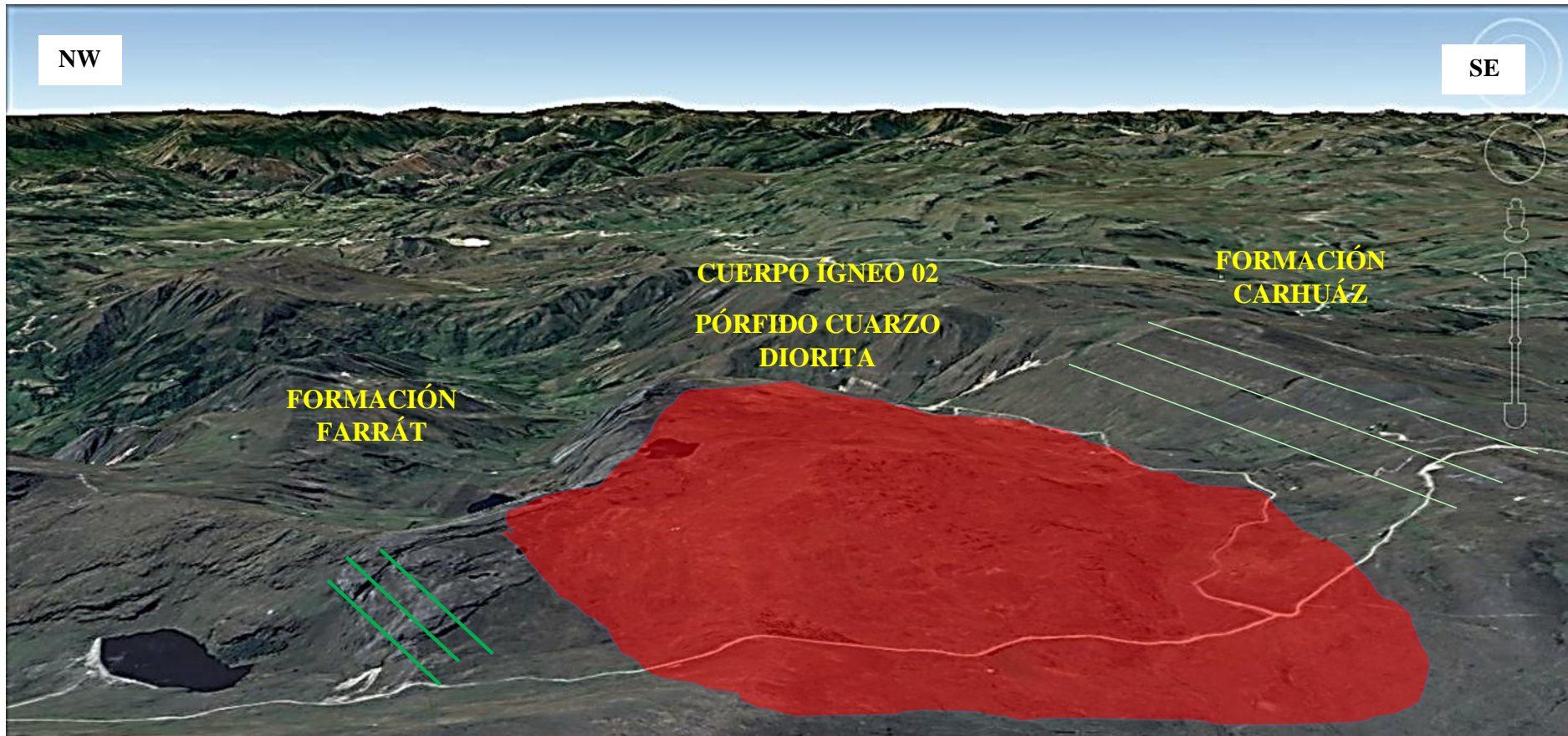


Figura 65. Representación del cuerpo ígneo plutónico N° 02 en tramo de la zona de estudio.

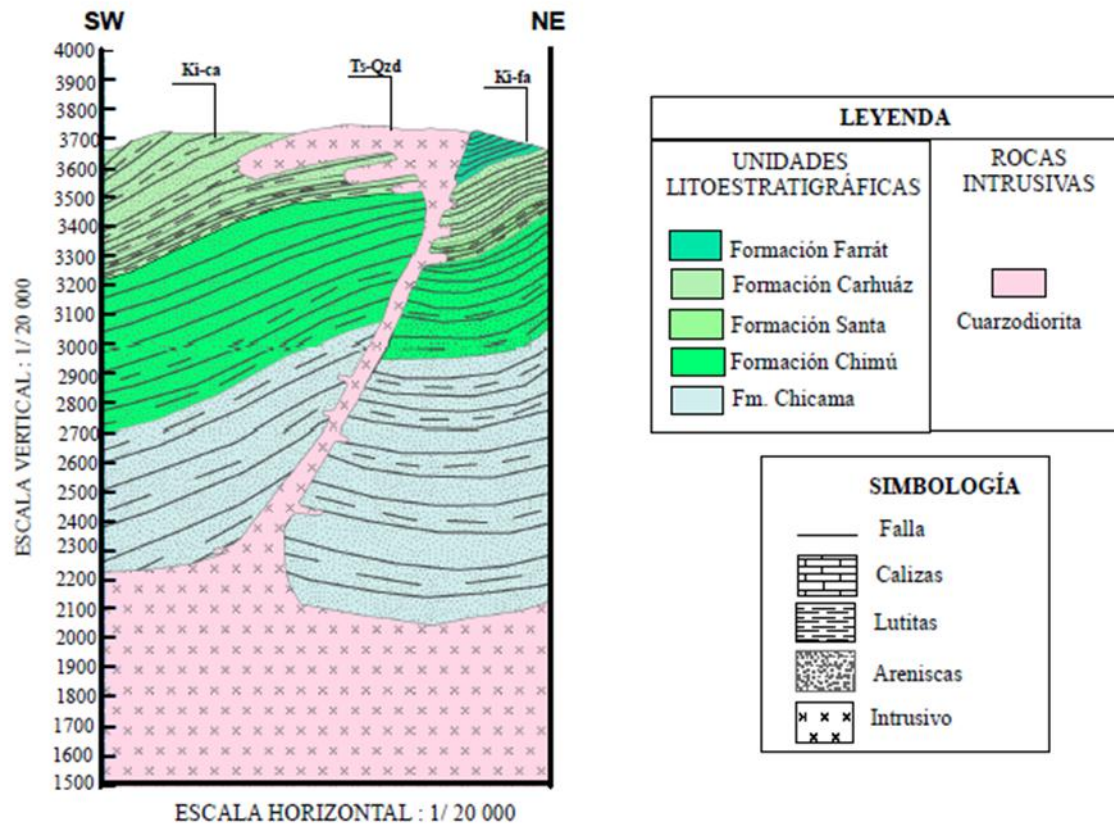


Figura 67. Sección geológica del cuerpo igneo 02

4.4.3. ESTRUCTURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO 03.

Este tercer cuerpo ígneo plutónico se identificó en el tramo final de la carrera Quinuamayo-El Punre, cerca al cruce de la carretera que va a Michiquillay, se trata de un pórfido cuarzo-diorita que se encuentra emplazado próximo al frente de cabalgamiento de la falla Punre en la cual se identificó la presencia de un pliegue anticlinal (Figura 67) generado como resultado de las fuerzas compresivas que han afectado el área de estudio. Visto en planta su superficie presenta una forma elongada con dirección NW-SE (Ver plano P-03); con ayuda del software ArcGis 10.1 se determinó que el área que abarca el cuerpo en superficie es de aproximadamente 1.50 Km².

Se puede inferir que el control estructural asociado al emplazamiento de este pórfido se deba principalmente a las zonas de diaclasamiento originadas por las fuerzas de tensión sobre el pliegue anticlinal.

Por su composición se puede inferir que el magma que dio origen a este pórfido cuarzodiorita era un magma con baja viscosidad (propio de los fundidos de composiciones máficas e intermedias) y por tanto con facilidad para emplazarse a través de las fracturas.

En base a las características descritas podemos interpretar que el magma se habría emplazado de manera discordante a través de las fracturas originadas en el pliegue, logrando atravesar las areniscas resistentes de la Formación Chimú a modo de dique.

En la figura 68 se muestra la interpretación del emplazamiento del cuerpo ígneo mediante una sección geológica.

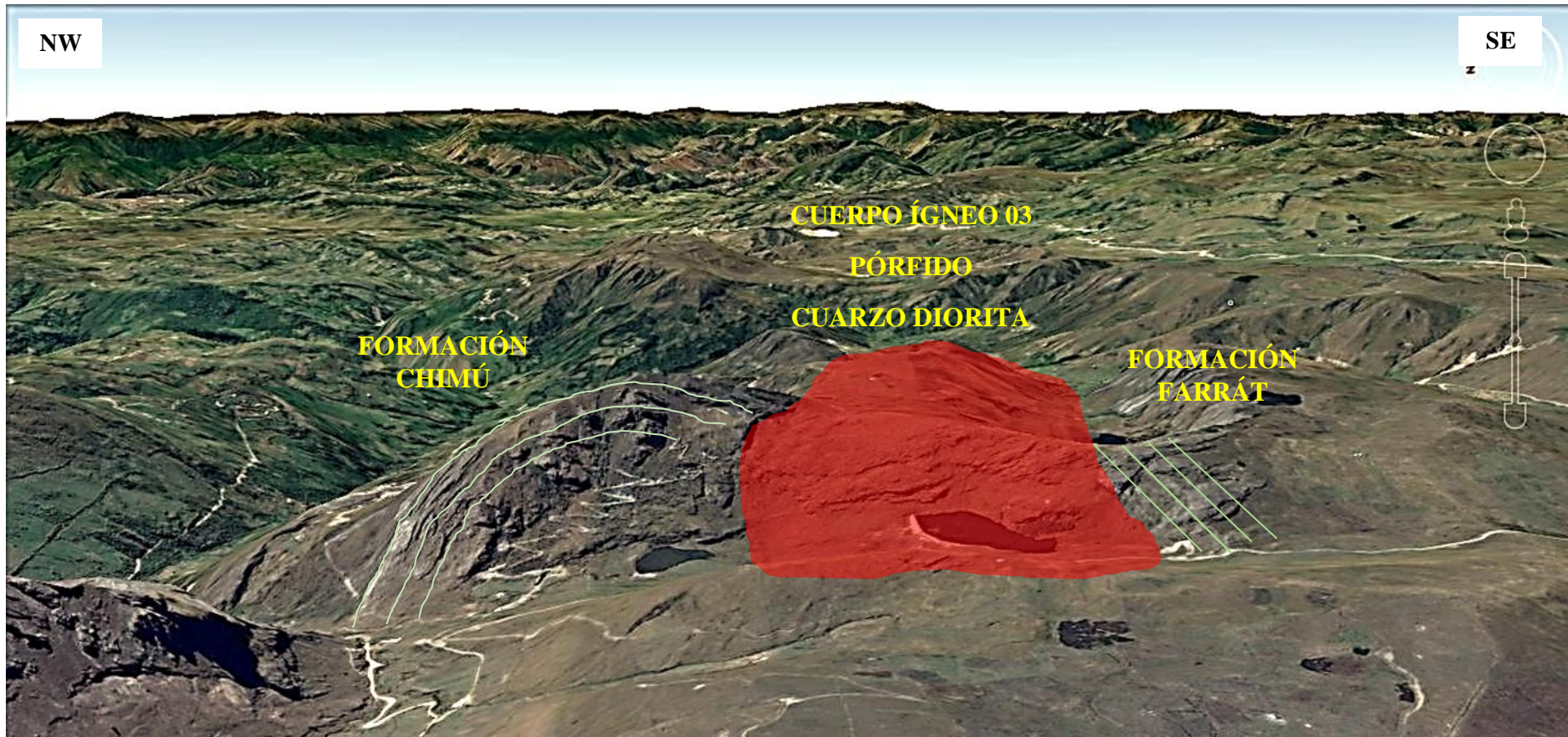


Figura 67. Representación del cuerpo ígneo plutónico N° 03 en tramo de la zona de estudio.

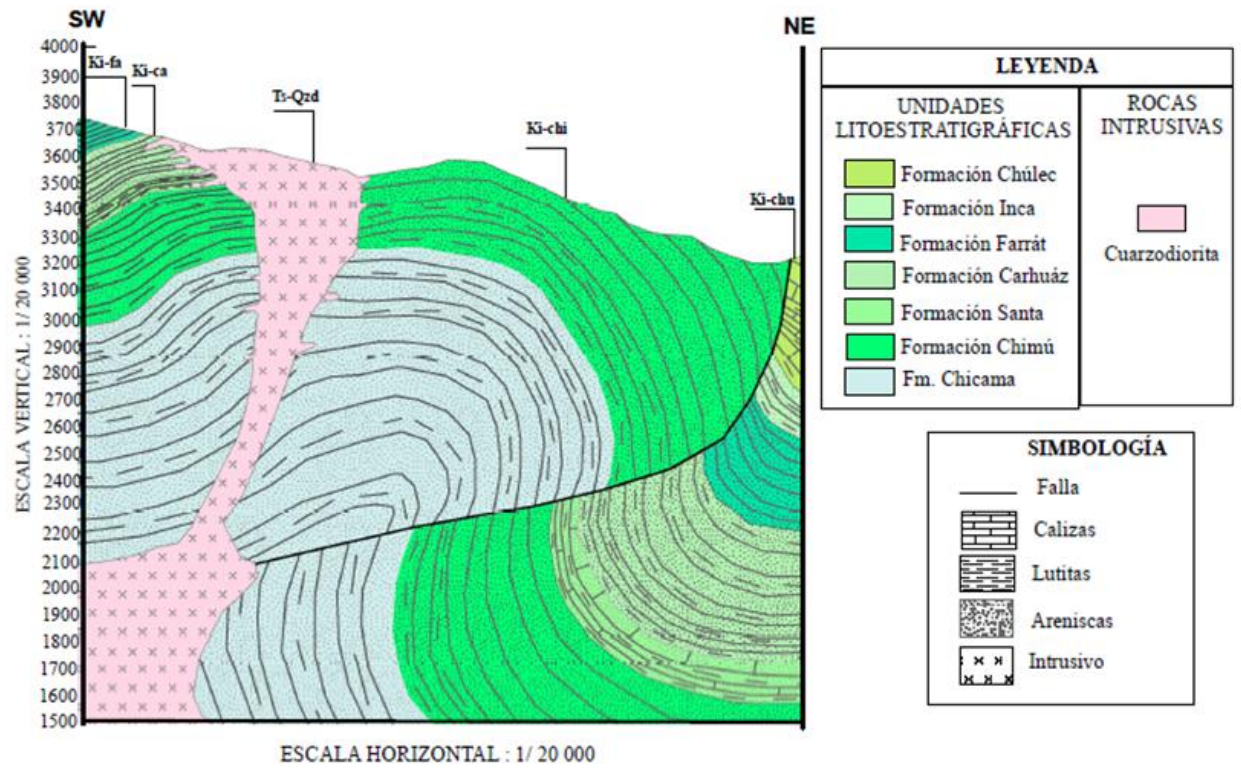


Figura 69. Sección geológica del cuerpo igneo plutónico 03

4.4.4. ESTRUCTURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO 04.

Este cuarto cuerpo ígneo plutónico se identificó en el tramo inicial de la carretera Punre-Michiquillay, se trata de un pórfido cuarzodiorita que se encuentra emplazado aparentemente en el techo de una falla inversa que buza hacia el SW (similar dirección que la falla Punre), por lo que se infiere que esta falla, que posiblemente se encuentra asociada a la Falla Punre, es el principal control estructural para el emplazamiento de este pórfido.

Se identificó a partir de datos en campo y con ayuda de imágenes satelitales que el cuerpo ígneo se encuentra emplazado en concordancia con los estratos de la Formación Carhuaz configurando una estructura cuasi paralela a la estratificación (Fig.69). Visto en planta su superficie presenta una forma elongada con dirección NW-SE (Ver plano P-03); con ayuda del software ArcGis 10.1 se determinó que el área que abarca el cuerpo en superficie es de aproximadamente 1.75 Km²

Por la composición de este pórfido cuarzo diorita se puede inferir que el magma que lo origino era un magma con baja viscosidad (propio de los fundidos de composiciones máficas e itnermedias) y por tanto con facilidad para emplazarse a través de las fracturas.

En base a las características descritas podemos interpretar que el emplazamiento del pórfido se habría producido a través de la falla inicialmente de forma discordante a modo de dique atravesando las areniscas cuarzosas de la Formación Chimú para posteriormente emplazarse a través de las capas débiles de la Formación Carhuáz, cuya menor resistencia lo constituyen como unidad favorable para el emplazamiento del magma a modo de Sill.

En la figura 70 se muestra la interpretación del emplazamiento del cuerpo ígneo mediante una sección geológica.

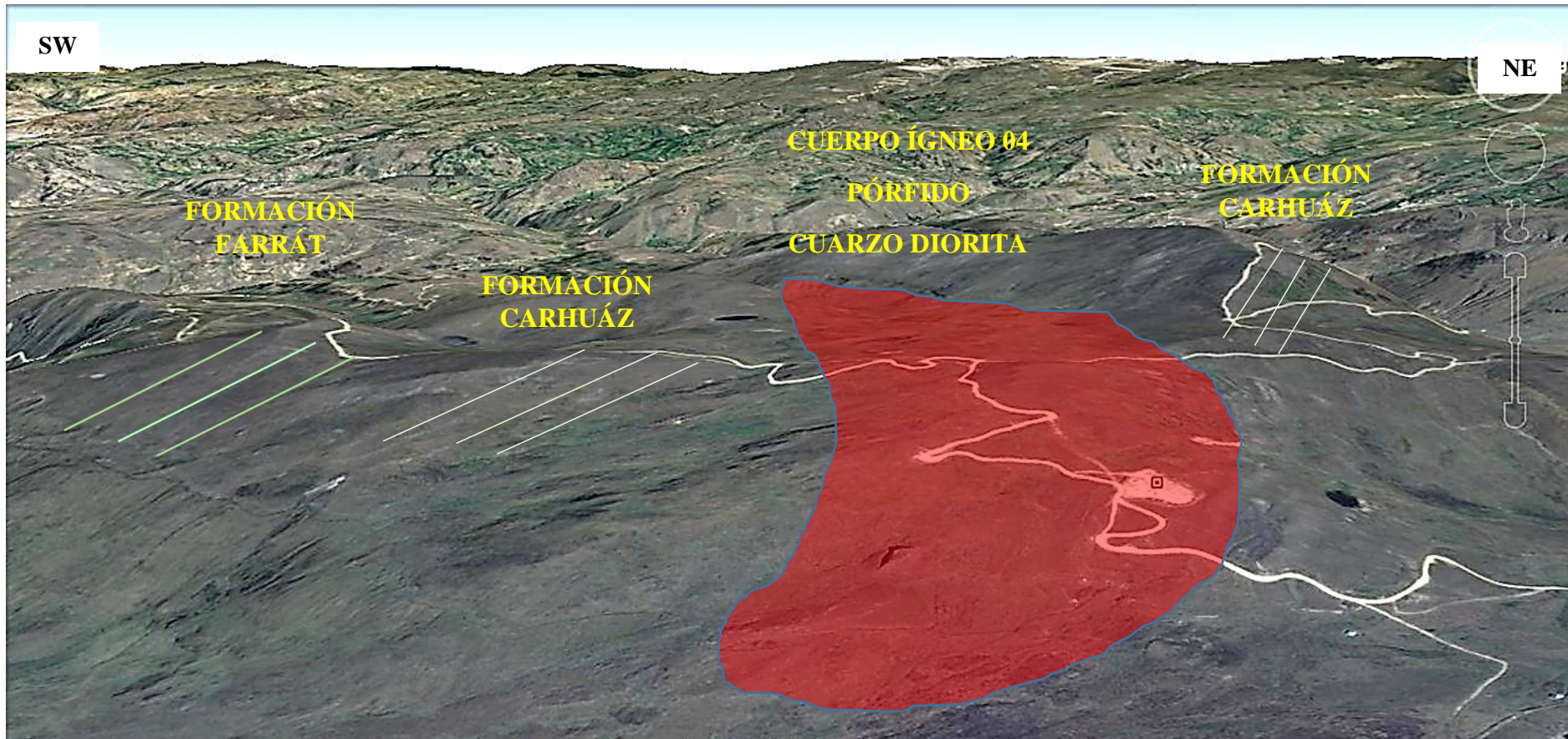


Figura 69. Representación del emplazamiento del cuerpo ígneo plutónico en tramo de la zona de estudio.

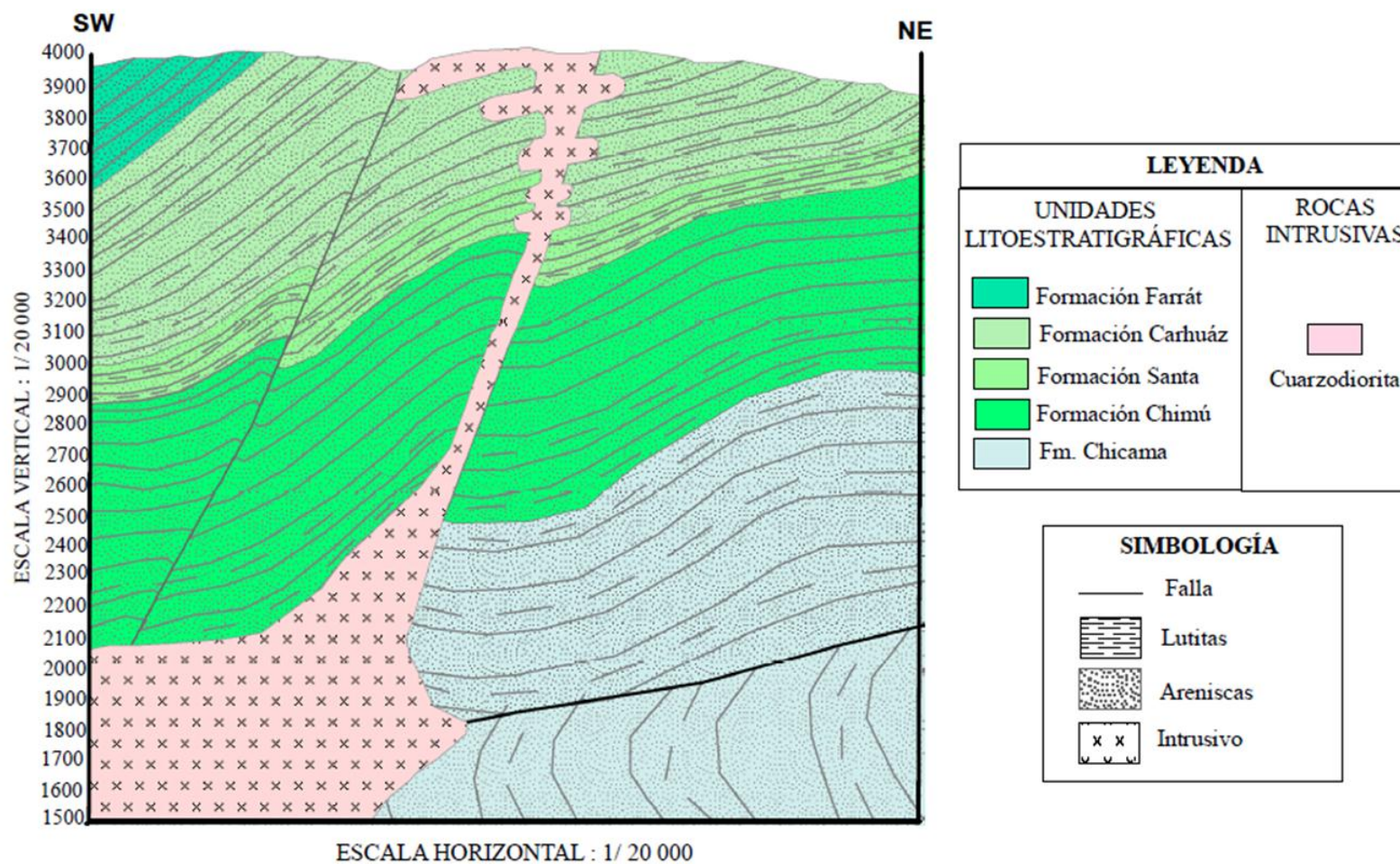


Figura 71. Sección geológica del cuerpo ígneo 04

4.4.5. ESTRUCTURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CUERPO ÍGNEO PLUTÓNICO 05.

Este último cuerpo ígneo plutónico identificado se ubica en el tramo final de la carretera Punre-Michiquillay, corresponde a un pórfido cuarzodiorita que se encuentra emplazado aparentemente en el techo de una falla inversa que buza hacia el NE (dirección de buzamiento contrario al buzamiento de la falla Punre), por lo que se infiere que esta falla asociada a la falla Punre-Canchis se comportaría como una falla de retrocabalgamiento y constituiría el principal control estructural para el emplazamiento ígneo.

A partir del mapeo realizado en campo se identificó que este pórfido se encuentra emplazado a través de estratos de la Formación Chulec e Inca. Se puede evidenciar una posible concordancia del emplazamiento del pórfido con los estratos de las secuencias estratigráficas identificadas en el área de estudio (Fig. 71). Visto en planta su superficie presenta una forma elongada con dirección NW-SE (Ver plano P-03); con ayuda del software ArcGis 10.1 se determinó que el área que abarca el cuerpo en superficie es de aproximadamente 3.96 Km²

Por la composición de este pórfido cuarzodiorita se puede inferir que el magma que lo origino era un magma con baja viscosidad (propio de los fundidos de composiciones máficas e intermedias) y por tanto con facilidad para emplazarse a través de las fracturas.

El emplazamiento del pórfido se habría producido a través de la falla Michiquillay inicialmente de manera discordante, desarrollando un contacto cercano a la vertical en unidades como las Formaciones Chimu y Farrat debido a la alta resistencia que presenta su litología y que por ende impedirían un emplazamiento horizontal en las secuencias de la roca caja. En formaciones de menor resistencia y con litología que presenta comportamiento plástico como las formaciones Santa, Carhuaz, Inca y Chulec el magma de baja viscosidad habría encontrado zonas favorables para emplazarse por los planos de las secuencias sedimentarias. Se puede observar en campo la presencia de rocas de areniscas posiblemente de la Formación Inca que constituyen el techo colgado (roof pendant), lo cual podría ser indicio que este pórfido se emplazó en areniscas de esta formación por constituirse como una zona favorable para el emplazamiento.

En la figura 72 se muestra la interpretación del emplazamiento del cuerpo ígneo mediante una sección geológica

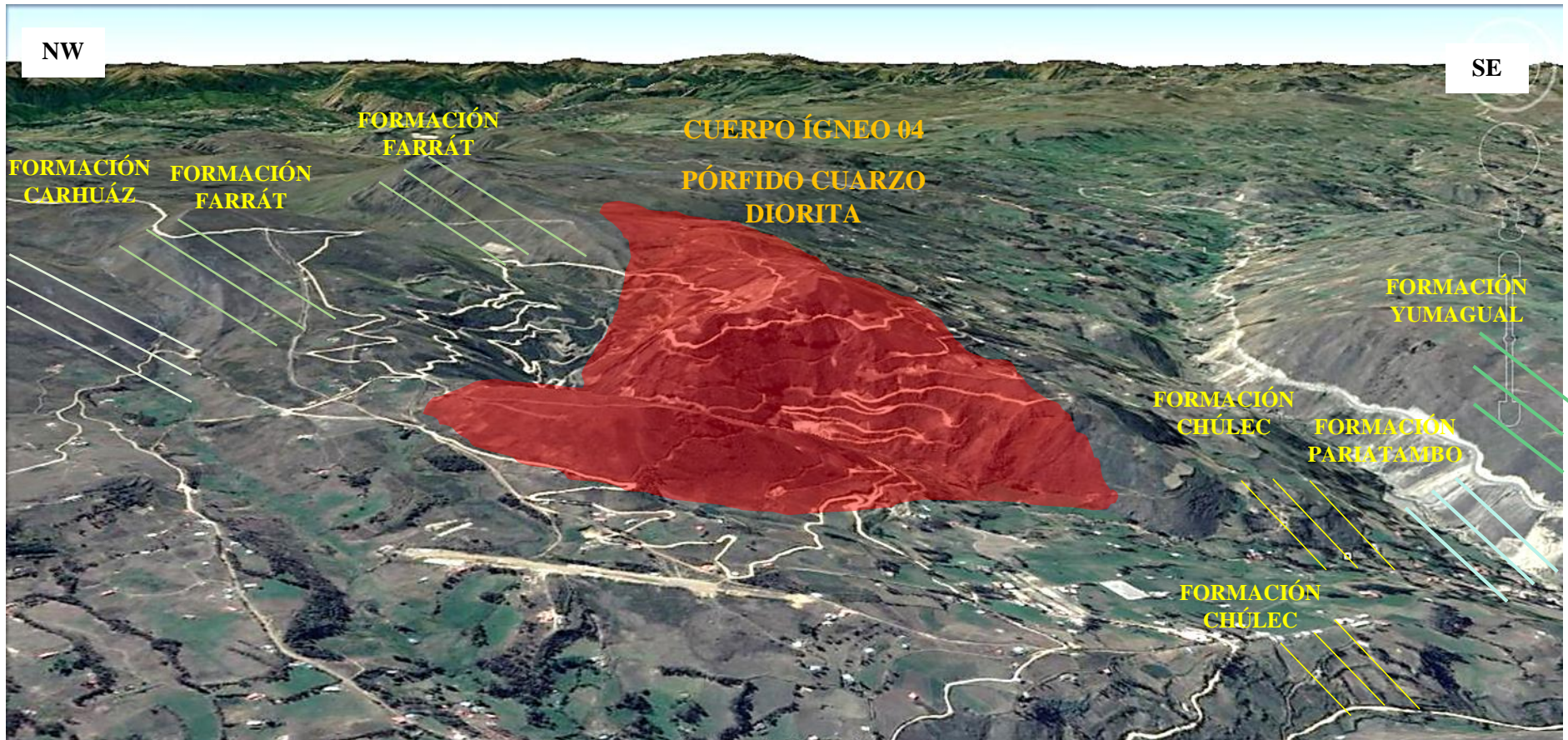


Figura 71. Representación del cuerpo ígneo plutónico 05 en tramo final de la carretera Punre-Michiquillay.

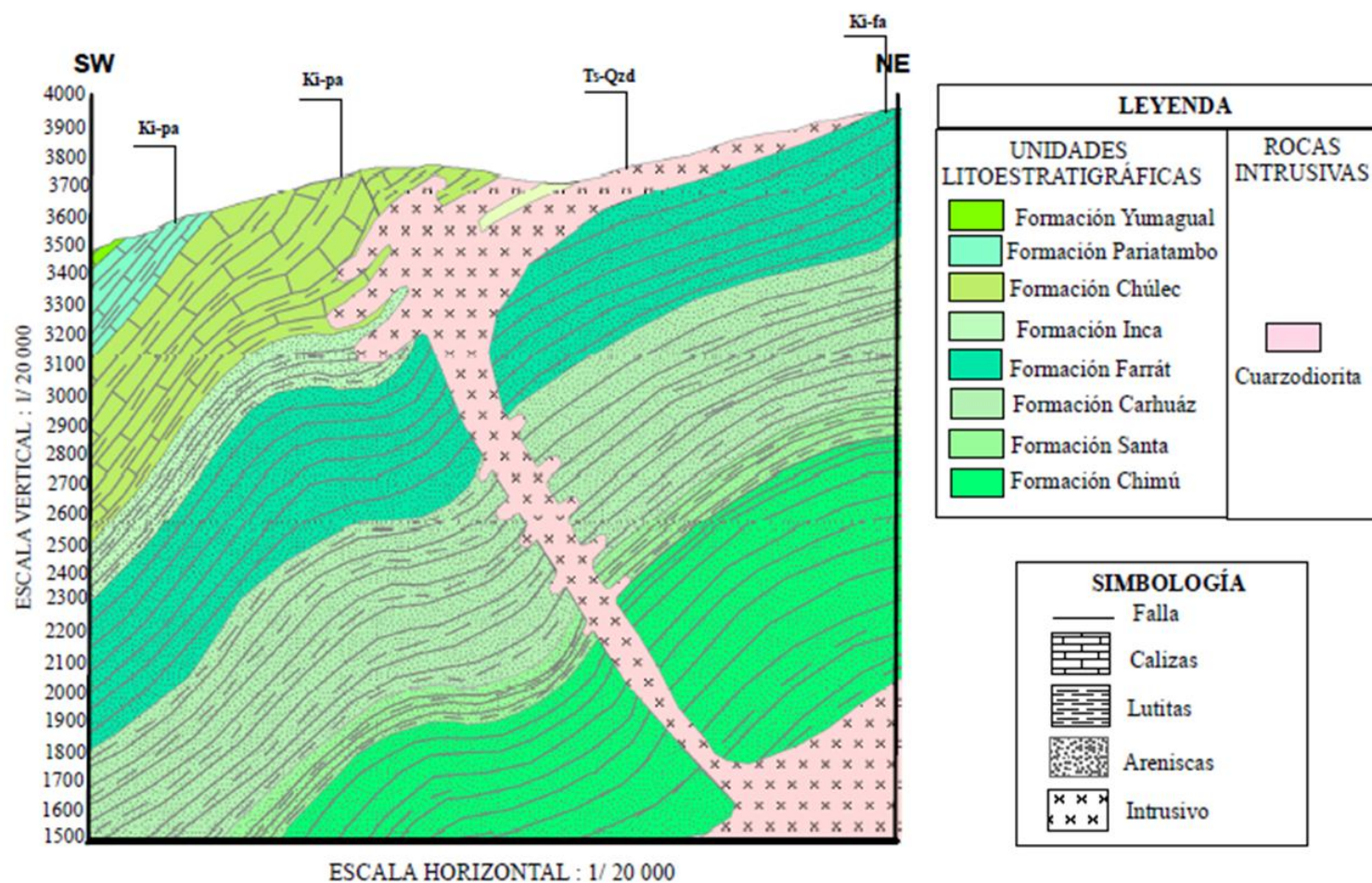


Figura 73. Sección geológica del cuerpo igneo 05

Como se puede observar los cuerpos ígneos plutónicos que se presentan a modo de sill se hallan emplazados en las formaciones de menor resistencia, ya que estas formaciones al tener un comportamiento más favorable habrían permitido el desplazamiento de los volúmenes de magma siguiendo muchas veces las capas de estratificación. Para una mejor interpretación se ha elaborado una columna estratigráfica generalizada del área de estudio que contrasta la resistencia de las formaciones geológicas con el emplazamiento de los cuerpos ígneos plutónicos identificados (Ver plano P-6).

Se ha realizado tres secciones geológicas en las que se puede observar la forma de emplazamiento estos cuerpos ígneos plutónicos en las formaciones más favorables, aprovechando la presencia de las fallas asociadas a la falla Punre-Canchis que constituye el mayor control estructural en la zona. (Ver planos P-7 , P-8 y P-9).

4.2.-CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

La determinación de la continuidad de la estratificación antes y después del cuerpo ígneo, el cartografiado geológico y los datos de resistencia de la roca encajonante determinan la estructura de emplazamiento concordante a modo de Sill en cuatro de los cinco cuerpos ígneos plutónicos identificados entre la comunidad de Michiquillay y el sector El Punre. Teniendo que el magma tendría un desplazamiento inicial vertical discordante, a modo de dique, al atravesar unidades geológicas altamente resistentes para posteriormente cambiar a un emplazamiento concordante, a modo de Sill, al emplazarse a través de capas débiles de las unidades geológicas menos resistentes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El área está constituida por rocas sedimentarias del Cretácico como son las formaciones geológicas pertenecientes al Grupo Goyllarisquizga (Formaciones Chimú, Santa, Carhuáz, Farrat e Inca), Grupo Crisnejas (Formaciones Chúlec y Pariatambo) y Grupo Pulluicana (Formaciones Yumagual y Mujarrún). Se observan aflorando cinco pórfidos cuarzodioritas que en superficie constituyen una franja NW-SE paralela a la falla Punre-Canchis.

La estratificación de las unidades geológicas presenta una orientación aproximada NW-SE. Se evidencia la presencia de una serie de estructuras como pliegues y fallas de dirección generalmente NW-SE, además de un sistema secundario de lineamientos con orientación NE-SW. El principal control estructural lo constituye la falla regional Punre-Canchis y su sistema de falla asociadas que se habrían comportado como zonas favorables para el emplazamiento intrusivo.

Realizado el ensayo de compresión uniaxial se concluyó que la formación geológica más resistente identificada en la zona de estudio es la formación Chimú con una resistencia a la compresión uniaxial de 122.75 MPa, seguida por las formaciones Farrat (79 MPa) y Yumagual (74.63 MPa). En contraste las formaciones de menor resistencia son las Pariatambo (47.88), Carhuáz (38 MPa), Chúlec (35.13MPa) y Mujarrún (35.25MPa).

Las estructuras de emplazamiento ígneo están ligadas a la resistencia de la roca encajonante, determinándose que el magma durante su ascenso puede cambiar su emplazamiento inicialmente discordante a modo de dique por un emplazamiento concordante a modo de Sill, ya que las unidades geológicas menos resistentes permiten el emplazamiento del magma a través de sus capas débiles constituyendo estructuras cuasi-paralelas a la estratificación.

Los cuerpos ígneos plutónicos presentan estructuras de emplazamiento concordante a la roca caja, a modo de Sill, en las formaciones geológicas cuya litología presentan menor resistencia y un comportamiento plástico como las formaciones Santa, Carhuáz, Inca, Chúlec y Mujarrún. En las formaciones cuya roca presenta mayor resistencia, como en las Formaciones Chimú, Farrat y Pariatambo, los cuerpos ígneos constituyen estructuras de emplazamiento discordantes a modo de dique.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar en laboratorio un ensayo de compresión triaxial sería importante ya que permite simular las condiciones reales que existen en la masa rocosa insitu, considerando los esfuerzos confinantes.

Realizar una descripción microscópica de las rocas plutónicas mediante secciones pulidas contribuiría a lograr una mayor exactitud al momento de su clasificación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benavides , V (1999) Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean Cycle, Society of Economic Geologist, USA, pp 61
- Best, M (2003) Igneous and Metamorphic Petrology, San Francisco-USA, pp 211-225.
- Bussell, M (1976) Fracture control of High-level plutonic contacts in the Coastal batholith of Peru: Proceedings of the geologists association, vol. 87, pp. 237 – 246.
- Carenas, M; Ghiner, J; González,J y Pozo,M (2014), Geología, Madrid-España, pp 160-181.
- Cruzado, G (2009), Estudio de Geología, Gobierno Regional de Cajamarca, pp 45.
- Davies, R (2002) Tectonic, Magmatic and Metallogenic Evolution of the Cajamarca Mining District, Northern Peru, Australia, pp 18, 23,26,56,60,73.
- De Vicente, G (2009) Guía ilustrada de los cabalgamientos alpinos en el Sistema Central, Madrid-España, pp 5-7.
- González, L (2002) Ingeniería Geológica, Madrid-España, pp 130,131, 347,348.
- Hollister, V y Sirvas, E (1974) The Michiquillay porphyry copper deposit Mineralium Deposit, USA, pp 261-269.
- Huang, W (1968) “Petrología”. Unión tipográfica Editorial Hispano Americana, Ciudad de México-México.
- Lillo,J y Oyarzun, R (2013) Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera, Móstoles-España, pp 33-64
- Llambías,E (2001) Geología de los Cuerpos Ígneos, INSUGEO, Buenos Aires-Argentina, pp 99-139.
- Nobre, D., Vidal, C., Perrello, J. y Rodriguez, O. (2004) Space-time relationships of some porphyry Cu-Au, epithermal Au, and other magmatic-related mineral

deposits in northern Perú , Society of Economic Geology, Special Publication, N° 11, pp. 313-318.

Piquer,L (2010) El Cenozoico del alto río Teno, Cordillera Principal, Chile Central: estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas, Santiago-Chile, pp 5-10.

Quispe, J (2007) Nuevo Mapa Metalogénico del Perú, Reporte interno del INGEMMET , Lima-Perú, pp 6.

Pardo, F. Y Molnar, P. (1987) Relative motion of the Nazca (Farallón) y South American plate since late Cretaceous time , Tectonic, vol. 6, Massachusetts-USA, pp. 233-248.

Pozo,R (2007) Geología Práctica, Madrid-España, pp 47-53

Reyes, L. (1980) Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (Boletín Serie A-N°31) Estudio realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), pp 21-34.

Rittman, A (1981) Volcanes y su actividad, Stuttgart-Alemania, pp 329.

Rivera, R (2008) Geoquímica Isotópica de Plomo en los Pórfidos Miocénicos del Norte del Perú-Región Cajamarca, Lima-Perú, pp 21-31.

Rivera,R (2007) Características Metalogénicas de los Yacimientos Asociados al Volcanismo Cenozoico en el Norte del Perú, Región Cajamarca, Estudio realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Lima-Perú, pp 25-32.

Toselli, A (2009) Elementos Básicos de Petrología Ígnea , Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán-Argentina, pp 91-100.

Wicander, R y Monroe, J (2000) Fundamentos de Geología, Central Michigan University, Michigan U.S.A, pp 70-86.

Wilson, J (1984) Geología del Cuadrángulo de Celendín 14-g (Boletín Serie A-N°318) Estudio realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), pp 39-43.

ANEXOS

	Pág.
ANEXO I: ÁLBUM DE FOTOS.....	93
ANEXO II: DATA DE ENSAYOS DE SCHMIDT.....	96
ANEXO III: APLICACIÓN DEL ÁBACO DE MILLER EN CADA..... FORMACIÓN GEOLÓGICA	104
ANEXO IV: DATA DE DIACLASAS	110
ANEXO V: PLANOS.....	114

ANEXO I. ALBÚM DE FOTOGRAFÍAS



Figura 73. Fotografía de Pórfido tonalita diorita (Cuerpo ígneo plutónico 02), véase en el fondo los estratos de la Formación Carhuáz.



Figura 74 Pórfido tonalita - diorita (cuerpo ígneo plutónico 04) con evidencia de diaclasamiento catafilar.



Figura 75. Vista del pórfido Michiquillay (cuerpo ígneo plutónico 05)



Figura 76. Estratos de la Formación Chimú en frente de cabalgamiento de la falla Punre-Canchis

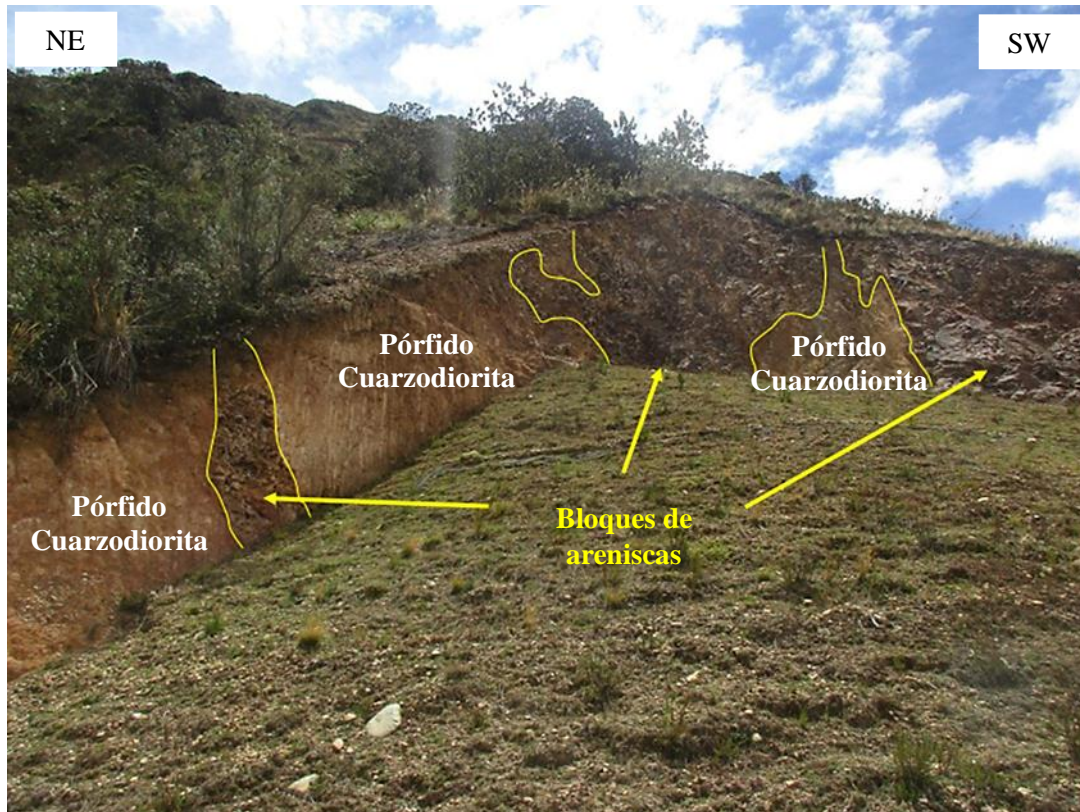


Figura 77. Techo colgado de areniscas (posiblemente de la Formación Inca) sobre el pórfido de Michiquillay



Figura 78. Paleocanales característicos en la Formación Carhuáz.

ANEXO II: DATA DE ENSAYOS DE SCHMIDT

A. DATA EN FORMACIÓN CHIMÚ

ESTACIÓN N° 01		
Formación Chimú		
Descripción: Estrato de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
799613	9224530	3713
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	53	48
↖	52.5	50
↖	51.5	50.5
↖	48	51
↖	51	51
↖	52	51.5
↖	50	52
↖	51	52.5
↖	50.5	53
↖	53	53
Promedio de datos seleccionados		52.4

ESTACIÓN N° 02		
Formación Chimú		
Descripción: Estrato de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
799628	9227707	3685
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	52	49
↖	51	50
↖	52	51
↖	53	51.5
↖	54.5	52
↖	49	52
↖	51.5	52
↖	56	53
↖	52	54.5
↖	50	56
Promedio de datos seleccionados		53.5

ESTACIÓN N° 03		
Formación Chimú		
Descripción: Estrato de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
799742	9224649	3767
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	54	50
↖	54	53.5
↖	55	54
↖	56.5	54
↖	54	54
↖	50	54
↖	53.5	54
↖	54	55
↖	56	56
↖	54	56.5
Promedio de datos seleccionados		55.1

ESTACIÓN N° 04		
Formación Chimú		
Descripción: Estrato de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
799750	9224503	3769
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	54	50
↖	54	52.5
↖	52.5	54
↖	54	54
↖	54	54
↖	56	54
↖	54	54
↖	54	54
↖	50	56
↖	56	56
Promedio de datos seleccionados		54.8

B. DATA EN FORMACIÓN CARHUÁZ

ESTACIÓN N° 01		
Formación Carhuaz		
Descripción: Estrato de areniscas rojizas.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
799420	9221497	3849
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	26	23
↖	28	24
↖	26.5	24.5
↖	24	25
↖	26	26
↖	23	26
↖	26	26
↖	25	26
↖	26	26.5
↖	24.5	28
Promedio de datos seleccionados		26.5

ESTACIÓN N° 02		
Formación Carhuaz		
Descripción: Estrato de areniscas rojizas.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
799417	9222074	3841
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	21.5	20
↖	25	21.5
↖	24.5	24
↖	24	24
↖	24	24
↖	26	24
↖	20	24.5
↖	24	25
↖	25	25
↖	24	26
Promedio de datos seleccionados		24.9

ESTACIÓN N° 03		
Formación Carhuaz		
Descripción: Estrato de areniscas rojas intercaladas con lutitas.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
799059	9222630	3791
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	20	18
↖	20.5	19
↖	18	20
↖	20	20
↖	22	20
↖	24	20.5
↖	20	20.5
↖	19	21
↖	20.5	22
↖	21	24
Promedio de datos seleccionados		21.6

ESTACIÓN N° 04		
Formación Carhuaz		
Descripción: Estrato de areniscas rojas intercaladas con lutitas.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
797905	9224253	3886
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	18	15
↖	15	17
↖	18	18
↖	21	18
↖	20	19
↖	20	19
↖	19	20
↖	19	20
↖	20	20
↖	17	21
Promedio de datos seleccionados		20

C. DATA EN FORMACIÓN FARRÁT

ESTACIÓN N° 01			ESTACIÓN N° 02		
Formación Farrat			Formación Farrat		
Descripción: Estrato de areniscas cuarzosas de la formación Farrat.			Descripción: Estrato de areniscas cuarzosas de la formación Farrat.		
Coordenadas			Coordenadas		
Este	Norte	Cota	Este	Norte	Cota
799017	9220482	3767	799136	9220697	3773
Valores del rebote del martillo			Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados	Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	38	36	↖	36	35
↖	36	38	↖	42	36
↗	42	40	↖	40.5	40
↖	40	40	↖	44	40.5
↖	42	40	↖	40	41.5
↖	40	40.5	↖	42	42
↖	42	42	↖	41.5	42
↗	44	42	↖	44	42
↗	40.5	42	↖	42	44
↖	40	44	↖	35	44
Promedio de datos seleccionados		42.1	Promedio de datos seleccionados		42.8

ESTACIÓN N° 03			ESTACIÓN N° 04		
Formación Farrat			Formación Farrat		
Descripción: Estrato de areniscas cuarzosas de la formación Farrat.			Descripción: Estrato de areniscas de la Formación Farrat		
Coordenadas			Coordenadas		
Este	Norte	Cota	Este	Norte	Cota
798994	9220447	3745	796580	9222574	3874
Valores del rebote del martillo			Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados	Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	34	34	↖	40	36
↖	34	34	↖	36	36
↖	38	38	↖	41.5	37
↖	38.5	38	↖	41	38.5
↖	34	38	↖	39	39
↖	40	38.5	↖	37	39
↖	39	38.5	↖	39	39
↖	42	39	↖	38.5	40
↖	38.5	40	↖	39	41
↖	38	42	↖	36	41.5
Promedio de datos seleccionados		39.6	Promedio de datos seleccionados		40.1

D. DATA EN FORMACIÓN CHÚLEC

ESTACIÓN N° 01		
Formación Chulec		
Descripción: Estrato de calizas arenosas de la formación Chulec.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
794146	9220784	3396
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	22	18
↖	20.5	18
↖	20	20
↖	18	20
↖	22	20.5
↖	20	21.5
↖	22	22
↖	18	22
↖	22	22
↖	21.5	22
Promedio de datos seleccionados		21.9

ESTACIÓN N° 02		
Formación Chulec.		
Descripción: Estrato de calizas arenosas de la formación Chulec.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
794256	9220544	3389
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	23	19.5
↖	20	20
↖	21.5	21
↖	21	21
↖	24	21.5
↖	22	22
↖	22	22
↖	22	22
↖	21	23
↖	19.5	24
Promedio de datos seleccionados		22.6

ESTACIÓN N° 03		
Formación Chulec		
Descripción: Estrato de calizas arenosas de la formación Chulec.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
794358	9220341	3363
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	21	16.5
↖	19	18
↖	16.5	19
↖	19	19
↖	19	19
↖	19	19
↖	18	19
↖	21	20.5
↖	20.5	21
↖	19	21
Promedio de datos seleccionados		20.1

ESTACIÓN N° 04		
Formación Chulec		
Descripción: Estrato de calizas arenosas de la formación Chulec.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
794326	9219997	3346
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	18	17
↖	19	18
↖	22	18
↖	18	18.5
↖	18.5	18.5
↖	17	19
↖	19	19
↖	19	19
↖	18.5	19
↖	19	22
Promedio de datos seleccionados		19.6

E. DATA FORMACIÓN PARIATAMBO

ESTACIÓN N° 01		
Formación Pariatambo		
Descripción: Estrato de calizas nodulares de la Formación Pariatambo		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
797689	9218937	3493
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	32	28
↖	30.5	30
↖	30	30
↖	31	30
↖	28	30
↖	30	30.5
↖	30.5	30.5
↖	30	31
↖	30	31
↖	31	32
Promedio de datos seleccionados		31

ESTACIÓN N° 02		
Formación Pariatambo		
Descripción: Estrato de calizas nodulares de la Formación Pariatambo		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
798172	9218729	3511
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	26	26
↖	30	28
↖	31	28
↖	28	28.5
↖	28.5	29
↖	30	30
↖	30.5	30
↖	30	30
↖	28	30.5
↖	29	31
Promedio de datos seleccionados		30.3

ESTACIÓN N° 03		
Formación Pariatambo		
Descripción: Estrato de calizas nodulares de la Formación Pariatambo		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
793984	9217918	3231
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	28	24
↖	26	26
↖	28	26
↖	26	26.5
↖	26.5	27
↖	29	28
↖	24	28
↖	28	28
↖	27	28
↖	28	29
Promedio de datos seleccionados		28.2

ESTACIÓN N° 04		
Formación Pariatambo		
Descripción: Estrato de calizas nodulares de la Formación Pariatambo		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
793930	9217905	3203
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	25	24
↖	29	25
↖	27.5	26.5
↖	27	27
↖	27	27
↖	29	27
↖	26.5	27.5
↖	27	28
↖	28	29
↖	24	29
Promedio de datos seleccionados		28.1

F. DATA FORMACIÓN YUMAGUAL

ESTACIÓN N° 01		
Formación Yumagual		
Descripción: Estratos de calizas de la formación Yumagual.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
794676	9219283	3383
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	42	36
↖	41	36
↖	41.5	38
↖	36	40
↖	42	40
↖	38	41
↖	36	41.5
↖	42	42
↖	40	42
↖	40	42
Promedio de datos seleccionados		41.7

ESTACIÓN N° 02		
Formación Yumagual		
Descripción: Estratos de calizas de la formación Yumagual.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
796486	9219467	3463
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	40	37
↖	40	39
↖	39	40
↖	40	40
↖	42	40
↖	40	40
↖	42	40
↖	40	40
↖	37	42
↖	40	42
Promedio de datos seleccionados		40.8

ESTACIÓN N° 03		
Formación Yumagual		
Descripción: Estratos de calizas de la formación Yumagual.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
797050	9219308	3442
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	37	33
↖	37.5	33
↖	33	37
↖	39	37
↖	38	37
↖	33	37
↖	39	37.5
↖	37	38
↖	37	39
↖	37	39
Promedio de datos seleccionados		38.1

ESTACIÓN N° 04		
Formación Yumagual		
Descripción: Estratos de calizas de la formación Yumagual.		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
797676	9218787	3487
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	33	33
↖	38	35
↖	37	36
↖	38	37
↖	38	37
↖	35	38
↖	26	38
↖	37	38
↖	39	39
↖	39	39
Promedio de datos seleccionados		38.4

G. DATA FORMACIÓN MUJARRÚN

ESTACIÓN N° 01		
Formación Mujarrún		
Descripción: Estrato de calizas nodulares de la Formación Mujarrun		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
795816	9219369	3399
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	21	20
↖	20.5	20.5
↖	21	21
↖	21	21
↖	23.5	21
↖	23	21.5
↖	22	21.5
↖	20	22
↖	21.5	23
↖	21.5	23.5
Promedio de datos seleccionados		22.3

ESTACIÓN N° 02		
Formación Mujarrún		
Descripción: Estrato de calizas nodulares de la Formación Mujarrun		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
796079	9219362	3467
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	20	20
↖	21.5	20
↖	21.5	21
↖	22	21.5
↖	24	21.5
↖	23	22
↖	23.5	22
↖	22	23
↖	21	23.5
↖	20	24
Promedio de datos seleccionados		22.9

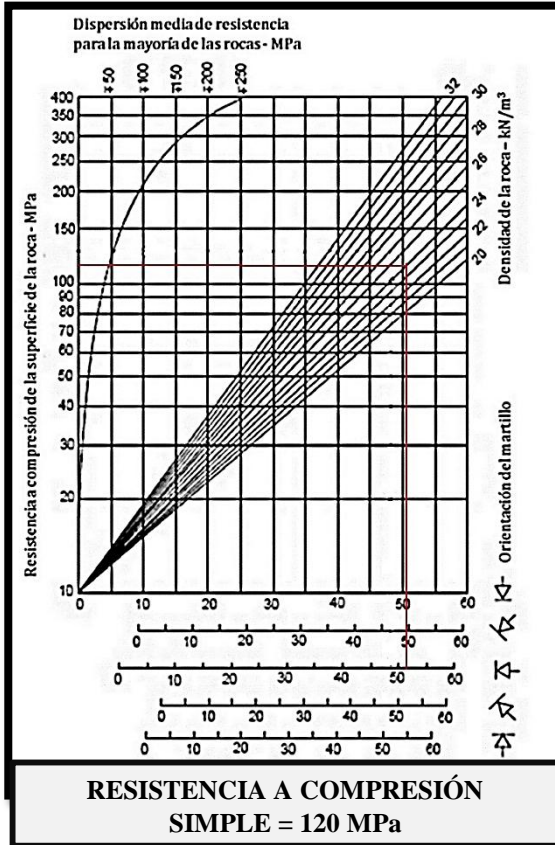
ESTACIÓN N° 03		
Formación Mujarrun		
Descripción: Estrato de calizas nodulares de la Formación Mujarrun		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
796442	9219494	3416
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	20.5	17
↖	18.5	18.5
↖	17	19
↖	20	19
↖	19.5	19.5
↖	19	20
↖	19	20
↖	20.5	20.5
↖	21	20.5
↖	20	21
Promedio de datos seleccionados		20.4

ESTACIÓN N° 04		
Formación Mujarrun		
Descripción: Estrato de calizas nodulares de la Formación Mujarrun		
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
796219	9219404	3432
Valores del rebote del martillo		
Orientación del Martillo	Valor de rebote	Valores ordenados
↖	17.5	17.5
↖	18.5	17.5
↖	22	18
↖	19	18.5
↖	18.5	18.5
↖	17.5	18.5
↖	18.5	18.5
↖	18.5	18.5
↖	18.5	19
↖	18	22
Promedio de datos seleccionados		19.3

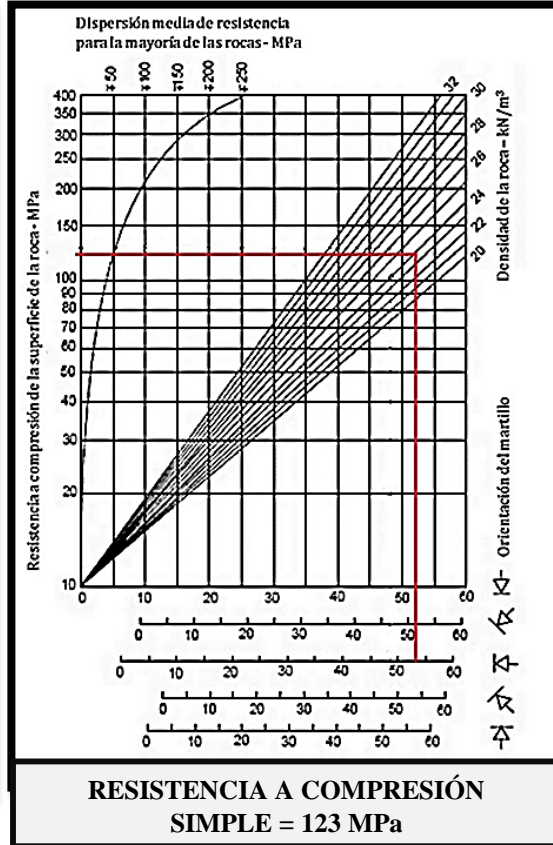
ANEXO III: APLICACIÓN DEL ABACO DE MILLER EN CADA FORMACIÓN GEOLÓGICA

A. FORMACIÓN CHIMÚ

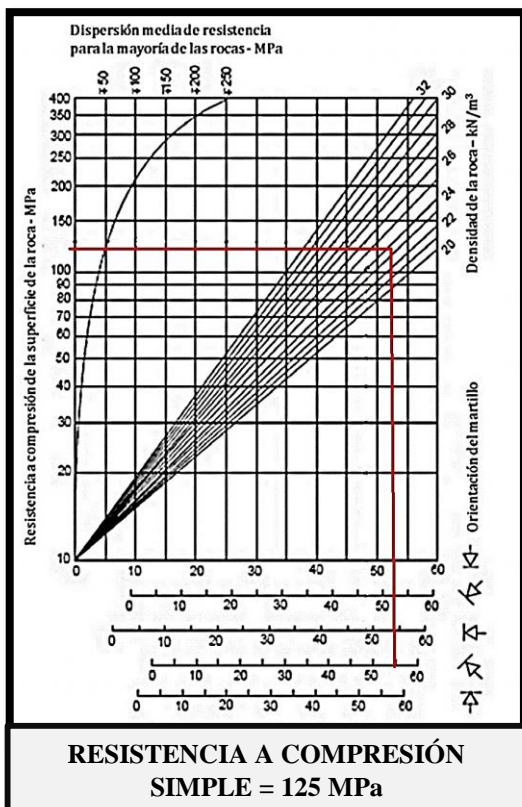
Abaco - Estación 01



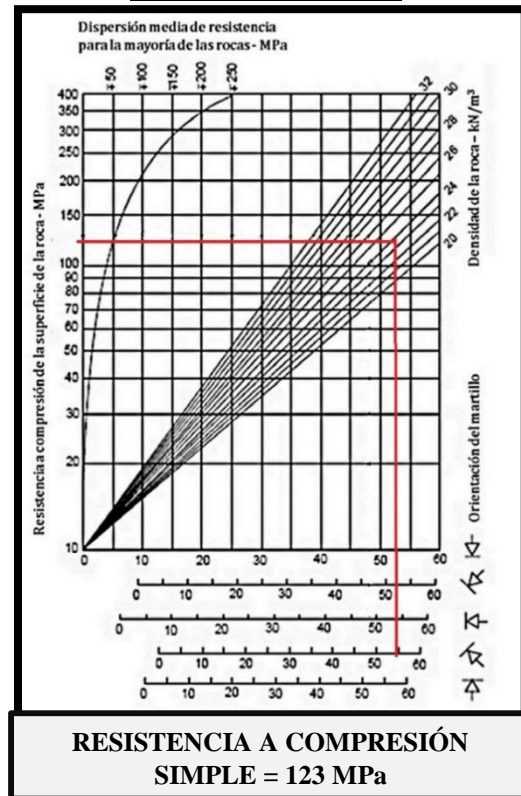
Abaco - Estación 02



Abaco - Estación 03

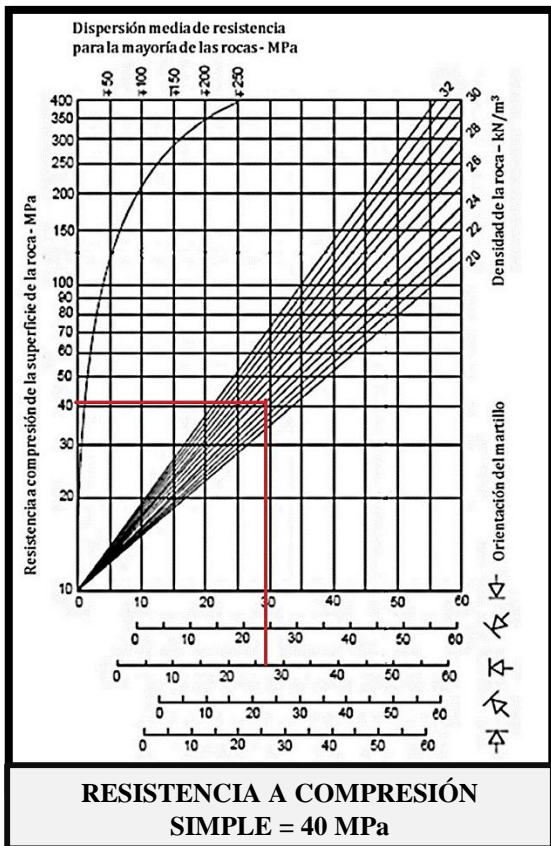


Abaco - Estación 04

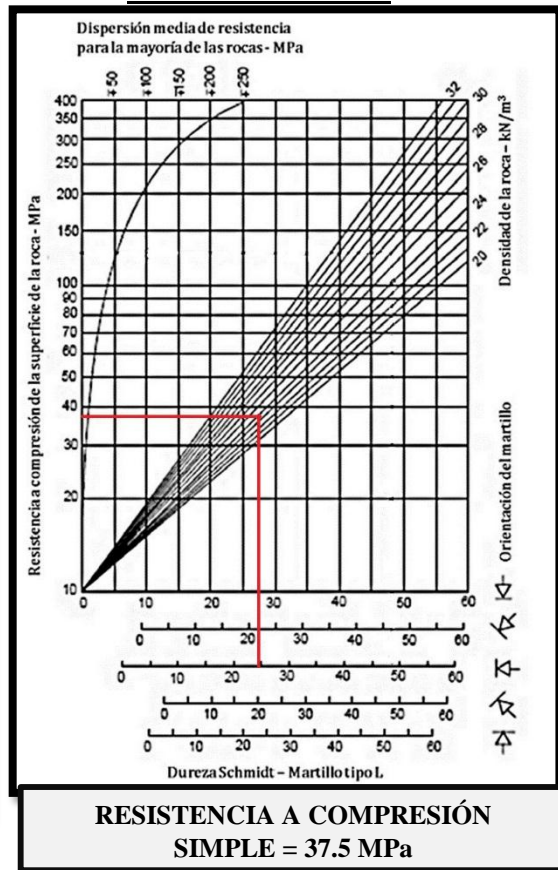


B. FORMACIÓN CARHUÁZ

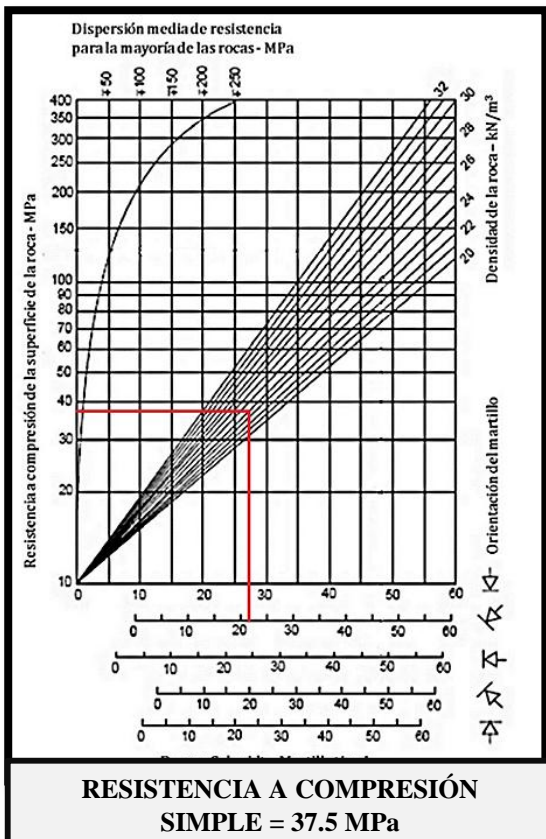
Ábaco- Estación 01



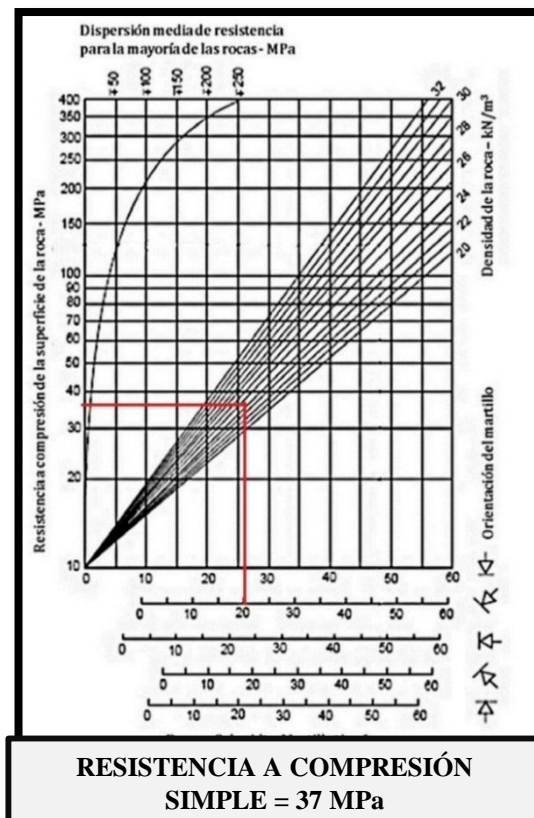
Ábaco- Estación 02



Ábaco- Estación 03

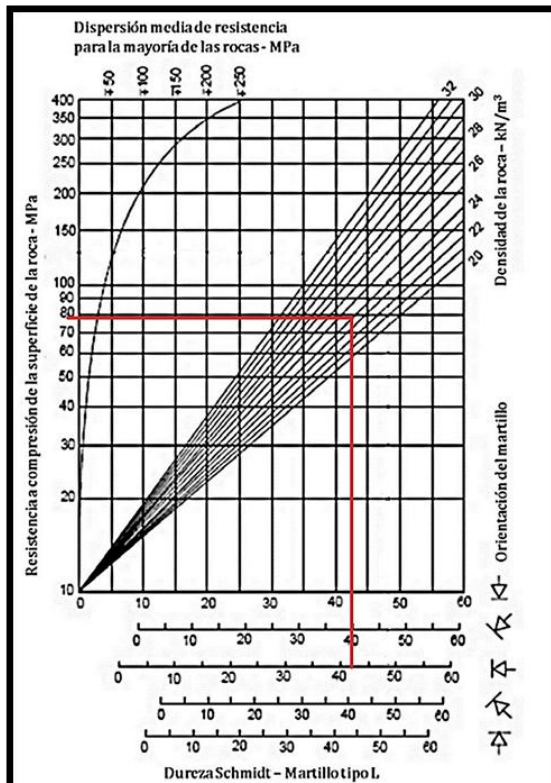


Ábaco- Estación 04



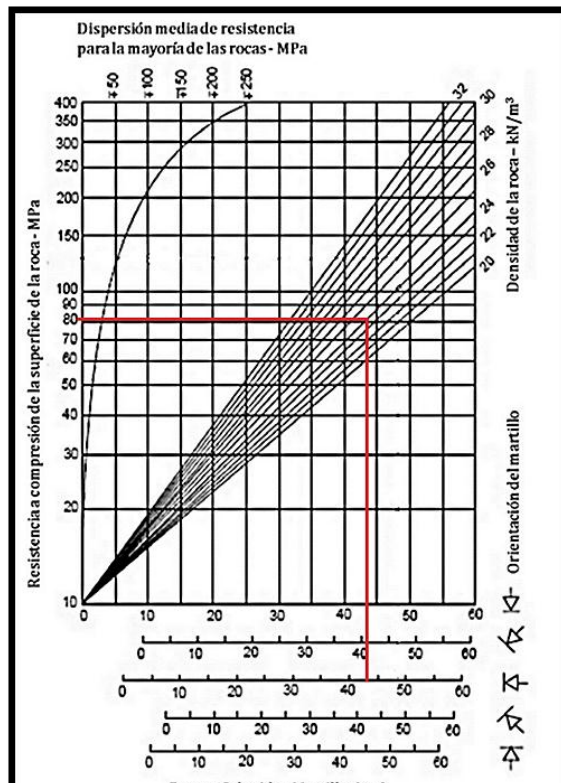
C.-FORMACIÓN FARRÁT

Ábaco- Estación 01



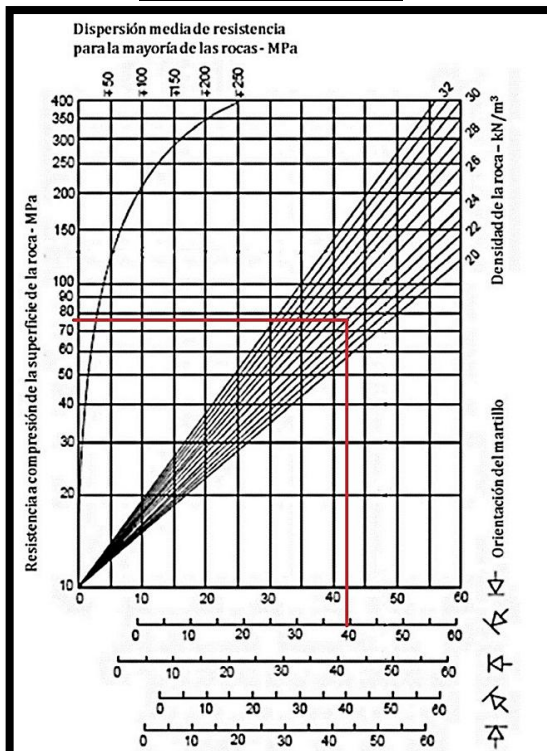
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE = 78 MPa

Ábaco- Estación 02



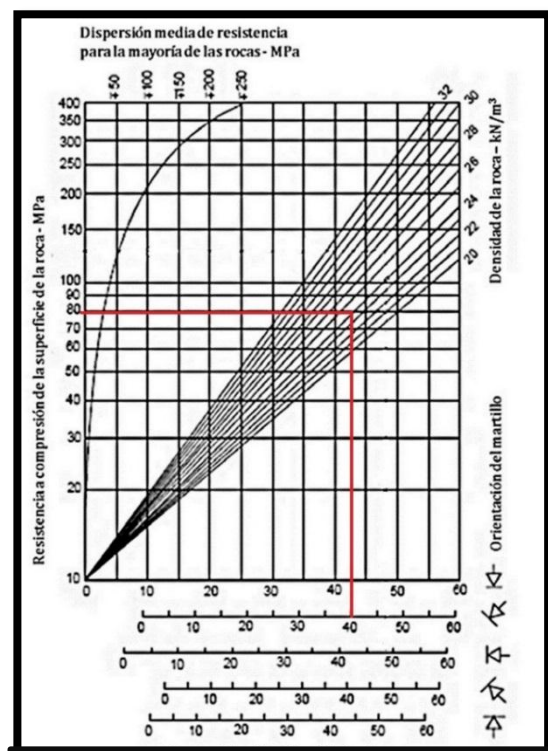
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE = 81 MPa

Ábaco- Estación 03



RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE = 77.5 MPa

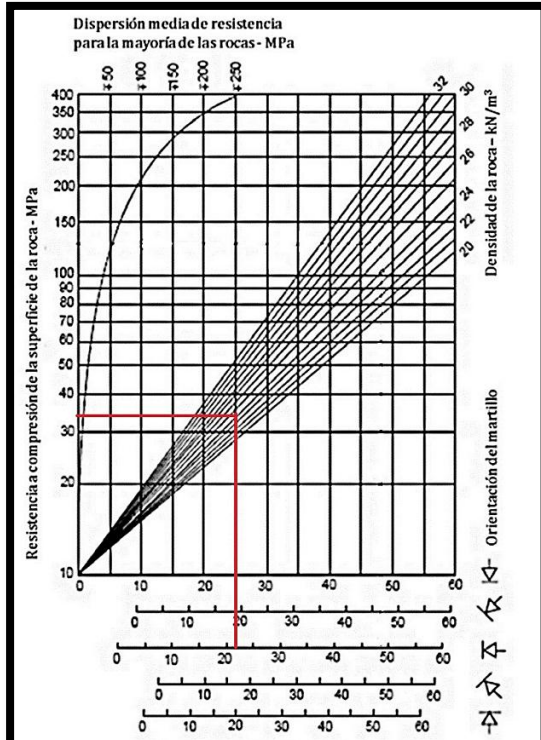
Ábaco- Estación 04



RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE = 79.5 MPa

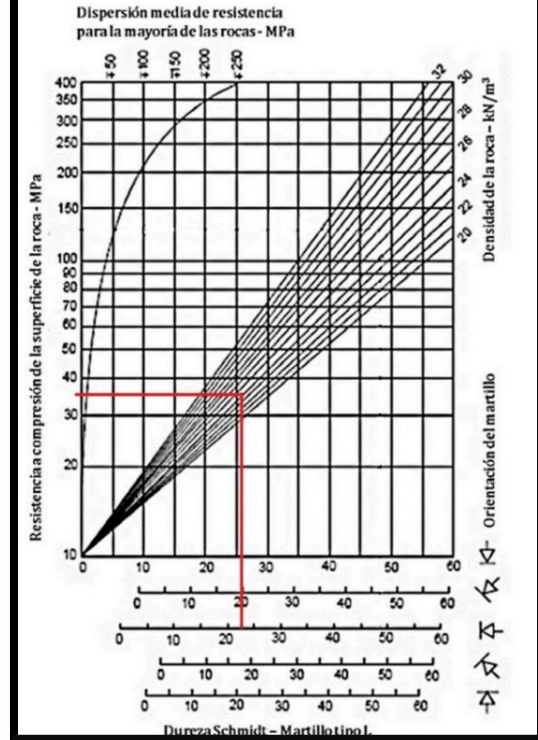
D.-FORMACIÓN CHÚLEC.

Ábaco- Estación 01



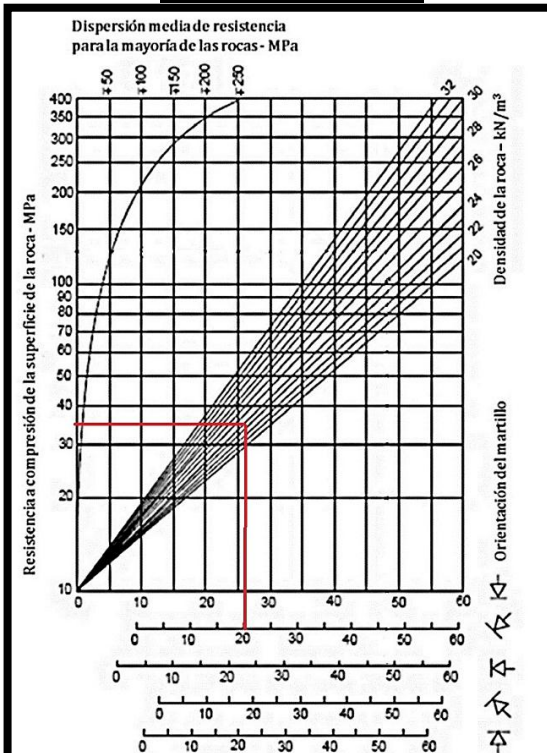
**RESISTENCIA A COMPRESIÓN
SIMPLE = 34 MPa**

Ábaco- Estación 02



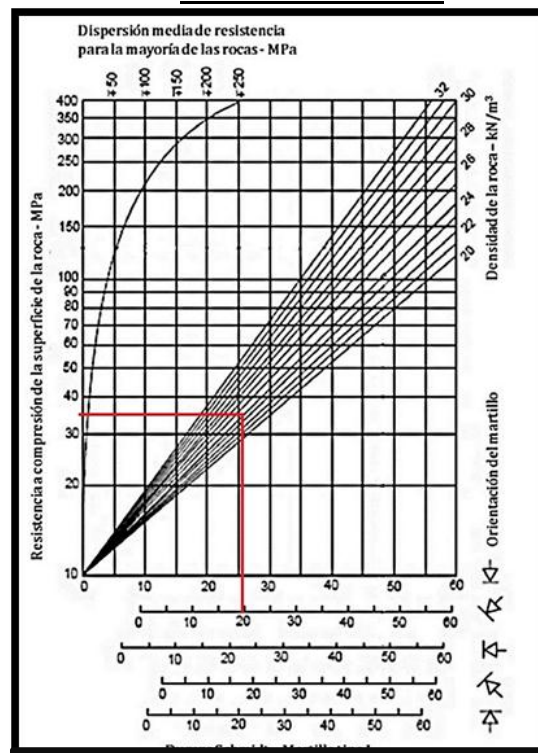
**RESISTENCIA A COMPRESIÓN
SIMPLE = 36 MPa**

Ábaco- Estación 03



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE
= 35.5 MPa**

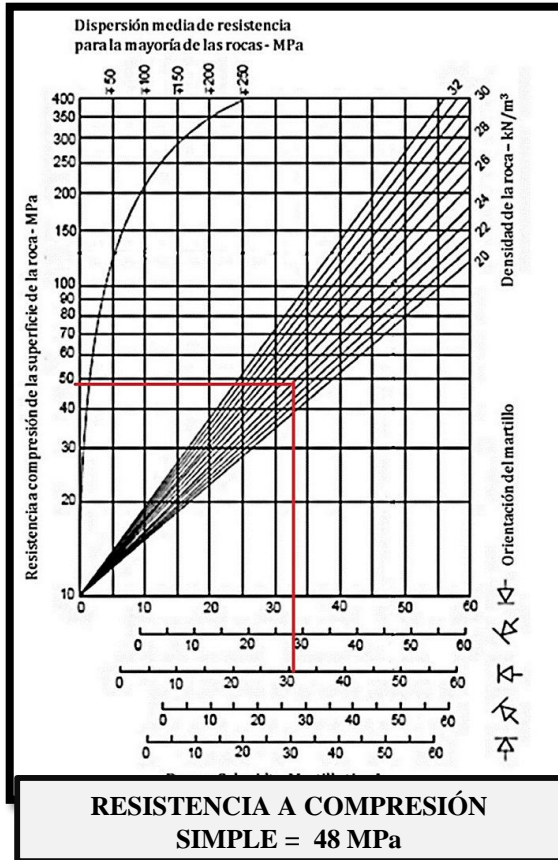
Ábaco- Estación 04



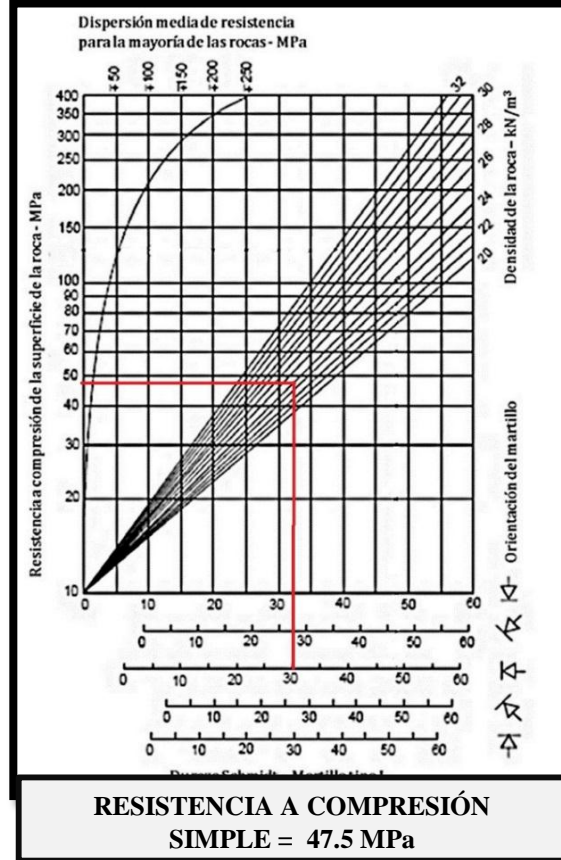
**RESISTENCIA A COMPRESIÓN
SIMPLE = 35 MPa**

E.-FORMACIÓN PARIATAMBO

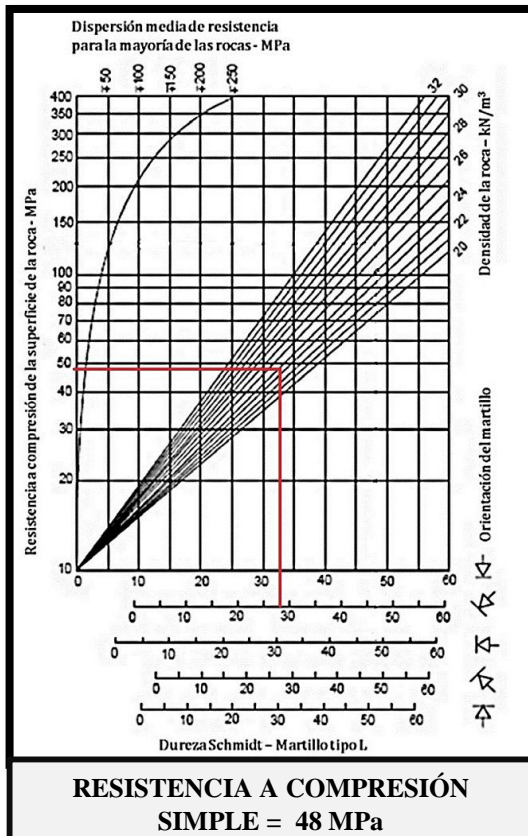
Ábaco- Estación 01



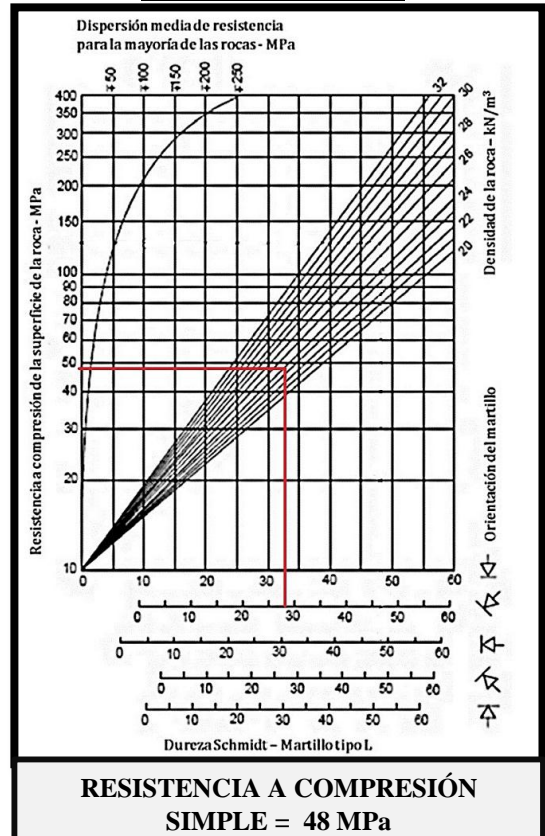
Ábaco- Estación 02



Ábaco- Estación 03

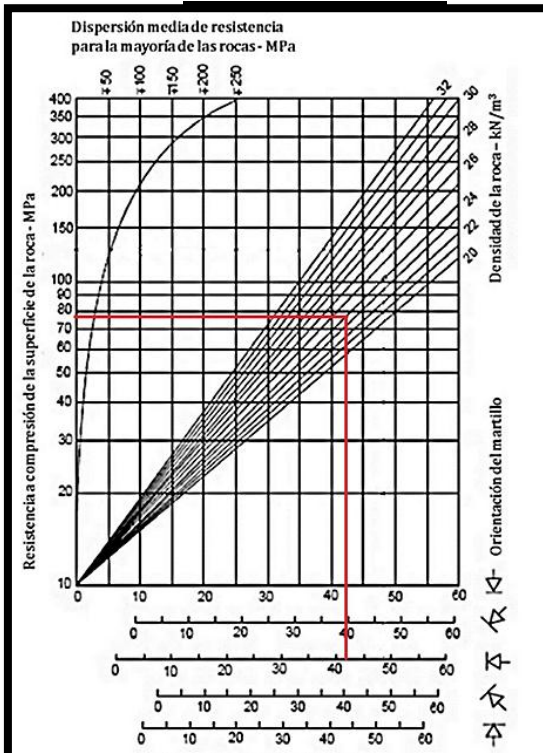


Ábaco- Estación 04



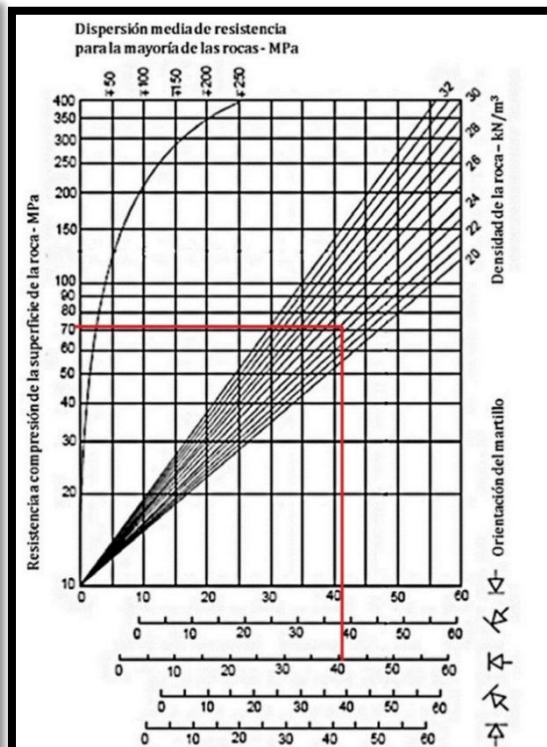
F.-FORMACIÓN YUMAGUAL

Ábaco- Estación 01



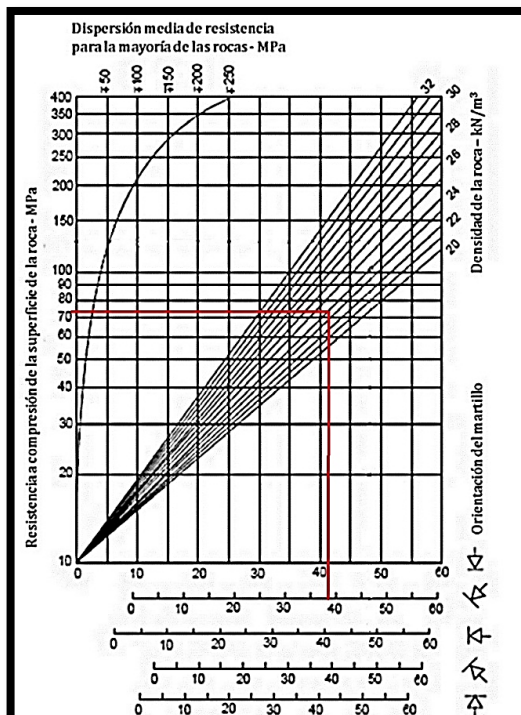
**RESISTENCIA A COMPRESIÓN
SIMPLE = 76.5 MPa**

Ábaco- Estación 02



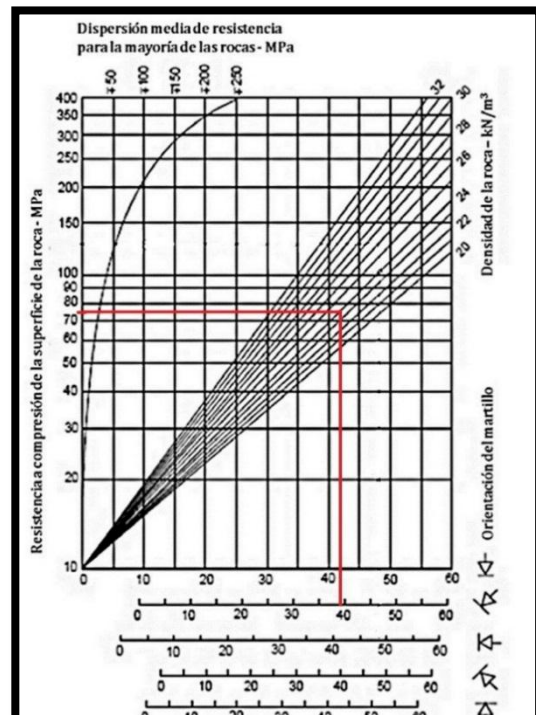
**RESISTENCIA A COMPRESIÓN
SIMPLE = 72 MPa**

Ábaco- Estación 03



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN
SIMPLE = 74 MPa**

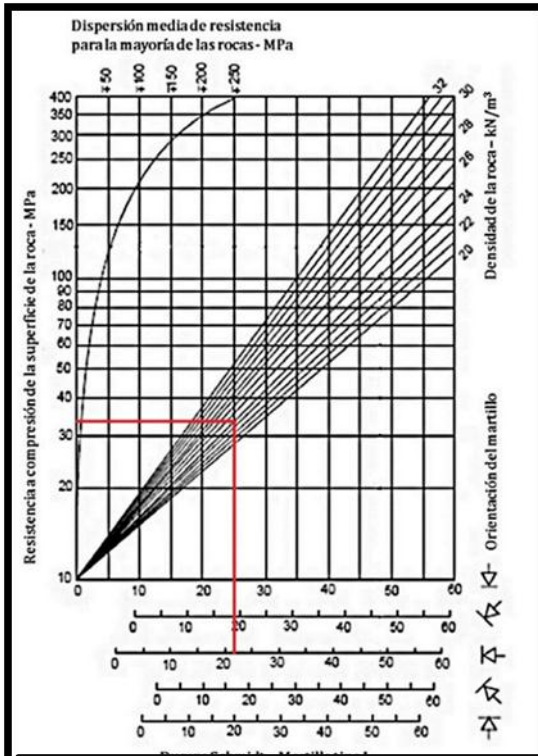
Ábaco- Estación 04



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN
SIMPLE = 76 MPa**

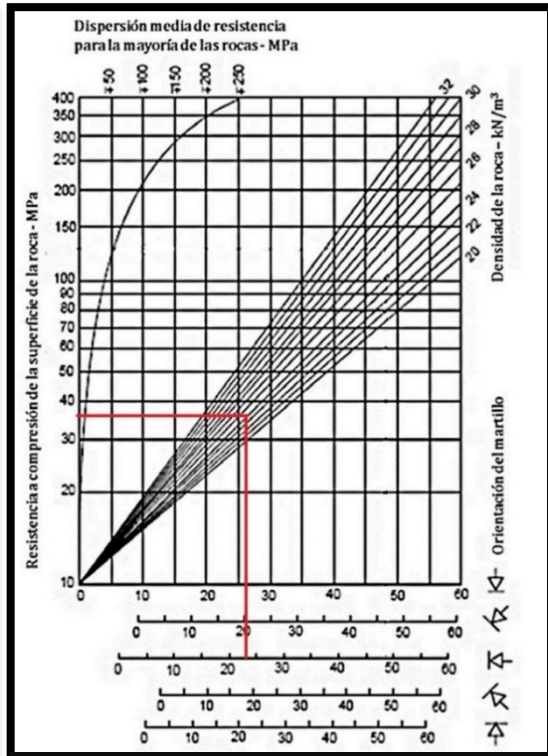
G.-FORMACIÓN MUJARRÚN

Ábaco- Estación 01



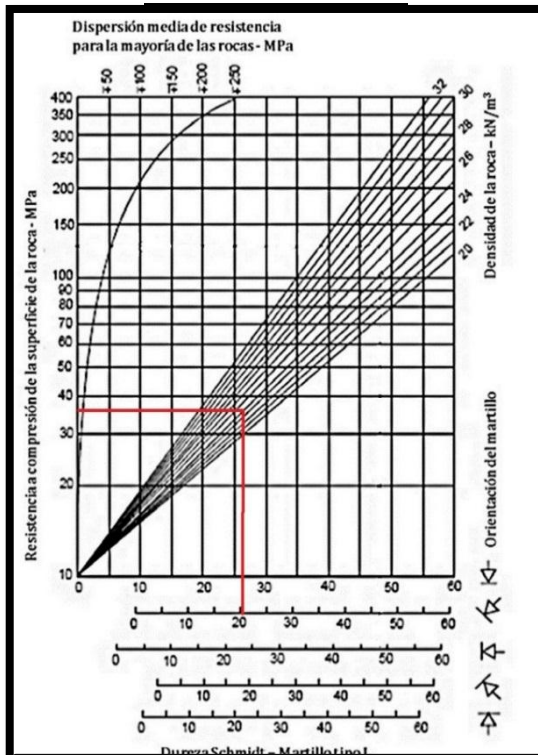
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE = 34 MPa

Ábaco- Estación 02



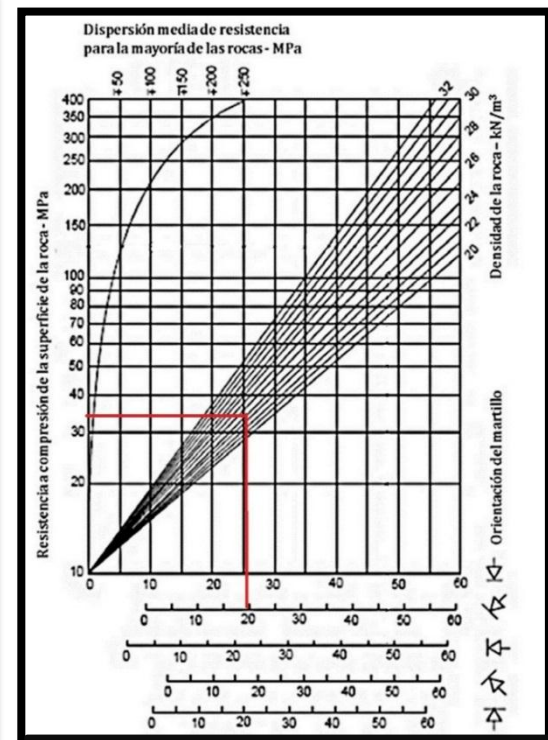
RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE = 36.5 MPa

Ábaco- Estación 03



RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE = 36 MPa

Ábaco- Estación 04



RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE = 34.5 MPa

ANEXO IV: DATA DE DIACLASAS

A) ESTACIÓN 1

Coordenadas UTM		
Norte	Este	Cota
799409	9221422	3862

DATA DE DIACLASAS		
N°	DIP	DIP DIRECTION
1	82	134
2	79	128
3	85	130
4	78	141
5	75	131
6	76	133
7	64	142
8	82	131
9	79	126
10	85	131
11	78	139
12	75	129
13	76	132
14	64	140
15	82	136
16	79	131
17	85	129
18	78	139
19	9	319
20	12	316

DATA DE DIACLASAS		
N°	DIP	DIP DIRECTION
1	8	324
2	10	321
3	12	318
4	16	310
5	16	316
6	15	320
7	17	329
8	12	327
9	10	320
10	11	316
11	16	319
12	13	320
13	14	319
14	10	321
15	18	329
16	13	326
17	11	317
18	14	315
19	15	307
20	14	315

B) ESTACIÓN 2

Coordenadas UTM		
Este	Norte	Cota
799236	9222248	3819

DATA DE DIACLASAS		
N°	DIP	DIP DIRECTION
1	51	45
2	48	47
3	42	40
4	37	45
5	56	53
6	48	48
7	44	51
8	58	51
9	61	48
10	52	55
11	49	53
12	75	128
13	66	115
14	59	123
15	48	138
16	66	139
17	62	128
18	68	131
19	72	127
20	75	125

DATA DE DIACLASAS		
N°	DIP	DIP DIRECTION
21	66	125
22	64	129
23	58	130
24	75	141
25	62	126
26	56	118
27	20	317
28	15	305
29	18	310
30	15	319
31	21	325
32	42	305
33	38	320
34	28	308
35	21	317
36	25	315
37	36	311
38	35	315
39	28	321
40	28	319

C) ESTACIÓN 3

Coordenadas UTM		
Este	Norte	Cota
799342	9223773	3772

DATA DE DIACLASAS		
N°	DIP	DIP DIRECTION
1	51	39
2	48	41
3	42	37
4	37	46
5	56	51
6	48	44
7	43	47
8	43	51
9	59	44
10	55	52
11	42	47
12	43	46
13	56	50
14	41	47
15	46	49
16	56	53
17	58	51
18	68	151
19	65	142
20	65	146

DATA DE DIACLASAS		
N°	DIP	DIP DIRECTION
21	61	151
22	63	149
23	61	142
24	71	152
25	65	139
26	63	148
27	72	148
28	66	155
29	61	143
30	59	148
31	66	149
32	62	152
33	41	314
34	32	310
35	26	319
36	29	321
37	42	319
38	41	321
39	38	325
40	29	319

D) ESTACIÓN 04

Coordenadas UTM		
Este	Norte	Cota
796545	9219519	3408

N°	DIP	DIP DIRECTION	N°	DIP	DIP DIRECTION
1	46	347	21	78	139
2	49	353	22	71	131
3	44	355	23	72	132
4	46	342	24	70	139
5	44	331	25	79	136
6	48	345	26	81	132
7	39	342	27	77	135
8	44	331	28	74	139
9	46	345	29	70	131
10	41	342	30	72	129
11	44	331	31	68	136
12	37	345	32	75	140
13	49	349	33	79	136
14	41	345	34	85	130
15	40	349	35	79	136
16	76	134	36	61	136
17	68	139	37	70	132
18	82	136	38	73	136
19	79	132	39	69	139
20	85	129	40	78	136