

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS
ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN EL CENTRO POBLADO DE
HUAMBOCANCHA BAJA, CAJAMARCA.

Para optar el título profesional de:
INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:
Bach. Chilón Calua Héctor Eduardo

Asesor:
Dr. Quispe Mamani Crispín Zenón

Cajamarca - Perú
2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : Héctor Eduardo Chilón Calua
2. DNI : 72707392
3. Escuela Profesional : Ingeniería Geológica

4. Asesor : Crispín Zenón Quispe Mamani
Facultad : Ingeniería

5. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor

6. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico

1. Título de Trabajo de Investigación: ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN EL CENTRO POBLADO DE
2. HUAMBOCANCHA BAJA, CAJAMARCA.
3. Fecha de evaluación : 03 de noviembre 2024
4. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
5. Porcentaje de Informe de Similitud : 5%
6. Código Documento : Oid: 3117:401361152
7. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión : 04 de noviembre 2024

 FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: Crispín Zenón Quispe Mamani DNI : 29243825	 FIRMA DIGITAL Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 04/11/2024 01:28:40-0500 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI
--	--

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater la Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad Ingeniería en especial a mis apreciados maestros de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, que me compartieron sus conocimientos, aportando a mi formación y desarrollo profesional.

A mis entrañables amigos de universidad con los que nos formamos como profesionales.

A mi asesor, el Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani, por su apoyo inconmensurable y sabiduría. Y al distinguido jurado por su invaluable aporte de esta tesis profesional.

DEDICATORIA

A mi querida madre Rosa, mi hermana Damaris y también a toda mi familia que me apoyaron de manera contantes e incondicional en la realización de esta investigación.

ÍNDICE

Pág.

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
ABREVIATURAS	xxii
RESUMEN	xxiii
ABSTRACT	xxiv

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes Teóricos	4
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	4
2.1.2	Antecedentes nacionales	5
2.1.3	Antecedentes locales.....	5
2.2	Bases Teóricas	6
2.2.1	Fuerza	6
2.2.2	Esfuerzo	7
2.2.3	Deformación	9
2.2.4	Fracturas	9
2.2.5	Pliegues.....	10
2.2.6	Falla	17
2.2.7	Análisis cinemático.....	22
2.3	Definición de Términos Básicos.....	31

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Ubicación del Área y Zona de Investigación	33
3.1.1	Geográfica.....	33
3.1.2	Política	33
3.1.3	Accesibilidad	33
3.1.4	Clima y vegetación	35
3.2	Procedimientos	36
3.2.1	Metodología.....	36
3.2.2	Población de estudio	37
3.2.3	Muestra	37
3.2.4	Unidad de análisis.....	37
3.2.5	Identificación de variables.....	37
3.2.6	Técnicas	38
3.2.7	Instrumentos de recolección de datos	38
3.3	Contexto Geológico	38
3.3.1	Geología local.....	38
3.3.2	Geomorfológica	48
3.3.3	Geología estructural.....	50
3.4	Tratamiento y Análisis de Datos y Presentación de Resultados.....	51

	Pág.
3.4.1 Pliegues.....	51
3.4.2 Fallas.....	64
3.4.3 Fracturas	118

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1	Análisis Cinemático	122
4.1.1	Análisis de pliegues	122
4.1.2	Análisis de fallas.....	122
4.1.3	Análisis de fracturas	123
4.2	Evolución de Deformación	124
4.2.1	Primer evento: Esfuerzo de compresión NE-SW	124
4.2.2	Segundo evento: Esfuerzo de compresión NE-SW	125
4.2.3	Tercer evento: Esfuerzo de transtensión NE-SW	128
4.2.4	Cuarto evento: Esfuerzo de distensivo N-S	130
4.2.6	Evolución de régimen	134
4.3	Contrastación de la Hipótesis	135

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	136
5.2	Recomendaciones.....	137

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
ANEXOS	143

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vectores de esfuerzo que actúan sobre un plano inclinado, σ es el componente vertical de la tensión resuelta en componentes normales (σ_n) y de cizallamiento (τ).	7
Figura 2. Tensor de esfuerzos.....	8
Figura 3. Elipse de esfuerzo y sus partes principales.	8
Figura 4. Elipsoide de esfuerzo y sus planos principales.	9
Figura 5. Block diagrama ilustrando los tres modelos de fracturas, (a) Modelo I, (b) Modelo II, (c) Modelo III. Modelo I formado por fractura extensión, Modelo II y Modelo III son fracturas por cizallamiento.	10
Figura 6. a) Parámetros geométricos de pliegues cilíndricos y no cilíndricos, b) La relación entre plano de clivaje, superficie axial y superficie envolvente en pliegues con clivaje transecto y pliegue transecto.....	11
Figura 7. Clasificación de pliegues en función de las líneas de charnela,	12
Figura 8. Clasificación de pliegues geométricos basada en el ángulo entre limbo.	13
Figura 9. Estereogramas para la clasificación de los pliegues basada en la inmersión y en el buzamiento de la superficie axial.	14
Figura 10. Orientación de la superficie axial y restricciones en la orientación del eje de pliegue en cero (a), intermedio (b y c) y caída pronunciada (d). PAS: polo a superficie axial indicada por una x en todos los diagramas de tejido. AS: superficie axial. FA: eje de plegado. TA: tendencia del eje. SAS: golpe de superficie axial.	15
Figura 11. a) Capa plegada cilíndrica. b) Red de Schmidt para un pliegue cilíndrico. c) Diagrama polar tangente de capa en pliegues cilíndricos hundidos y no hundidos. d) Capa plegada cónica. e) Red de Schmidt de una superficie plegada cónica. c) Diagrama polar tangente de capa en pliegues cónicos Tipo-I y Tipo-II.....	15
Figura 12. Esquema que muestra una generalización de los principales tipos de fracturas relacionadas con el plegamiento.	16

	Pág.
Figura 13.	Esquema que muestra fracturas asociadas a un pliegue. Se muestra también la posición de las fracturas en una proyección estereográfica.17
Figura 14.	Geometría de falla con componentes relativos de movimiento.18
Figura 15.	Block diagrama de los diferentes tipos de fallas.19
Figura 16.	A. Clasificación general de fallas en base al ángulo de rake. B. Componente de deslizamiento normal. C. Componente de deslizamiento inverso. D. Diagrama de bloques mostrando un ejemplo de falla oblicua-slip. E. Estereograma que muestra un ejemplo de falla y línea de corte.20
Figura 17.	Modelo esquemático de una zona de núcleo de falla y una zona de daño dentro de una zona de falla de rumbo.21
Figura 18.	Clasificación de brechas por fragmentos, cemento y matriz22
Figura 19.	(a) Los escalones y lineamiento de deslizamiento. (b) Sección transversal paralela a la dirección de deslizamiento que muestra asimetría de escalones y fibras.23
Figura 20.	Relación del modelo de Anderson entre tensiones y fallas ideales24
Figura 21.	Modelo de fracturamiento.25
Figura 22.	Criterios cinemáticos a lo largo de una falla con fracturas. Se utiliza la nomenclatura general para las fracturas en un sistema de cortante (fracturas R, R0, P, T y M). R, conjugada Riedel; P, fracturas por cizallamiento; T, fracturas por extensión; M, superficie de deslizamiento promedio (falla).25
Figura 23.	Diedros rectos y mecanismo focal de una falla. A) en perspectiva y B) en proyección estereográfica. F, plano de falla; A, plano auxiliar; n, vector unitario normal al plano de falla; s, vector unitario de deslizamiento; B, intersección de los planos F y A; P, diedro compresivo y T, diedro extensivo.26
Figura 24.	Procedimiento gráfico del método de los diedros rectos para dos fallas. En oscuro compresión, en claro extensión.27

	Pág.
Figura 25.	Posiciones de la placa de Nazca (Farallón), a través del tiempo geológico, interpretando mediante anomalías magnéticas.....30
Figura 26.	A. Tramo 1, Plaza de armas de Cajamarca hacia Huambocancha Baja- El Callejón. B. Tramo 2, Plaza de armas de Cajamarca hacia caserío Llagamarca.34
Figura 27.	Columna estratigráfica.47
Figura 28.	(a) Pliegue cilíndrico, con concentración los polos (diagrama de contornos) abarcados en el círculo π , esfuerzo mayor σ_1 graficado por flechas rojas (b) Planos de los flancos (líneas negras), inmersión de pliegue dado por el polo π54
Figura 29.	Estereograma (a) Eje de chanela (Plano axial, color rojo), Plano π (línea azul). (b) Ángulo interflancos (línea roja)55
Figura 30.	Buzamiento de plano axial vs ángulo de inmersión.....56
Figura 31.	(a) Pliegue cilíndrico, con concentración los polos (diagrama de contornos) abarcados en el círculo π , esfuerzo mayor σ_1 graficado por flechas rojas (b) Planos de los flancos (líneas negras), inmersión de pliegue dado por el polo π58
Figura 32.	Estereograma (a) Eje de chanela (Plano axial, color rojo), Plano π (línea azul). (b) Ángulo interflancos (línea roja)58
Figura 33.	Buzamiento de plano axial vs ángulo de inmersión.....59
Figura 34.	(a) Pliegue cilíndrico, con concentración los polos (diagrama de contornos) abarcados en el círculo π , esfuerzo mayor σ_1 graficado por flechas rojas (b) Planos de los flancos (líneas negras), inmersión de pliegue dado por el polo π61
Figura 35.	Estereograma (a) Eje de chanela (Plano axial, color rojo), Plano π (línea azul). (b) Ángulo interflancos (línea roja)62
Figura 36.	Buzamiento de plano axial vs ángulo de inmersión.....63

	Pág.
Figura 37. a) Proyección estereográfica de la estación F-01, b) simbología de la falla F-01. c) Clasificación de la falla F-01	65
Figura 38. a) Proyección estereográfica de la estación F-02, b) Simbología de la falla F-02. c) Clasificación de falla.	67
Figura 39. a) Proyección estereográfica de la estación F-03, b) Simbología de la falla F-03. c) Clasificación de fallas.	69
Figura 40. a) Proyección estereográfica de la estación F-04, b) Simbología de la falla F-04. c) Clasificación de falla.	71
Figura 41. a) Proyección estereográfica de la estación F-05, b) Simbología de la falla F-05. c) Clasificación de fallas.	73
Figura 42. a) Proyección estereográfica de la estación F-06 b) Simbología de la falla F-06. c) Clasificación de falla.	75
Figura 43. a) Proyección estereográfica de la estación F-07 b) Simbología de la falla F-07. c) Clasificación de falla.	77
Figura 44. a Proyección estereográfica de la estación F-08. b) simbología de la falla F-08, c) Clasificación de falla.	79
Figura 45. a) Proyección estereográfica de la estación F-04, b) simbología de la falla F-04. c) Clasificación de fallas.	80
Figura 46. a) Proyección estereográfica de la estación F-10, b) Simbología de la falla F-10. c) Clasificación de fallas	82
Figura 47. a Proyección estereográfica de la estación F-11, b) Simbología de la falla F-11. c) Clasificación de fallas	84
Figura 48. a) Proyección estereográfica de la estación F-12, b) Simbología de la falla F-12. c) Clasificación de fallas.	85
Figura 49. a) Proyección estereográfica de la estación F-13, b) Simbología de la falla F-13. c) Clasificación de fallas.	87
Figura 50. a) Proyección estereográfica de la estación F-14, b) Simbología de la falla F-14. c) Clasificación de fallas.	90

	Pág.
Figura 51. a) Proyección estereográfica de la estación F-15, b) Simbología de la falla F-15. c) Clasificación de fallas.	92
Figura 52. a) Proyección estereográfica de la estación F-16, b) Simbología de la falla F-10. c) Clasificación de fallas.	94
Figura 53. a) Proyección estereográfica de la estación F-17, b) Simbología de la falla F-17. c) Clasificación de fallas.	95
Figura 54. a) Proyección estereográfica de la estación F-18, b) Simbología de la falla F-18. c) Clasificación de fallas.	97
Figura 55. a) Proyección estereográfica de la estación F-19 b) Simbología de la falla F-19. c) Clasificación de fallas.	98
Figura 56. a) Proyección estereográfica de la estación F-12-B, b) Simbología de la falla F-12-B. c) Clasificación de fallas.....	100
Figura 57. a) Proyección estereográfica de la estación F-21, b) Simbología de F-21. c) Clasificación de fallas.	102
Figura 58. a) Ploteo de estrías de la falla, dirección de los esfuerzos de F-22 b) Simbología de la falla F-22. c) Clasificación de fallas.	103
Figura 59. a) Proyección estereográfica de la estación F-23, b) Simbología de F-23. c) Clasificación de fallas.	105
Figura 60. a) Proyección estereográfica de la estación F-24, b) Simbología de la falla F-24. c) Clasificación de fallas.	107
Figura 61. a) Proyección estereográfica de la estación F-25, b) Simbología de la falla F-25. c) Clasificación de fallas.	109
Figura 62. a) Proyección estereográfica de la estación F-26, b) Simbología de la falla F-26. c) Clasificación de fallas.	110
Figura 63. a) Proyección estereográfica de la estación F-27, b) Simbología de la falla F-27, c) Clasificación de fallas.	112
Figura 64. a) Proyección estereográfica de la estación F-28, b) Simbología de la falla F-28. c) Clasificación de fallas.	113

	Pág.
Figura 65. a) Proyección estereográfica de la estación F-29, b) Simbología de la falla F-29. c) Clasificación de fallas.	115
Figura 66. a) Proyección estereográfica de la estación F-30, b) Simbología de la falla F-30. c) Clasificación de fallas.	117
Figura 67. Planos de fracturas en proyección estereográfico.	118
Figura 68. Polos de fractura	118
Figura 69. Concentración de Fisher de las fracturas.	118
Figura 70. Diagrama de la concentración de Fisher con las principales familias de diaclasas	119
Figura 71. Diagrama de roseta	119
Figura 72. Principales fracturas de cizalla conjugada formados el flanco del NE de anticlinal de Huambocancha N: 9212687, E: 774222, Cota: 3070 m.s.n.m.....	120
Figura 73. Fracturas en la Formación Farrat. N: 9213087, E: 773793, Cota: 3063 m.s.n.m.....	121
Figura 74. Fracturas de extensión en la Formación Carhuaz con relleno mineral N: 9212687, E: 774222, Cota: 3070 m.s.n.m.....	121
Figura 75. Fracturas en la rocas volcánicas, N: 9212590, E: 772406, Cota: 2918 m.s.n.m.....	121
Figura 76. a). Asociación de estaciones P-01, P-02, P-03, D3y D4 acompañada de dirección máxima de compresión (σ_1). b) Diagrama de rosetas, con orientación predominante NW- SE (máximo 37%) y otra tendencia NE- SW.....	125
Figura 77. a). Diagrama de rosetas, con orientación predominante (máximo 50%) b) Diedros del segundo evento acompañada de dirección máxima de compresión (σ_1). c) Diagrama de círculo de Mohr	127
Figura 78. Modelo de Riedel para el segundo evento	127

	Pág.
Figura 79.	a). Diagrama de rosetas, con orientación predominante (máximo 40%) b) Diedros del tercer evento acompañada de dirección máxima de compresión (σ_1). c) Diagrama de círculo de Mohr129
Figura 80.	Modelo de Riedel para el segundo evento129
Figura 81.	a). Diagrama de rosetas, con orientación predominante (máximo 28.57%) b) Diedros del cuarto evento acompañada de dirección de extensión (σ_3). c) Diagrama de círculo de Mohr131
Figura 82.	Modelo de Riedel para el cuarto evento131
Figura 83.	Modelo de Riedel para el quinto evento133
Figura 84.	a). Diagrama de rosetas, con orientación predominante (máximo 50%) b) Diedros del quinto evento acompañada de dirección de extensión (σ_3). c) Diagrama de círculo de Mohr133
Figura 85.	Clasificación de lo diferentes tipos de regímenes.....134

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Vegetación característica. E: 773623.21, N: 9212908.55, Cota: 2912 m.s.n.m.	35
Fotografía 2. Afloramiento de la Formación Carhuaz, E: 772117, N: 9213130, Cota: 2902 m.s.n.m.	39
Fotografía 3. Vista panorámica de las rocas areniscas de la Formación Farrat (Ki-ca) suprayaciendo a la Formación Carhuaz, localizado en el Cerro Shicuana, E:762934, N:921133, Cota: 2772 m.s.n.m.	40
Fotografía 4. Contacto entre la Formación Inca y Formación Chulec, presencia de bivalvos, carretera Llagamarca. E: 774619 , N:9212896 , Cota: 2939 m.s.n.m.	40
Fotografía 5. Intercalaciones de calizas nodulares y margas de la Formación Chulec, presencia de gasterópodo, E: 774440, N: 9213044 , Cota: 2969 m.s.n.m.	41
Fotografía 6. Vista panorámica de secuencias volcánicas. E: 77	42
Fotografía 7. Secuencia Volcánica San José-Evento 2 (Nm-sj/2) en discordancia angular con la Formación Carhuaz Ki-ca E:775157; N:9211836; Cota: 2781 m.s.n.m.	43
Fotografía 8. Vista panorámica de hipabiales andesíticos en Huambocancha.	43
Fotografía 9. Vista panorámica de los depósitos cuaternarios, E:773646; N:9212951; Cota: 2937 m.s.n.m.	44
Fotografía 10. Depósito fluvial en el Río Grande, N: 9213109, E: 773126, Cota: 2787 m.s.n.m.	45
Fotografía 11. Depósito aluvial la margen del Río Porcón N: 9213038 E: 772957 cota:2784	45
Fotografía 12. Depósito coluvial en la base del cerro Shicuana en el caserío Huambocancha Baja, N: 9212220, E: 772762 cota:2841	46
Fotografía 13. Vista panorámica de las unidades morfométricas. N: 9213915, E: 773220, cota:2843	49

	Pág.
Fotografía 14. Escape en la margen derecha de la Quebrada Las Vizcachas. N: 9213759, E: 773808 cota:2871	50
Fotografía 15. Vista de panorámica de plegamiento del centro poblado de Huambocancha Baja.....	52
Fotografía 16. Vista panorámica de E-W del anticlinal Huambocancha Baja, en la Formación Farrat, N: 9214604 E: 772501 cota:3020 m.s.n.m.	53
Fotografía 17. Vista panorámica de W-E del anticlinal Huambocancha Baja, en la Formación Farrat, N: 9210776 E: 774511 cota:2707 m.s.n.m.	53
Fotografía 18. Anticlinal Llushcapampa, en la formación Farrat, N: 9213892 E: 773176 cota:2843 m.s.n.m.	57
Fotografía 19. Sinclinal Llagamarca, N: 9213892 E:773176 cota:2843 m.s.n.m....	60
Fotografía 20. Imagen satelital del sinclinal Llagamarca.	61
Fotografía 21. Vista panorámica de la falla inversa F-01, N: 9214392 E: 773157 Cota:2918.	64
Fotografía 22. Falla F-01 N: 9213809, E: 773843, Cota: 2867 m.s.n.m.	65
Fotografía 23. Indicadores cinemáticos de F-01.....	65
Fotografía 24. Vista panorámica de la falla dextral en la quebrada Las Vizcachas F-02, N: 9214392 E: 773157 Cota:2918 m.s.n.m.	66
Fotografía 25. Vista panorámica falla dextral en la quebrada el Tigre N: 9213444, E: 774685, Cota: 2944 m.s.n.m.....	67
Fotografía 26. Vista panorámica de la falla normal en la quebrada Las Vizcachas F-03, N: 9214531 E: 773197 Cota:2918.	68
Fotografía 27. Vista panorámica falla normal en la quebrada el Tigre N: 9212875 E: 776084 Cota:2988 m.s.n.m.	69
Fotografía 28. Vista panorámica de la falla dextral en el Río Grande F-04, N: 9213589 E: 773712 Cota:2973 m.s.n.m.....	70
Fotografía 29. Panorámica de la falla dextral en la Río Grande N: 9212866 E: 772234 Cota:2902 m.s.n.m	71

	Pág.
Fotografía 30. Movimiento de la falla e indicadores cinemáticos N: 9213729, E: 773552 , Cota: 2820 m.s.n.m.	71
Fotografía 31. Vista panorámica de la F-05 en el margen derecho de Río Grande F-05, N: 9214528 E: 773198 Cota: 2951 m.s.n.m.	72
Fotografía 32. Falla normal N: 9213605, E: 773512 Cota: 2844 m.s.n.m.	73
Fotografía 33. Vista panorámica de F-06, N: 9213911, E: 773214, Cota: 2844 m.s.n.m.	74
Fotografía 34. Indicadores cinemáticos de F-06 N: 9213489, E: 773350 , Cota: 2818 m.s.n.m.	75
Fotografía 35. Vista panorámica de la falla F-07, N: 9213884, E: 773154, Cota: 2843 m.s.n.m.	76
Fotografía 36. Indicadores cinemáticos de F-07, N: 9213546, E: 773465, Cota: 2830 m.s.n.m.	77
Fotografía 37. Vista panorámica de la F-08 N: 9211809 E: 773570 Cota: 2753 m.s.n.m.	78
Fotografía 38. Indicadores cinemáticos de F-08 N: 9212684, E: 773736, Cota: 2885 m.s.n.m.	78
Fotografía 39. Vista satelital de Google earth de F-09	81
Fotografía 40. Vista panorámica de F-09 N: 9212278, E: 774569, Cota:2890 m.s.n.m.	81
Fotografía 41. Indicadores cinemáticos de F-09 N: 9212255, E: 774551, Cota:2894 m.s.n.m.	81
Fotografía 44. Vista panorámica de falla normales N: 9211817 E: 772931 Cota: 2893 m.s.n.m.	83
Fotografía 43. a) Falla normal de en secuencia volcánicas de tobas, N: 9212088, E:774355 Cota: 2878 m.s.n.m.	83
Fotografía 42. Vista panorámica de F-10 N: 9212571 E: 774215 Cota: 3061 m.s.n.m.	84

	Pág.
Fotografía 45. Falla normal en tobas N: 921257 E: 774899 Cota: 2768 m.s.n.m. ..	84
Fotografía 46. Falla dextral en la Formación Carhuaz, N: 9211824, E:775136 Cota: 2766 m.s.n.m.	86
Fotografía 47. Vista satelital de la F-12.....	86
Fotografía 48. Brecha en F-12, N: 9211824, E:775136 Cota: 2766 m.s.n.m.	86
Fotografía 49. Falla sinistral F-13, N: 9211439, E: 775606, Cota: 2769 m.s.n.m.	88
Fotografía 50. Vista satelital de F-13.....	88
Fotografía 51. Indicadores cinemáticos de F-13, N: 9211439, E: 775606 , Cota: 2769 m.s.n.m.	88
Fotografía 52. Vista panorámica de F-14, N: 9211885, E: 772772, Cota: 2911 m.s.n.m.	89
Fotografía 53. F-14 en la canal de regadío Vizcachas	89
Fotografía 54. Indicadores cinemáticos de F-14, N: 9212814, E: 773362 , Cota: 2806 m.s.n.m.	89
Fotografía 55. Vista panorámica de la F-15, N: 9213471 E: 773724 Cota:2969 m.s.n.m.	91
Fotografía 56. F-15 en la Formación Carhuaz	91
Fotografía 57. Indicadores cinemáticos F-15, N: 9213130, E: 772117, Cota:2867 m.s.n.m.	91
Fotografía 58. Vista panorámica de la falla F-16, N: 9213471 E: 773724 Cota:2969 m.s.n.m	93
Fotografía 59. Falla normal en la Formación Carhuaz N: 9212662, E: 772454 2, Cota:2869 m.s.n.m.	93
Fotografía 60. Indicadores cinemáticos de F-16.....	93
Fotografía 61. Indicadores cinemáticos de F-17 N: 9211370, E: 773151, Cota: 2949 m.s.n.m.	96

	Pág.
Fotografía 62. Vista panorámica de la falla F-17, N: 9213471, E: 773724, Cota: 2969 m.s.n.m.	96
Fotografía 63. Indicadores cinemáticos de F-18, N: 9211478, E: 773257, Cota: 2893 m.s.n.m.	97
Fotografía 64. Vista panorámica de la falla F-18, N: 9213471 E: 773724 Cota:2969 m.s.n.m.	97
Fotografía 65. a) Vista panorámica de la F-19, N: 9211370, E: 773151, Cota:2949 m.s.n.m.	99
Fotografía 66. Indicadores cinemáticos de F-19, N: 9211113 E: 7773350, Cota: 2782 m.s.n.m.	99
Fotografía 67. Vista panorámica de la falla F-20 N: 9211258, E: 773228, Cota:2894 m.s.n.m.	100
Fotografía 68. Indicadores cinemáticos de F-20, N: 9211115, E: 773364, Cota:2768 m.s.n.m.	100
Fotografía 69. Vista panorámica de la falla F-21 N: 9212891, E: 773785, Cota: 2990 m.s.n.m.	101
Fotografía 70. Indicadores cinemáticos F-21, N: 9211803 E: 772780 Cota: 2924 m.s.n.m.	101
Fotografía 71. Vista panorámica de F-22, N: 9212841, E: 773744, Cota: 2955 m.s.n.m.	104
Fotografía 72. Indicadores cinemáticos de F-22 N: 9211807, E: 772776, Cota: 2929 m.s.n.m.	104
Fotografía 73. Vista panorámica de F-23, N: 9212841, E: 773744, Cota: 2955 m.s.n.m.	105
Fotografía 74. Indicadores cinemáticos de F-23 N: 921184, E: 7772731 , Cota: 2952 m.s.n.m.	105
Fotografía 75. Vista panorámica de la falla F-24, N: 9212378, E: 772427, Cota:2933 m.s.n.m.	106

	Pág.
Fotografía 76. Falla normal en Formación Farrat N: 9212415, E: 7772345, Cota: 2964 m.s.n.m.	107
Fotografía 77. Indicadores cinemáticos de F-24.....	107
Fotografía 78. Vista panorámica de la falla F-25 , E:773646, N:9212951, Cota: 2937 m.s.n.m	108
Fotografía 79. Indicadores cinemáticos de F-25, N: 9212350, E: 772312, Cota: 2961 m.s.n.m.	108
Fotografía 80. Vista panorámica de la falla F-26, N: 9212224, E: 772400, Cota:3034 m.s.n.m.	110
Fotografía 81. Indicadores cinemáticos F-26, N: 9212348, E: 772285, Cota: 2966 m.s.n.m.	110
Fotografía 82. Falla sinistral-normal F-27, N: 9212349, E: 772301, Cota: 2964 m.s.n.m.	111
Fotografía 83. Indicadores cinemáticos de F-27, N: 9212349, E: 772303, Cota: 2964 m.s.n.m	111
Fotografía 84. Indicadores cinemáticos de F-28 N: 9212378, E: 772473 , Cota: 2926 m.s.n.m	114
Fotografía 85. Vista panorámica de la falla F-28, N:9212951, E:773646, Cota: 2937 m.s.n.m.	114
Fotografía 86. Vista panorámica de la falla F-29 N: 9212232, E: 772318, Cota:3035 m.s.n.m	115
Fotografía 87. Indicadores cinemáticos de F-19 en Formación Carhuaz N:9212344, E: 772155, Cota:3051 m.s.n.m.....	116
Fotografía 88. Proyección de F-29 en la quebrada Rosamayopata N: 9211038, E: 772623, Cota:2979 m.s.n.m.....	116
Fotografía 89. Falla dextral F-30, N: 9212232, E: 772318, Cota:3035 m.s.n.m.	117
Fotografía 90. Indicadores cinemáticos F-30, N: 9212372, E: 772140, Cota:3056 m.s.n.m.	117

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación establecida a partir de plunge del pliegue.....	13
Tabla 2. Clasificación basada en el buzamiento plano axial.....	14
Tabla 3. Clasificación de fallas usando la inclinación del vector de deslizamiento.	19
Tabla 4. Clasificación de rocas de falla.	21
Tabla 5. Relación entre la forma del tensor de esfuerzos (R'), y el estado de esfuerzos.	28
Tabla 6. Relación entre la forma del tensor de esfuerzos (R), y el estado de esfuerzos	29
Tabla 7. Movimientos deformatorios que han sucedido a nivel regional en la parte Nor - Occidental del Perú. Cajamarca, San Marcos, Cajabamba, etc.....	30
Tabla 9. Accesibilidad del Área de Investigación.....	33
Tabla 10. Clasificación según nivel, diseño, y finalidad de investigación.	36
Tabla 11. Clasificación de las Unidades morfogénicas	48
Tabla 12. Promedio de datos estructurales del anticlinal Huambocancha.....	51
Tabla 13. Clasificación plunge del pliegue.....	55
Tabla 14. Clasificación de buzamiento plano axial.	55
Tabla 15. Clasificación del pliegue Huambocancha Baja.....	56
Tabla 16. Promedio de datos estructurales del anticlinal Llushcapampa.	57
Tabla 17. Clasificación plunge del pliegue.....	59
Tabla 18. Clasificación de buzamiento plano axial.	59
Tabla 19. Clasificación del pliegue Llushcapampa	60
Tabla 20. Promedio de datos estructurales del sinclinal Llagamarca.	61
Tabla 21. Clasificación plunge del pliegue.....	62
Tabla 22. Clasificación de buzamiento plano axial.	63
Tabla 23. Clasificación del pliegue Llushcapampa	63

	Pág.
Tabla 24.	Datos estructurales de la estación F-01.....64
Tabla 25.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-0165
Tabla 26.	Datos estructurales de la estación F-02.....66
Tabla 27.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-0268
Tabla 28.	Datos estructurales de la estación F-03.....68
Tabla 29.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-0369
Tabla 30.	Datos estructurales de la estación F-04.....70
Tabla 31.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-0471
Tabla 32.	Datos estructurales de la F-05.....72
Tabla 33.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-0574
Tabla 34.	Datos estructurales de la estación F-06.....74
Tabla 35.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-0675
Tabla 36.	Datos estructurales de la estación F-07.....76
Tabla 37.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-0777
Tabla 38.	Datos estructurales de la estación F-08.....78
Tabla 39.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-0879
Tabla 40.	Datos estructurales de la estación F-09.....80
Tabla 41.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-0981
Tabla 42.	Datos estructurales de la estación F-10.....82
Tabla 43.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-1083
Tabla 44.	Datos estructurales de la estación F-11.....83
Tabla 45.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-1184
Tabla 46.	Datos estructurales de la estación F-12.....85
Tabla 47.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-1286
Tabla 48.	Datos estructurales de la estación F-13.....87
Tabla 49.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-1388
Tabla 50.	Datos estructurales de la estación F-14.....89

	Pág.
Tabla 51. Datos lineales de los sigmas de la estación F-14	90
Tabla 52. Datos estructurales de la estación F-15.....	91
Tabla 53. Datos lineales de los sigmas de la estación F-15	92
Tabla 54. Datos estructurales de la estación F-16.....	93
Tabla 55. Datos lineales de los sigmas de la estación F-16	94
Tabla 56. Datos estructurales de la estación F-17.....	95
Tabla 57. Datos lineales de los sigmas de la estación F-17	96
Tabla 58. Datos estructurales de la estación F-18.....	96
Tabla 59. Datos lineales de los sigmas de la estación F-18	97
Tabla 60. Datos estructurales de la estación F-19.....	98
Tabla 61. Datos lineales de los sigmas de la estación F-19	99
Tabla 62. Datos estructurales de la estación F-20.....	99
Tabla 63. Datos lineales de los sigmas de la estación F-20	101
Tabla 64. Datos estructurales de la estación F-21.....	101
Tabla 65. Datos lineales de los sigmas de la estación F-21	102
Tabla 66. Datos estructurales de la estación F-22.....	103
Tabla 67. Datos lineales de los sigmas de la estación F-22	104
Tabla 68. Datos estructurales de la estación F-23.....	104
Tabla 69. Datos lineales de los sigmas de la estación F-23	106
Tabla 70. Datos estructurales de la estación F-24.....	106
Tabla 71. Datos lineales de los sigmas de la estación F-24.....	108
Tabla 72. Datos estructurales de la estación F-25.....	108
Tabla 73. Datos lineales de los sigmas de la estación F-25	109
Tabla 74. Datos estructurales de la estación F-26.....	110
Tabla 75. Datos lineales de los sigmas de la estación F-26	111
Tabla 76. Datos estructurales de la estación F-27.....	111
Tabla 77. Datos lineales de los sigmas de la estación F-27	112

	Pág.
Tabla 78.	Datos estructurales de la estación F-28.....113
Tabla 79.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-28114
Tabla 80.	Datos estructurales de la estación F-29.....114
Tabla 81.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-29116
Tabla 82.	Datos estructurales de la estación F-30.....116
Tabla 83.	Datos lineales de los sigmas de la estación F-30117
Tabla 84.	Resumen de estación, esfuerzos y régimen.....123
Tabla 85.	Resumen de datos estructurales del primer evento.124
Tabla 86.	Resumen de datos estructurales del segundo evento.126
Tabla 87.	Datos de esfuerzo del segundo evento.128
Tabla 88.	Resumen de datos estructurales del tercer evento.....128
Tabla 89.	Datos de esfuerzo del tercer evento.130
Tabla 90.	Resumen de datos estructurales del cuarto evento.....130
Tabla 91.	Datos de esfuerzo del cuarto evento.132
Tabla 92.	Resumen de datos estructurales del Quinto evento.....132
Tabla 93.	Datos de esfuerzo del quinto evento.134

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Histograma de precipitación acumulada promedio mensual (mm).35
Gráfico 2.	Histograma de planos, orientación vs frecuencia.120

ABREVIATURAS

D_x	: Falla Dextral.
I_x	: Falla Inversa.
I_xD_x	: Falla Inversa con componente dextral.
I_xS_x	: Falla Inversa con componente sinestral.
F_m	: Formación.
GPS	: Global Positioning System.
G_{po}	: Grupo.
K_m	: Kilómetro.
msnm	: Metros sobre el nivel del mar.
N_x	: Falla Normal.
N_xD_x	: Falla Normal con componente dextral.
N_xS_x	: Falla Normal con componente sinestral.
N	: Norte.
NE	: Nor Este
NW	: Nor Oeste
Pág.	: Página
S	: Sur
SE	: Sur Este
SW	: Sur Oeste
S_x	: Falla Sinestral.
UTM	: Universal Transversal de Mercator
WGS-84	: World Geodetic System 1984
σ_1	: Esfuerzo principal mayor
σ_2	: Esfuerzo principal intermedio
σ_3	: Esfuerzo principal menor

RESUMEN

El área de investigación situada en el centro poblado de Huambocancha Baja, provincia de Cajamarca, compuesta de unidades litológicas Cretácico inferior, Paleogenas, Neogenas, presentan diversas estructuras geológicas las cuales es importante conocer su génesis. Para entender ello se realizó un análisis el comportamiento estructural en el cual se identificó las estructuras tectónicas: Pliegues, Fallas del cuales determinaron los indicadores cinemáticos a través del desarrollo del cartografiado geológico – estructural, con dicha información se estableció las direcciones de los paleoesfuerzos. Identificándose 5 eventos: Primer evento compresional NE-SW, responsable del plegamiento de la secuencia cretácica, relacionada a la Fase Tectónica Inca I. Segundo evento compresional NE-SW, formador de las fallas inversas regiones y desacople cortical a nivel de las lutitas de la Formación Chicama, correlacionado con la Fase Tectónica Inca II. Tercer evento transtensional NE-SW, fallas del segundo evento se reactivaron con componente cizallante y se vincula a la Fase Tectónica Inca IV. Cuarto evento distensional N-S. se formaron fallas normales E-W, por lo que genero un Horts paralelo a la orientación de la extensión, correlaciona con Fase Tectónica Quechua I. Quinto evento distensivo NE-SW. encargado de la generación de fallas normales NW-SE que formaron graben, erosionando la charnela del pliegue de Huambocancha, dando lugar a la cuenca intramotañosa de Cajamarca (sector norte), y se asocia a la Fase Tectonica Quechua II.

Palabras Claves: Estructuras, evento, comportamiento estructural, paleoesfuerzo. indicadores cinemáticos

ABSTRACT

The research area located in the town center of Huambocancha Baja, province of Cajamarca, composed of Lower Cretaceous, Paleogene, and Neogen lithological units, present various geological structures which it is important to know their genesis. To understand this, an analysis of the structural behavior was carried out in which the tectonic structures were identified: Folds, Faults of which the kinematic indicators were determined through the development of geological-structural mapping, with this information the directions of the paleostresses were developed. Identifying 5 events: First NE-SW compressional event, responsible for the folding of the Cretaceous sequence, related to the Inca Tectonic Phase I. Second NE-SW compressional event, forming the reverse fault regions and cortical decoupling at the level of the shales of the Chicama Formation, correlated with the Inca Tectonic Phase II. Third NE-SW transtensional event, faults of the second event were reactivated with a shear component and are linked to the Inca Tectonic Phase IV. Fourth N-S distension event. E-W normal faults were formed, which generated a Horts parallel to the orientation of the extension, correlating with Quechua Tectonic Phase I. Fifth NE-SW distensional event. responsible for the generation of NW-SE normal faults that formed graben, eroding the hinge of the Huambocancha fold, giving rise to the intramountain basin of Cajamarca (northern sector), and is associated with the Quechua Tectonic Phase II.

Keywords: Structures, event, structural behavior, paleostress kinematic indicators

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de sistemas de cizalla en la tectónica Andina, ha influenciado el norte del Perú, las cuales se relacionan con el sistema de fallas regionales de rumbo andino, que se disponen en función de la convergencia oblicua de las placas tectónicas, teniendo un factor de rumbo con relación a la transversal andina, se considera que estas son expresiones estructurales secundarias son de rumbo andino (Torres *et al.* 2020)

El área de investigación se ubica en el distrito Cajamarca, al noroeste de la ciudad de Cajamarca, compuesta por unidades litológicas del Cretácico Inferior, las que han sido sometidas a los esfuerzos tectónicos generando fallas y pliegues asociado a un evento tectónico compresivo. Las cuales no tienen registro de un estudio detallado en base al comportamiento cinemático.

Teniendo en cuenta estas características, de allí la importancia de realizar un análisis estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja que comprende un área de 7.3 Km², haciendo usos de fichas, formatos, software, en empleando ello se determinará, la geometría, el tipo de movimiento y clasificarlos, por lo cual es necesario la recopilación de información, desarrollo de un cartografiado geológico – estructural haciendo uso de software ArcGIS v. 10.5, Faultkin v. 8.1 y Stereonet v. 11.4, Además, de una contribución informativa a los profesionales de las ciencias interesadas en realizar estudios afines.

Formulación del problema

De acuerdo a lo expuesto en el planteamiento del problema se ha formulado la siguiente incógnita. ¿Cuál es el comportamiento estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja?

Hipótesis

El comportamiento estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja, presentan indicadores cinemáticos que muestran a las estructuras geológicas influenciadas por los paleoesfuerzos que siguieron la dirección SW-NE formando diaclasas, fallas y pliegues, generados por eventos tectónicos compresivo por la orogenia andina, la que concuerda con la subducción de la placa de nazca debajo de la sudamericana.

Justificación

El presente trabajo tiene como finalidad, entender el comportamiento estructural rocas sedimentarias en el centro poblado de Huambocancha Baja, lo que conlleva a realizar un estudio detallado de las estructuras geológicas, además de que sirva como apoyo en posteriores investigaciones científicas de carácter geológico.

Alcances o delimitación de la investigación

Con el propósito de evaluar el comportamiento estructural de las rocas en el centro poblado de Huambocancha Baja, se ha delimitado de la siguiente manera.

Delimitación espacial: Las formaciones litológicas en el centro poblado de Huambocancha Baja, Cajamarca, abarcando un área de 7.3 km²

Delimitación temporal: El trabajo se realizará entre los meses de junio del 2022 a octubre del 2024.

Objetivos

General

Analizar el comportamiento estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja.

Específicos

Realizar el cartografiado geológico-estructural

Identificar las estructuras geológicas.

Establecer la dirección de los paleoesfuerzos.

Determinar los indicadores cinemáticos.

Descripción de contenidos

La investigación se ha dividido en cinco capítulos; como Capítulo I tenemos la Introducción, donde se presenta el planteamiento del problema de investigación, la formulación del mismo, la hipótesis, los alcances de la investigación, las limitaciones, y los objetivos del proyecto. En el Capítulo II que corresponde al Marco Teórico, contiene los antecedentes teóricos de la investigación, las bases teóricas usadas, y la definición de los términos básicos que se han usado en la investigación. En el Capítulo III correspondiente a los materiales y métodos se describe el procedimiento utilizado en la investigación, los instrumentos de recolección de datos empleados y los resultados obtenidos. En el Capítulo IV corresponde al análisis y discusión de resultados que presenta la interpretación de los resultados obtenidos de la investigación. En el V y último capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado después de la elaboración de la investigación final.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Teóricos

2.1.1 Antecedentes internacionales

Garcia y Jimenéz (2015), en su investigación sobre el análisis estructural del Anticlinal de Zipaquiráun, a partir de una revisión cartográfica, datos cinemáticos, de fracturas y secciones transversales plantea la evolución cinemática del pliegue, calculando el tensor de esfuerzos, demostrando un ambiente distensivo. Además, deduce una evolución cinemática compleja, lo cual indica el inicio de la deformación pre-andina, el levantamiento de bloques separados y controlados estructuralmente.

Forero-Ortega, *et al* (2020) en su trabajo estilos estructurales y tensores de esfuerzos hacia el suroriente del Macizo de Santander (Colombia). En base al análisis de la cartografía geológica, tratamiento de datos de diaclasas y tensores de esfuerzos determinados con planos estriados de fallas, se distinguieron tres direcciones de máxima compresión horizontal, relacionados con la influencia en la zona de estructuras regionales, los cuales soportan los distintos estilos de deformación.

Frías-Saba, *et al* (2021) en su estudio análisis geométrico y cinemático del anticlinal Chos Malal, provincia del Neuquén, realizó un mapa geológico detallado y dos secciones estructurales F-O para reconocer y diferenciar los dominios de buzamiento, en base a estos parámetros, se reconstruyó la estructura completa utilizando el modelo de pliegue. Por lo que el pliegue es asimétrico, cerrado, volcado hacia el oeste. El análisis del patrón de fracturación muestra los juegos de diaclasas: N-S, E-O, NE-SO y ONO-ESE. Compatibles con un esfuerzo máximo compresivo (σ_1) en dirección E-O.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Becerra (2017), en su tesis de caracterización estructural de la cuenca mesozoica Arequipa en Pachía (36v) y Palca (36x) mediante análisis microtectónico e integración con información sísmica del subsuelo, recoge las evidencias de paleoesfuerzos en las rocas, con el fin de conocer el estilo de deformación, integrando con información sísmica del Offshore, analizadas e interpretadas en el Software FaultKin. Concluyendo que inicialmente tuvo un régimen distensivo, esto se corrobora los datos de microtectónica tomados en rocas mesozoicas en los cuadrángulos de Pachía (36-v) y Palca (36-x).

Alaya (2021), en su trabajo sobre la influencia de la tectónica cenozoica del antearco peruano en el mecanismo de deformación del Morro Solar mediante el análisis estructural, para determinar ello, llevó a cabo la revisión de la cartografía geológica junto con un análisis las poblaciones de estructuras extensionales, compresionales y de desgarre, así como estrías y marcas de arrastre tectónico, estudiadas mediante el Método de los Diedros Rectos y modelamiento estructural 2D-3D. por ende el mecanismo de deformación es propuesto como el resultado de cinemáticas oblicuas de desgarre con componente extensional dentro de un modelo de cizalla simple.

Benavente y Delgado (2012), en su investigación sobre falla Amaru: tectónica activa y paleoesfuerzos en el altiplano sur peruano. Establecer la importancia en el contexto tectónico, a su vez hace una análisis morfológico, geométrico y cinemático de los escarpes del sector central a partir del análisis poblacional de fallas, análisis de familias de estrías y cálculo de tensores de esfuerzos en el programa FaultKin. el cual sugiere una cronología de esfuerzos para los últimos 5 Ma y un estilo de deformación compresional.

2.1.3 Antecedentes locales

Cerdan (2018), en su tesis. Para lo cual realizó el cartografiado geológico, analizó el comportamiento las rocas, interpretó secciones geológicas, y finalmente definió la configuración estructural, llegando a la conclusión de que la deformación está influenciada por las estructuras que lo generan, así como por el comportamiento geomecánico de las rocas que experimentan la deformación.

Mantilla (2022), en sus estudio llamado geología estructural y su relación con los mantos de carbón en el distrito de Pedro Galvez y alrededores, de la provincia de San Marcos, realizo el estudio geológico orientado a la determinación de las estructuras tectónicas del entorno geológico, utilizando analisis cinematico identificó la relación de estructuras principales, dominantes y secundarias, encontrando así que el principal esfuerzo está siguiendo el lineamiento del ciclo andino, con orientación NW – SE.

Requelme (2021), en su investigación denominada caracterización estructural del sinclinal de Llullapuquio y su relación en la intrusión del pórfido Colpayoc, Cajamarca, desarrolló un modelo de evolución de la deformación e intrusión, se concluyó que el sinclinal Llullapuquio tuvo dos mecanismos de deformación y los indicadores cinemáticos determinó que las fallas con desplazamiento normal presentan componente sinestral, siendo estas las que controlan la intrusión.

Sousa (2016), en su tesis denominada caracterización litológica y estructural de los Volcánicos Huambos en las localidades de Lluscapampa y Los Alisos-Cajamarca determina un sistema de fracturas de compresión y distensión relacionadas a una etapa de relajación posterior a la tectónica Incaica definiéndose un alineamiento estructural de los cuerpos intrusivos andesíticos de orientación NE- SW (orientación trasandina) denominándose corredor Lluscapampa- Los Alisos.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Fuerza

Vector que produce un cambio en la velocidad o dirección de movimiento de un cuerpo que puede estar estacionario o ya en movimiento. La segunda ley del movimiento de Newton establece que:

$$F = ma$$

donde F es fuerza (un vector), m es masa (un escalar) y a es aceleración (también un vector). Las fuerzas del cuerpo actúan por igual en todas las partes de un cuerpo.

2.2.2 Esfuerzo

El esfuerzo se define como la reacción interna de un cuerpo a la aplicación de una fuerza o conjunto de fuerzas, y es una cantidad que no se puede medir directamente, ya que el parámetro físico que se mide es la fuerza (González, 2002).

Si definimos un plano P en una masa de roca sometida a una tensión vertical σ , la tensión a través de una pequeña parte del plano se puede escribir como:

$$\sigma = \Delta F / \Delta A$$

Hatcher y Bailey (2020) indican que el esfuerzo en cualquier plano de una masa de roca, particularmente cerca de la superficie, es probable que varíe de un lugar a otro en el plano, ya sea porque la cantidad de sobrecarga varía o porque el plano está inclinado hacia la superficie.

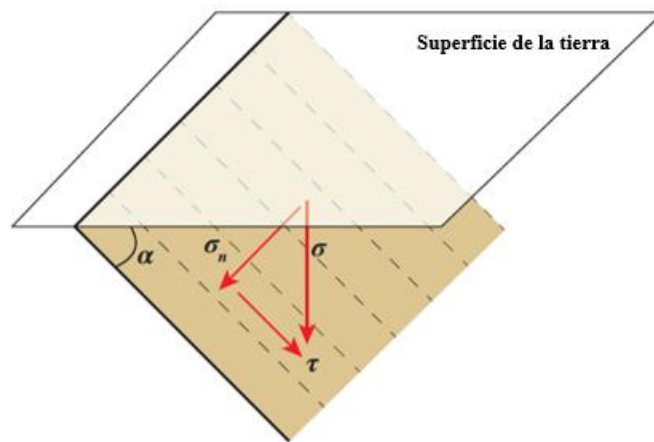


Figura 1. Vectores de esfuerzo que actúan sobre un plano inclinado, σ es el componente vertical de la tensión resuelta en componentes normales (σ_n) y de cizallamiento (τ).

Fuente: Adaptado de Hatcher y Bailey, (2020).

Lillo y Oyarzun (2013), consideran para un volumen infinitesimal en donde el esfuerzo resultante podemos escribirlo como una matriz, conocida como tensor de esfuerzos, de manera que este tensor representaría el esfuerzo resultante en ese punto. Las componentes ortogonales a las superficies son los llamados esfuerzos normales (σ_n). Las componentes paralelas a las superficies, son los esfuerzos tangenciales o de cizalla (τ).

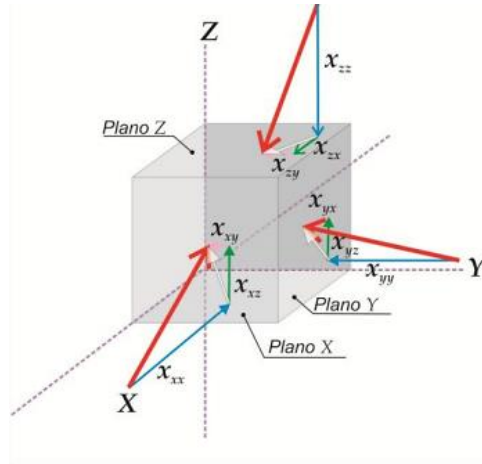


Figura 2. Tensor de esfuerzos
Fuente: Tomado de Lillo y Oyarzun, (2013).

Elipse de esfuerzos

Los cuatro vectores son los esfuerzos principales, que son perpendiculares entre sí y se designan σ_1 , para el par con mayor magnitud y σ_3 , para el par con menor magnitud. Las direcciones de los esfuerzos principales se conocen como direcciones de los esfuerzos principales y los planos normales a las direcciones de los esfuerzos principales son llamados planos principales de esfuerzo (Figura 3).

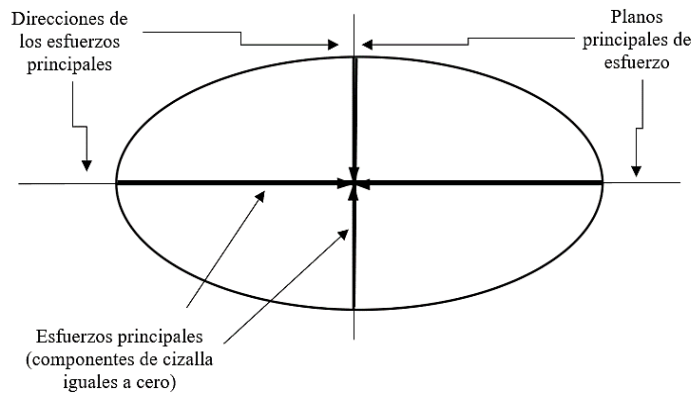


Figura 3. Elipse de esfuerzo y sus partes principales.
Fuente: Adaptado de Padilla, (2021).

Los vectores de esfuerzo alrededor de un punto en tres dimensiones, definen al llamado elipsoide de esfuerzo, análogo a la elipse de esfuerzo, pero con tres ejes perpendiculares entre sí. Los tres esfuerzos principales se denominan $\vec{\sigma}_1$, $\vec{\sigma}_2$ y $\vec{\sigma}_3$ y sus magnitudes $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 > 0$.

las tres secciones de un elipsoide de esfuerzo en donde $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Este caso es el más común en la naturaleza, en la que casi siempre las magnitudes de los esfuerzos principales son diferentes entre sí y mayores que cero. (Padilla, 2021)

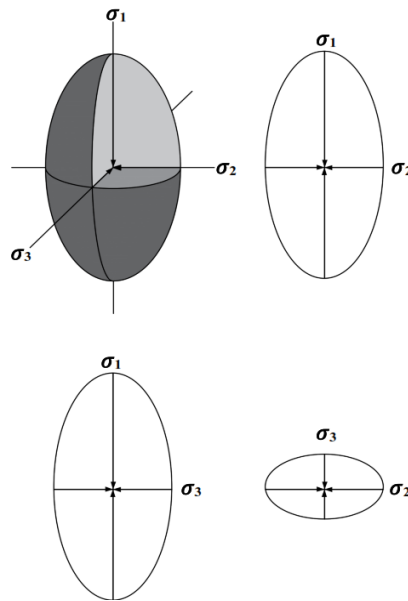


Figura 4. Elipsoide de esfuerzo y sus planos principales.
Fuente: Adaptado de Padilla (2021).

2.2.3 Deformación

Según García (2012), son cambios en la forma y volumen que experimentan las rocas como resultado del esfuerzo aplicado. La deformación se produce cuando la intensidad del esfuerzo es mayor que la resistencia interna de la roca. Tipos de deformación son: deformación frágil cuando las rocas se fracturan formando diaclasas y fallas; deformación dúctil cuando los materiales se deforman plegándose. Dependiendo del comportamiento de la roca.

2.2.4 Fracturas

La rotura siempre se asocia a la formación de discontinuidades, que pueden manifestarse como planos de fractura, o bien como un conjunto de numerosos planos de discontinuidad, que definen una zona de rotura o fractura. Pero no siempre el material tiene un comportamiento frágil, otras veces, presenta un comportamiento frágil-dúctil o dúctil, produciendo una zona con intensa deformación, que implica fenómenos de reorientación, disolución y recristalización mineral (Lillo y Oyarzun, 2013).

De acuerdo con Van der Pluijm y Marshak (2004), existen tres modos diferentes de desplazamiento de la superficie de las fracturas. Modo I son fracturas de tensión, se abren muy levemente en la dirección perpendicular a la superficie de la fractura, así mismo se forman paralelos al plano principal de tensión que es perpendicular a la dirección σ_3 y pueden crecer en su plano sin cambiar de orientación. Modo II (el modo deslizante), el bloque de un lado de la superficie de la fractura se mueve muy levemente en la dirección paralela a la misma y perpendicular al frente. Modo III (el modo de desgarrar), el bloque de un lado de la fractura se desliza muy levemente paralela a la fractura, pero en una dirección paralela al frente.

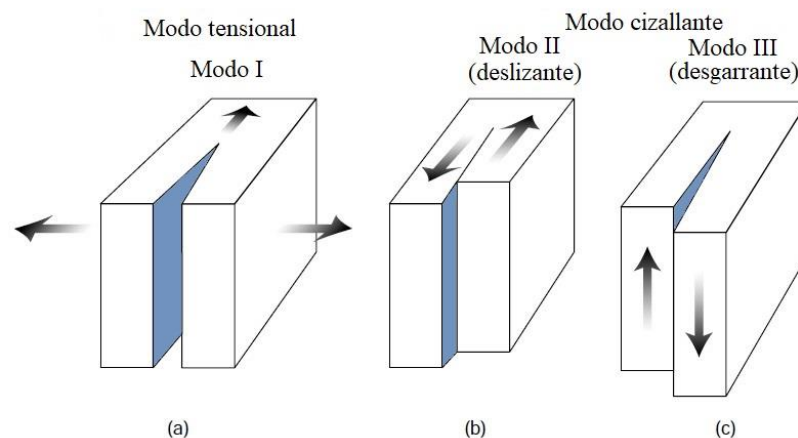


Figura 5. Block diagrama ilustrando los tres modelos de fracturas, (a) Modelo I, (b) Modelo II, (c) Modelo III. Modelo I formado por fractura extensión, Modelo II y Modelo III son fracturas por cizallamiento.

Fuente: Adaptado Van der Pluijm y Marshak, (2004).

2.2.5 Pliegues

Es una estructura secundaria resultado de deformación dúctil heterogénea, la cual se manifiesta como una o varias ondulaciones de sus elementos originales, cuando esto ocurre, las rocas experimentan una modificación en su geometría (Arellano *et al.* 2002). Según Ruiz (2017), los elementos de los pliegues son los siguientes:

1. Flancos o limbo: Partes de la superficie plegada comprendidas entre dos zonas de charnelas sucesivas.
2. Línea de charnela: Línea de máxima curvatura de la superficie plegada.

3. Eje de pliegue. Línea imaginaria, que moviéndose paralelamente a sí misma en el espacio, genera la superficie plegada. Tiene orientación, pero no localización. En pliegues cilíndricos coincide con la línea de charnela.

4. Superficie axial o Plano axial: Superficie que contiene a las sucesivas líneas de charnela de todos los estratos plegados.

5. Ángulo interlimbo o interflanco: Ángulo que forman entre sí los dos flancos del pliegue, medido en un plano perpendicular a ellos., es el que contiene al plano axial del pliegue. Si no se conoce la orientación del plano axial, se asimila al plano bisector de este ángulo en una de sus dos posibilidades: mayor o menor de 90° .

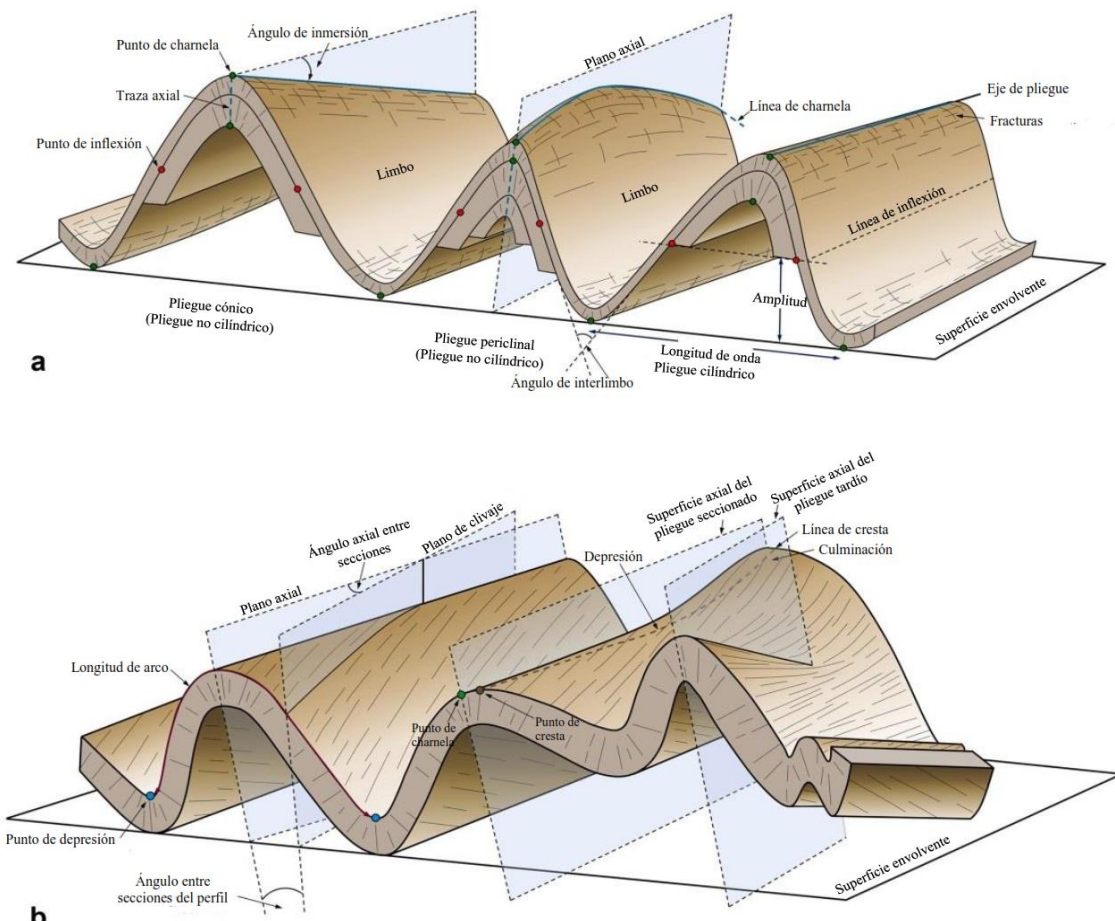


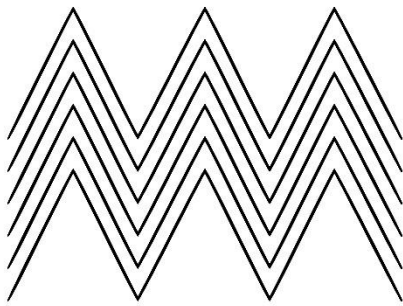
Figura 6. a) Parámetros geométricos de pliegues cilíndricos y no cilíndricos, b) La relación entre plano de clivaje, superficie axial y superficie envolvente en pliegues con clivaje transecto y pliegue transecto.

Fuente: Adaptado de Nabavi y Fossen, (2021).

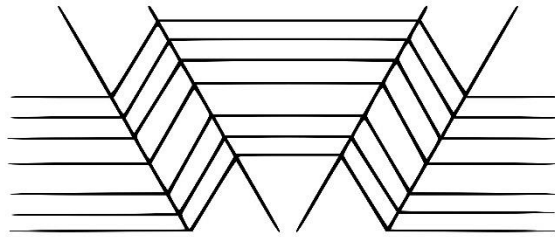
Clasificación geométrica de pliegues

Los pliegues pueden analizarse geoméricamente como un conjunto de capas con espesor variable definido por algún atributo geométrico, o la forma de un conjunto de superficies descritas como una función geométrica. Las descripciones geométricas de pliegues van más allá de las descripciones básicas del buzamiento de flancos, de línea de charnela, etc., pero tales descripciones generalmente forman la base de una descripción estructural que es independiente de cualquier concepto geodinámico.

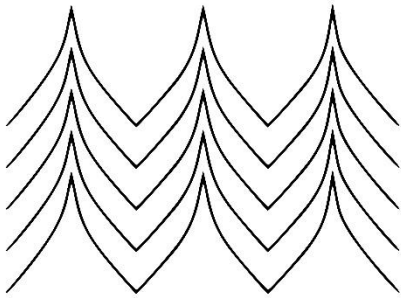
Líneas de charnela



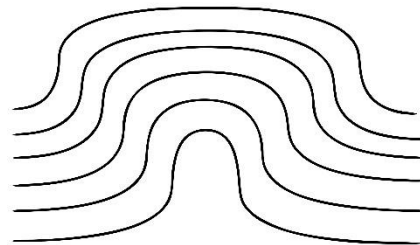
Chevron folds (Pliegue Chevron)



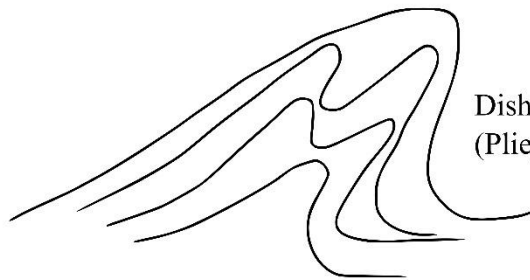
Kink Bands (Bandas deformadas)



Cuspate folds (Pliegue en Cúspide)



Box folds (Pliegue en Cofre)



Disharmonic fold
(Pliegue Disharmonico)

Figura 7. Clasificación de pliegues en función de las líneas de charnela,
Fuente: Adaptado de (Allmendinger, 1999)

Ángulo interlimbo

Como señala Tremlett (1976), es el ángulo mínimo entre los flancos medido en el perfil perpendicular al eje del pliegue. Por medio del ángulo entre los flancos se puede describir y diferenciar entre los siguientes tipos de pliegues: suave ($180^\circ > \theta > 120^\circ$), abierto ($120^\circ \geq \theta > 70^\circ$), cerrado ($70^\circ \geq \theta > 30^\circ$), apretado ($30^\circ \geq \theta > 0^\circ$), isoclinal ($\theta \approx 0^\circ$) (Fleuty 1964) y elasticas o hongo ($\theta < 0^\circ$ o menos de -3°).

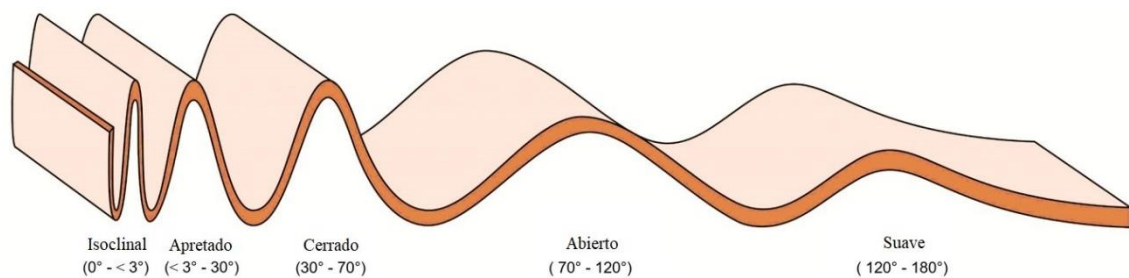


Figura 8. Clasificación de pliegues geométricos basada en el ángulo entre limbo.
Fuente: Adaptado de Nabavi y Fossen, (2021).

Orientación de pliegues

Los pliegues se clasifican sobre la base del buzamiento de la superficie axial y la inmersión del eje de plegado. Estos atributos son independientes de la curvatura y el ángulo entre los flancos.

Los estereogramas en la figura 8, representan ejemplos de diferentes clases de pliegues. La orientación de la superficie axial se representa mediante un gran círculo a lo largo del cual se traza la línea de la charnela del pliegue (Lisle y Leyshon, 2004).

Tabla 1. Clasificación establecida a partir de plunge del pliegue.

Inmersión (Plunge)	Clase	Estereogramas
0 – 10 °	No buzante	1,2,3 y 4
10° - 30 °	Buzando suavemente	5, 6 y 7
30 ° - 60 °	Buzando moderadamente	
60 ° - 80 °	Buzando fuertemente	8 y 9
80° - 90 °	Pliegue vertical	10

Fuente: Tomado de Lisle y Leyshon, (2004).

Tabla 2. Clasificación basada en el buzamiento plano axial.

<i>Buzamiento</i>	<i>Clase</i>	<i>Estereogramas</i>
0 – 10 °	Tumbado	4
10° - 30 °	Suavemente inclinado	3 y 7
30 ° - 60 °	Ligeramente inclinado	
60 ° - 80 °	Fuertemente inclinado	2,6 y 9
80° - 90 °	Pliegue recto (vertical)	1,5,8 y 10

Fuente: Tomado de Lisle y Leyshon, (2004).

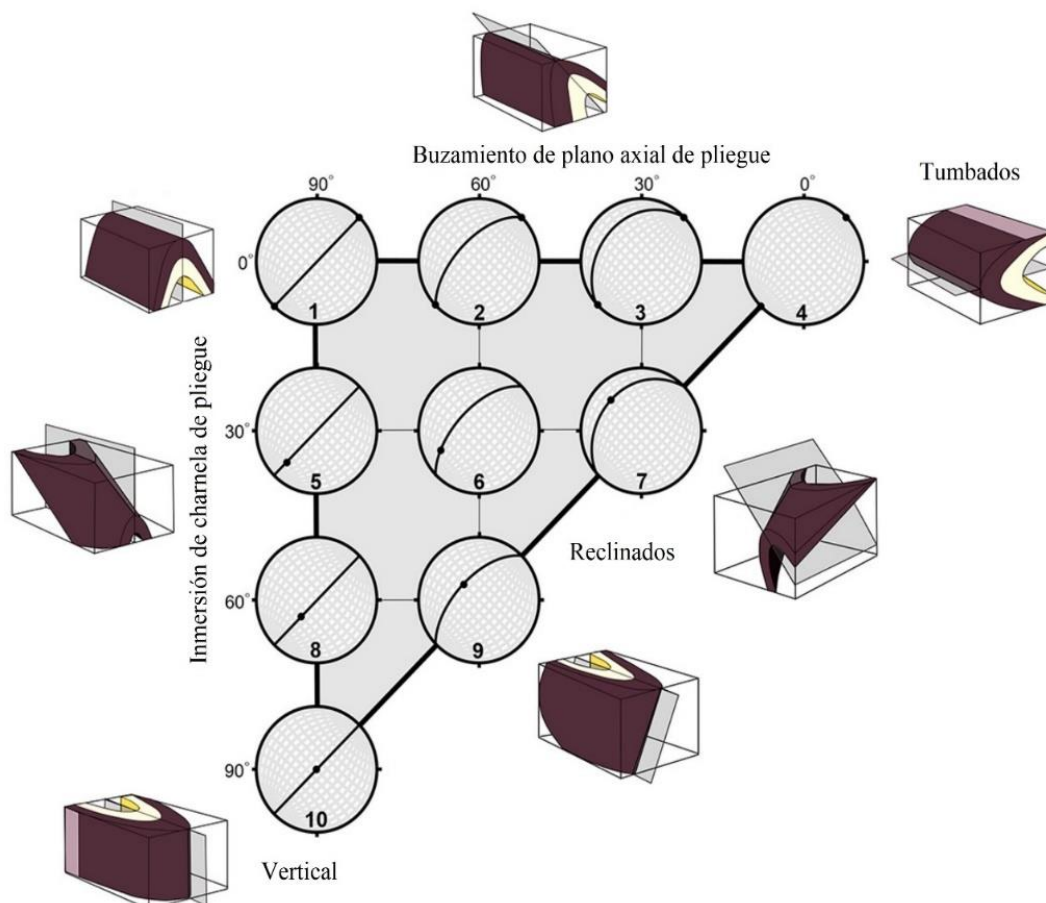


Figura 9. Estereogramas para la clasificación de los pliegues basada en la inmersión y en el buzamiento de la superficie axial.

Fuente: Adaptado de Nabavi y Fossen, (2021).

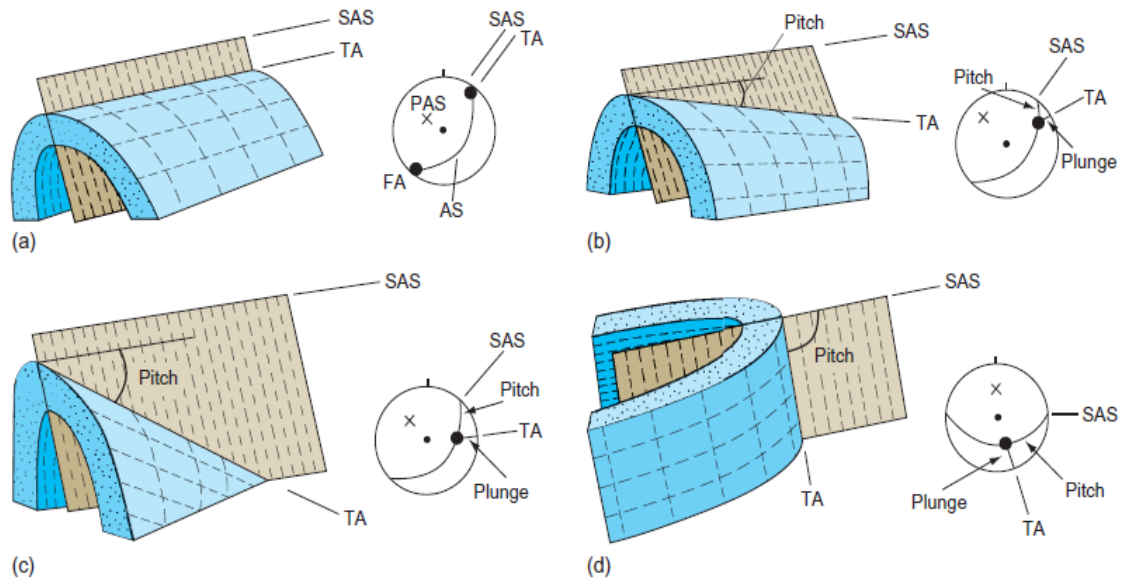


Figura 10. Orientación de la superficie axial y restricciones en la orientación del eje de pliegue en cero (a), intermedio (b y c) y caída pronunciada (d). PAS: polo a superficie axial indicada por una x en todos los diagramas de tejido. AS: superficie axial. FA: eje de plegado. TA: tendencia del eje. SAS: golpe de superficie axial.

Fuente: Tomado de Hatcher y Bailey, (2020).

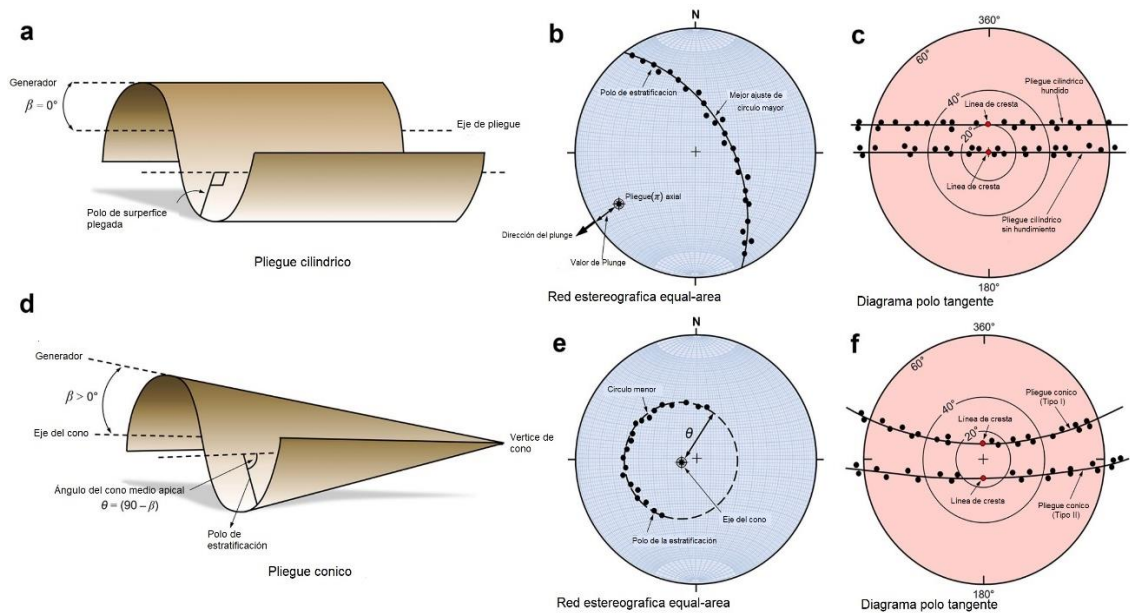


Figura 11. a) Capa plegada cilíndrica. b) Red de Schmidt para un pliegue cilíndrico. c) Diagrama polar tangente de capa en pliegues cilíndricos hundidos y no hundidos. d) Capa plegada cónica. e) Red de Schmidt de una superficie plegada cónica. c) Diagrama polar tangente de capa en pliegues cónicos Tipo-I y Tipo-II

Fuente: Adaptado de Nabavi y Fossen, (2021).

Sistemas de fracturas asociadas al plegamiento.

Según Twiss y Moores (2007), manifiesta que teniendo en cuenta el rumbo y buzamiento de una capa plegada que contiene fracturas a partir de las cuales se pueden determinar los tres ejes a, b y c, ortogonales entre sí, que forman la base de la clasificación de fracturas tensionales y en cizalla. El eje (a) es paralelo al echado en la estratificación, el eje (b) es paralelo al rumbo de la capa y al eje del pliegue y el eje (c) es en todas partes perpendicular a la capa. El plano de fractura que contiene al eje a y c es llamada fractura ac; la fractura b y c es llamada fractura bc y la fractura a y b es llamada ab (ésta última paralela a la estratificación).

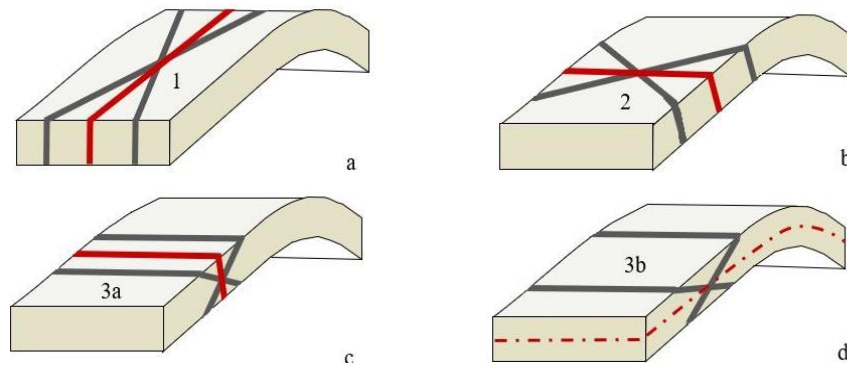


Figura 12. Esquema que muestra una generalización de los principales tipos de fracturas relacionadas con el plegamiento.

Fuente: Tomado de Stearns, (1968).

Estos tipos de fracturas son catalogadas como fracturas de tensión. Del mismo modo, las fracturas de cizalla se forman en planos conjugados con un ángulo de 60° entre sí. Se denotan por h, k, l que en un sistema de coordenadas ortogonal serían a, b y c respectivamente. Se asigna un 0 al eje paralelo a la línea definida por la intersección de los planos de fractura y posteriormente, se indica el eje contenido en el ángulo agudo (zona de máximo esfuerzo de compresión (σ_1)) que definen el par conjugado de fracturas. Las fracturas de cizalla se generan 6 diferentes tipos de fracturas: hk0 con ángulo agudo al eje a, hk0 con ángulo agudo al eje b, h0l con ángulo agudo al eje a, h0l con ángulo agudo al eje c, 0kl con ángulo agudo al eje b y 0kl con ángulo agudo al eje c (Ruiz, 2017).

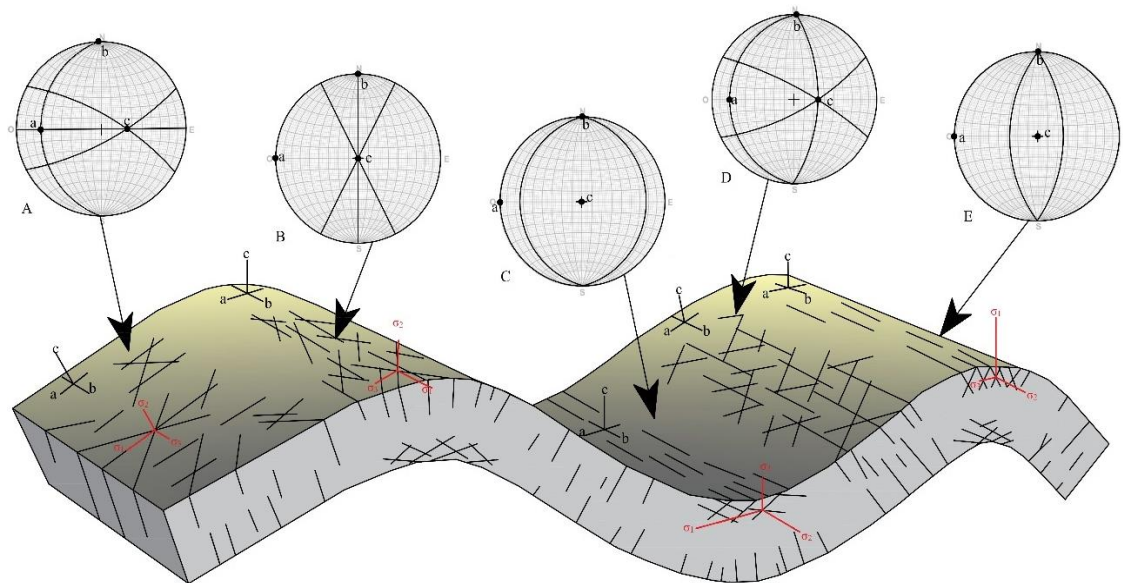


Figura 13. Esquema que muestra fracturas asociadas a un pliegue. Se muestra también la posición de las fracturas en una proyección estereográfica.
Fuente: Adaptado de Twiss y Moores, (2007).

2.2.6 Falla

Es una fractura discreta entre bloques de roca desplazados entre sí, en una dirección paralela al plano de fractura. La zona de falla es una región que contiene varias bifurcación y reconexión entre fallas. Los mapas geológicos generalmente muestran solo fallas que afectan el patrón de afloramiento (Burg, 2020).

Es una superficie de discontinuidades planares a lo largo de las cuales ha ocurrido un desplazamiento significativo. Generalmente se forman en los 10-15 km superiores de la corteza (McClay, 1987).

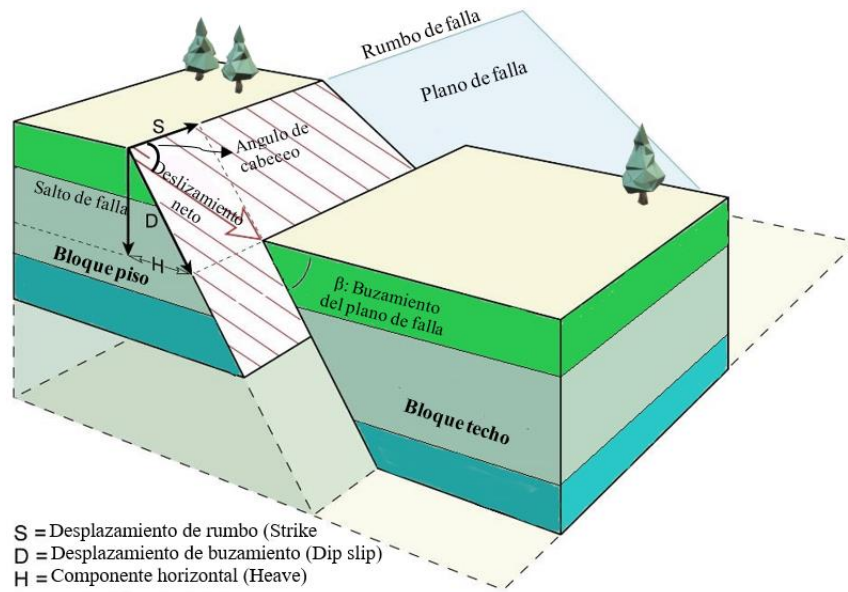


Figura 14. Geometría de falla con componentes relativos de movimiento.
Fuente: Adaptado de Burg, (2020).

Clasificación geométrica

La clasificación de fallas y zonas de cizalla se basa en dos parámetros: ángulo de inclinación del vector de deslizamiento y sentido de deslizamiento (o cizalla). Van der Pluijm y Marshak (2004) describen el sentido de corte en las fallas vertical con referencia a una línea horizontal da lugar a, las fallas normales con movimiento de hacia abajo del bloque pared techo, y las fallas inversas con desplazamiento hacia arriba del bloque pared piso. Para definir el sentido de deslizamiento en una falla de rumbo, se debe de tener en cuenta si la pared opuesta de la falla se mueve hacia la derecha, la falla es lateral derecha o dextral, y si la pared opuesta de la falla se mueve hacia la izquierda, la falla es lateral izquierda o sinistral; Las fallas de deslizamiento oblicuo son: de inmersión deslizamiento vertical, y si el componente de deslizamiento de rumbo dextral o sinistral.

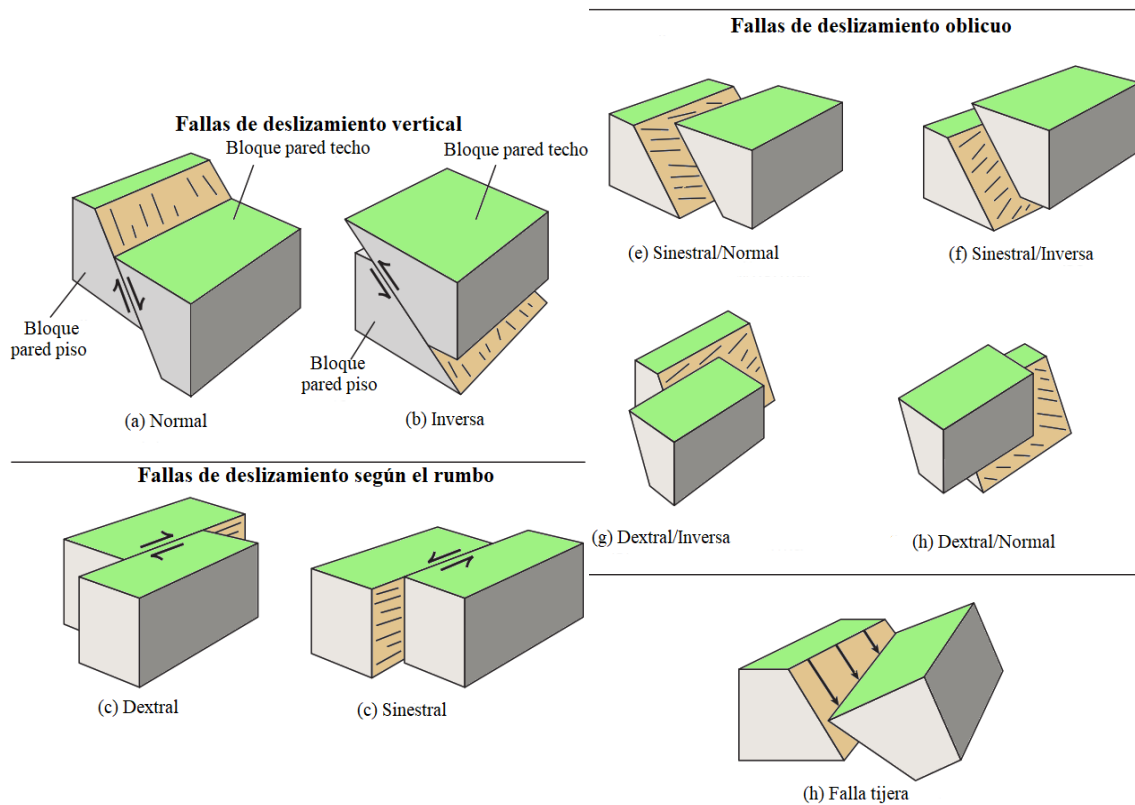


Figura 15. Block diagrama de los diferentes tipos de fallas.
Fuente: Adaptado de Van der Pluijm y Marshak; (2004).

Así mismo Nelson (2011), muestra un sistema de clasificación de fallas usando la regla de la mano derecha de inclinación del vector de deslizamiento. La terminología de falla de deslizamiento oblicuo (oblique slip) combinada con un descriptor de cada componente. Ejemplo: falla sinistral-normal.

Tabla 3. Clasificación de fallas usando la inclinación del vector de deslizamiento.

<i>Inclinación del vector de deslizamiento</i>	<i>Tipo de falla</i>
0-20°	Deslizamiento de rumbo (strike slip)
20-70°	Deslizamiento oblicuo (oblique slip)
70-90°	Deslizamiento vertical (dip slip)

Fuente: Tomada de Nelson, (2011).

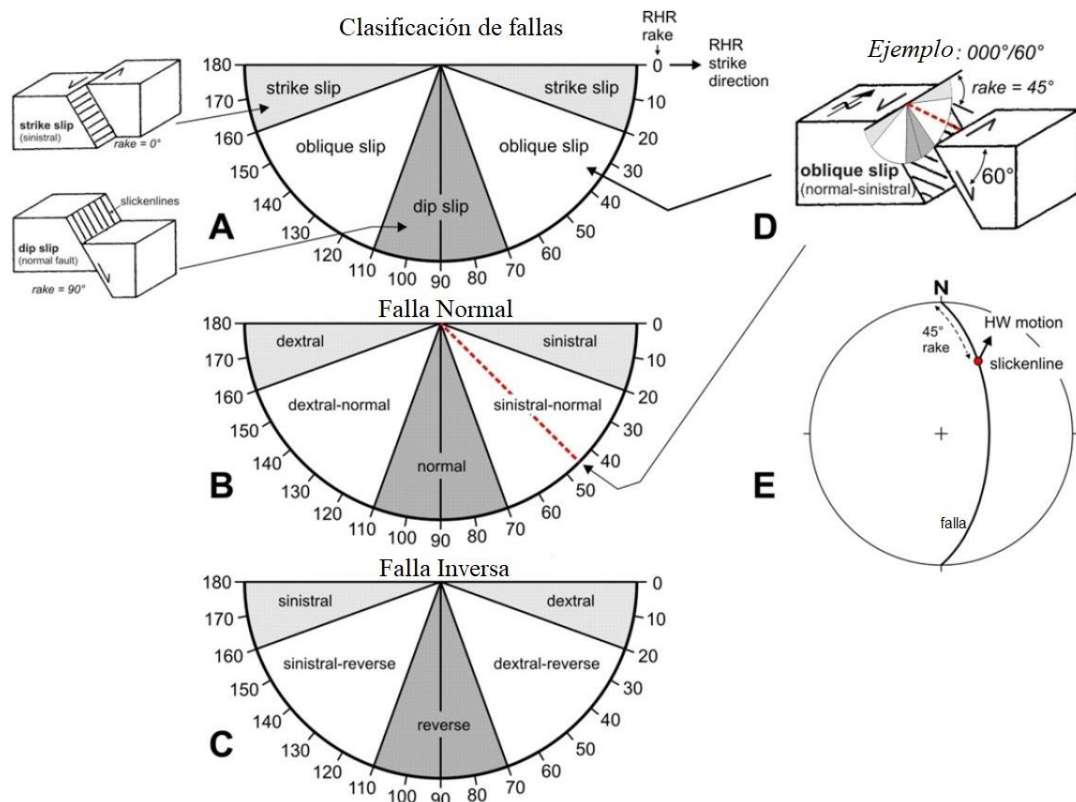


Figura 16. A. Clasificación general de fallas en base al ángulo de rake. B. Componente de deslizamiento normal. C. Componente de deslizamiento inverso. D. Diagrama de bloques mostrando un ejemplo de falla oblicua-slip. E. Estereograma que muestra un ejemplo de falla y línea de corte.

Fuente: Tomada de Nelson, (2011).

Zona de falla

La brecha de falla es un producto común a lo largo de las zonas de falla de la corteza superior, particularmente en los primeros kilómetros de la corteza, donde el potencial de tensión dilatacional aumenta el rango de procesos de formación de brecha. Además, al menos el 30 % de su volumen son clastos de más de 2 mm de diámetro, puede ser cohesiva o no cohesiva, foliada o no, y puede contener pequeños clastos, una matriz de grano fino o un cemento cristalino en cualquier proporción relativa. Las rocas de falla de grano fino, con menos del 30 % de clastos o porfiroclastos mayores de 2 mm, comprenden principalmente las series milonita y cataclasita. Sin embargo, el término gogoe de falla se conserva para el material de grano fino que no es cohesivo en el afloramiento actual (Woodcock y Mort, 2008).

Tabla 4. Clasificación de rocas de falla.

			No foliado		Foliado
>30% clastos grandes >2mm	75-100% clastos grandes (>2mm)		Brecha de falla	Brecha Crackle	
	60-75% clastos grandes (>2mm)			Brecha de mosaico	
	30-60% clastos grandes (>2mm)			Brecha caótica	
<30% clastos >2mm	No cohesivo		Fault gouge		
	Cohesivo	Vidrio o vidrio desvitrificado	Pseudotaquilita		
		0-50% matriz (<0,1mm)	Protocataclasita		Protomilonita
		50-90% matriz (<0,1mm)	(Meso) Cataclastico		(Meso) Milonita
		90-100% matriz (<0,1mm)	Ultracataclastico		Ultramilonita
		Crecimiento de grano pronunciado			Blastomilonita

Fuente: Tomado de Woodcock y Mort, (2008).

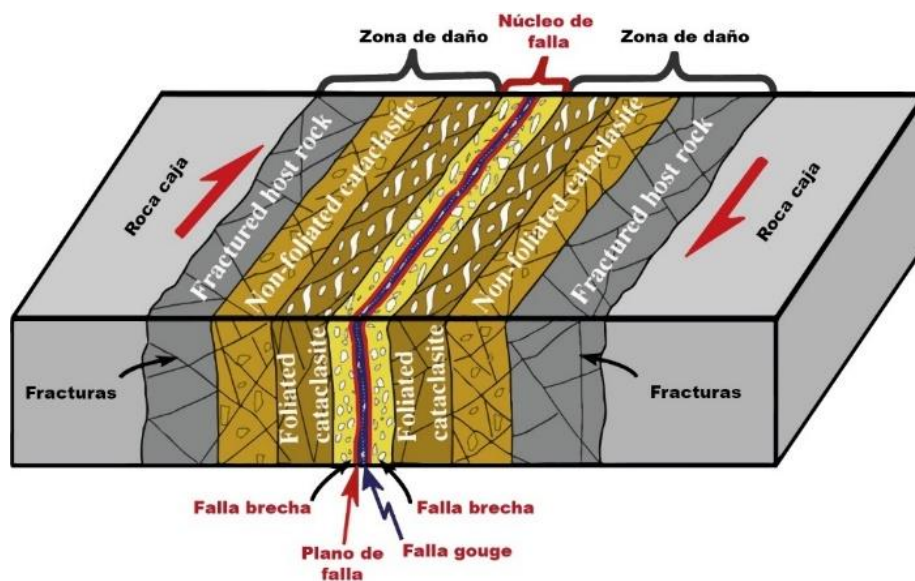


Figura 17. Modelo esquemático de una zona de núcleo de falla y una zona de daño dentro de una zona de falla de rumbo.

Fuente: Tomado de Lin y Yamashita, (2013).

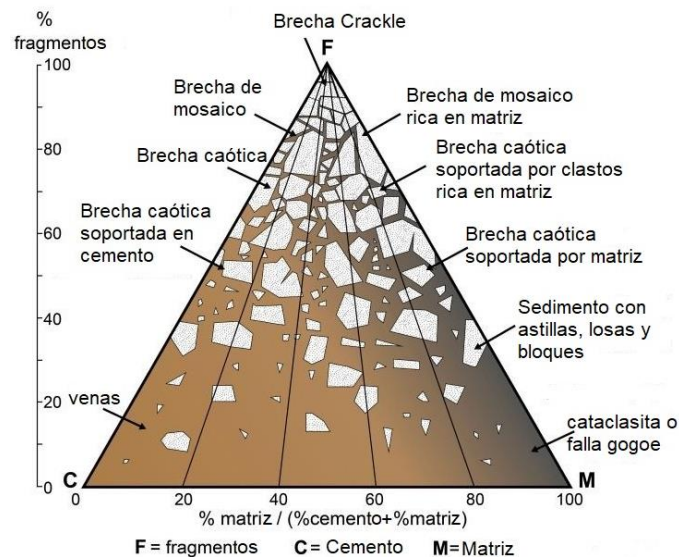


Figura 18. Clasificación de brechas por fragmentos, cemento y matriz
Fuente: Tomado de Woodcock *et al.* (2006).

2.2.7 Análisis cinemático

Desde el punto de vista de Fossen (2016), distingue un análisis geométrico que incluye la forma, la orientación geográfica, el tamaño y la relación geométrica, entre la estructura principal y las estructuras relacionadas de menor escala. Las mismas que necesitan varios métodos para medir, describir estructuras y asociaciones estructurales. Además, resalta que el análisis estructural hace uso de muchos métodos y enfoques, pero sirven para comprender el desarrollo estructural o tectónico de una región o para predecir el patrón estructural en un área. En la mayoría de los casos, la geología estructural se basa en datos y observaciones que deben analizarse e interpretarse. El análisis estructural es, por lo tanto, una parte importante del campo de la geología estructural.

Slickensides y Lineaciones de deslizamiento

En la superficie de movimiento. Los lados de deslizamiento pueden desarrollarse en las superficies de fallas, lechos e incluso foliaciones. Implican un movimiento relativo paralelo a la superficie. Como resultado, la superficie puede estar ranurada y pulida o puede estar cubierta con fibras lisas, cristales fibrosos de calcita, cuarzo, clorita, óxidos de hierro u otros minerales con sus ejes longitudinales paralelos a la dirección de deslizamiento que crecieron durante el movimiento. En la escala milimétrica, las

superficies del lado liso suelen estar escalonadas, y los lados inferiores de los escalones indican la dirección del movimiento. (Hatcher y Bailey 2020).

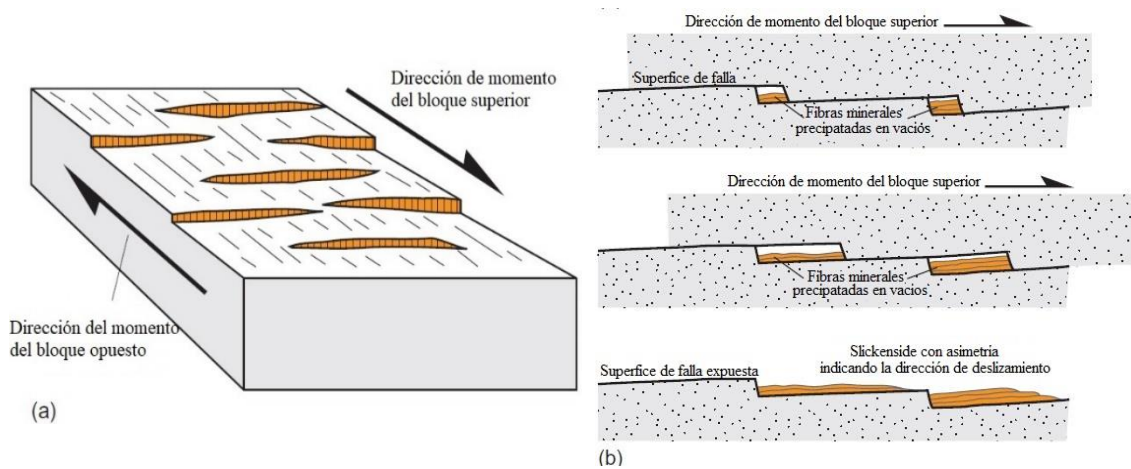


Figura 19. (a) Los escalones y lineamiento de deslizamiento. (b) Sección transversal paralela a la dirección de deslizamiento que muestra asimetría de escalones y fibras.

Fuente: Adaptado de Hatcher y Bailey, (2020).

Teoría fallamiento de Anderson

Anderson, citado por Ruiz, (2017) menciona que, las fallas aparecen según dos familias conjugadas que se cortan formando un diedro agudo y otro obtuso. Las estrías situadas sobre ellas son perpendiculares a la línea de intersección de los planos. En la bisectriz de los diedros agudo y obtuso se sitúan los ejes de compresión máxima (σ_1) y mínima (σ_3), respectivamente; en la línea de intersección de las dos familias de planos se ubica el eje intermedio (σ_2).

Fossen, citado por Vega (2018), clasifica tres regímenes de esfuerzos. Si σ_1 es el vertical será un régimen de fallamiento normal, si σ_2 es el vertical será un régimen de fallamiento transforme, y si σ_3 es el vertical será un régimen de fallamiento inverso. A estas desviaciones naturales del estado de referencia de los esfuerzos principales se les conoce como esfuerzos tectónicos, a gran escala está relacionado con el movimiento de placas tectónicas. De manera local, los esfuerzos tectónicos pueden influir en el plegamiento de capas, en la propagación e interacción lateral de fallas y otros efectos locales.

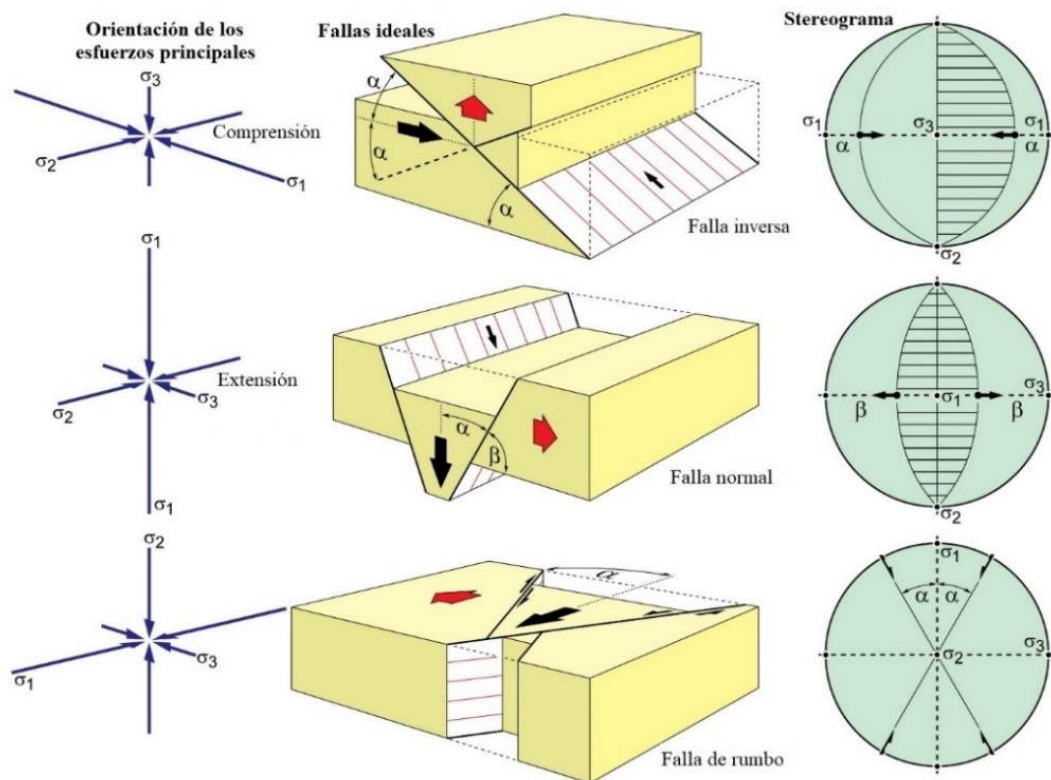


Figura 20. Relación del modelo de Anderson entre tensiones y fallas ideales
Fuente: Tomado de Burg, (2020).

Modelo de Riedel o compatibilidad geométrica

El criterio de Riedel, da lugar a las fracturas R que son sintéticas con el movimiento principal, formando un ángulo de unos 15° con la falla principal o media M. Las fracturas R' son conjugadas respecto de las fracturas R, con movimiento antitético respecto de la falla principal, con la cual forma un ángulo de unos 75° . Son bisectadas por fracturas de tipo T o tensionales. Las fracturas P obedecen al nombre de "pressure", debido a que se originan por presión local entre fracturas Riedel. Presentan un ángulo de 15° , pero en sentido contrario a las fracturas R. (Niemeyer, 1999)

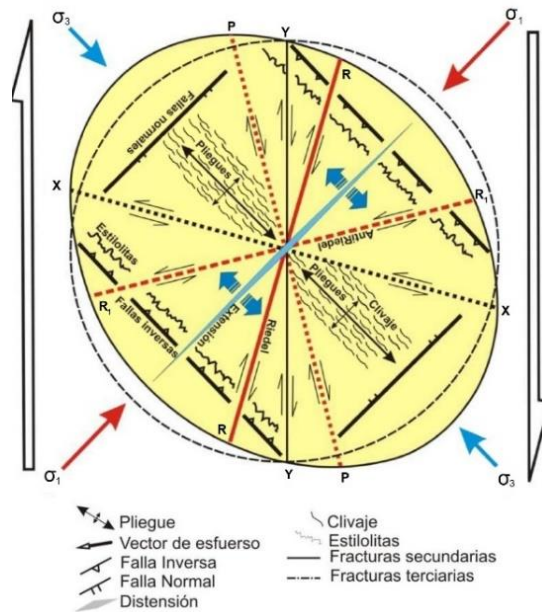


Figura 21. Modelo de fracturamiento.
Fuente: Adaptado de Echeverry *et al.* (2009).

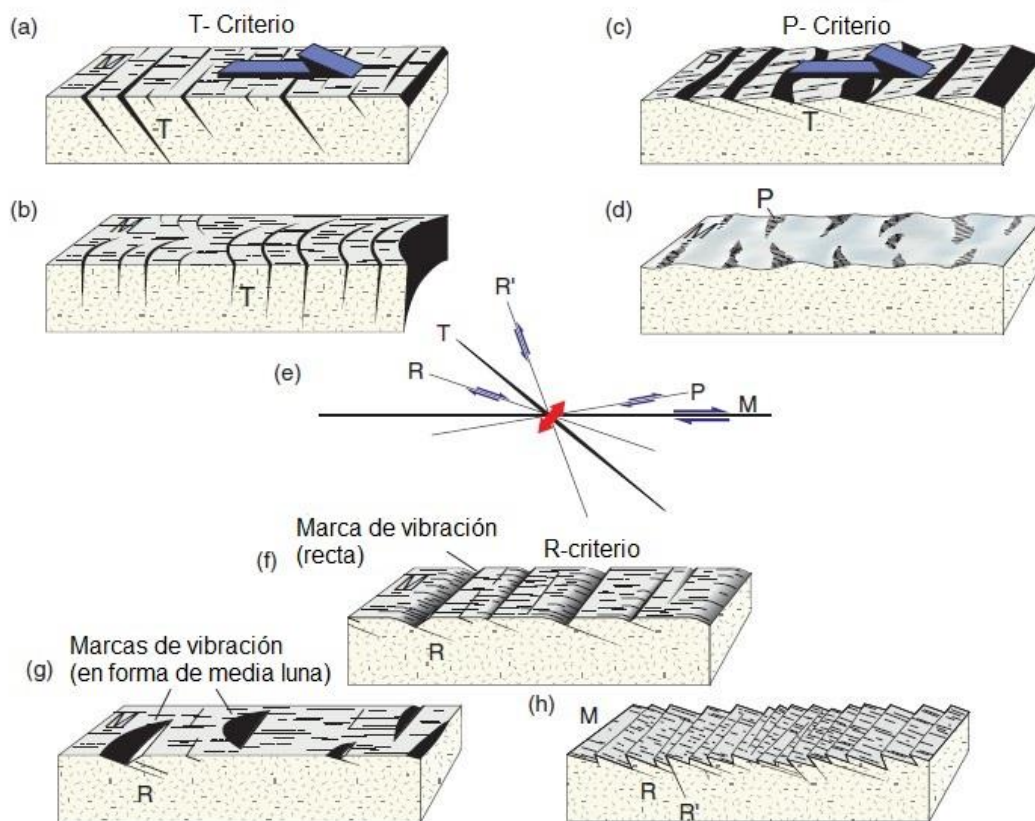


Figura 22. Criterios cinemáticos a lo largo de una falla con fracturas. Se utiliza la nomenclatura general para las fracturas en un sistema de cortante (fracturas R, R0, P, T y M). R, conjugada Riedel; P, fracturas por cizallamiento; T, fracturas por extensión; M, superficie de deslizamiento promedio (falla).

Fuente: Tomado de Fossen, (2016).

Método de los diedros rectos

Según Casas *et al.* (1990), el método postulado por (Pegoraro, 1972; Angelier y Mechler, 1977) el que consiste en trazar un plano auxiliar perpendicular a la estría de deslizamiento, la región en torno a una falla queda dividida en cuatro diedros rectos. El esfuerzo principal mayor σ_1 queda contenido en los diedros de compresión, y el menor σ_3 en los de extensión. Además, propone dos condiciones adicionales para determinar los ejes principales de esfuerzos: Ambos ejes deben ser perpendiculares, y deben estar contenidos en parejas opuestas de diedros que, para cada falla, quedan definidas por su plano y por el plano de movimiento M.

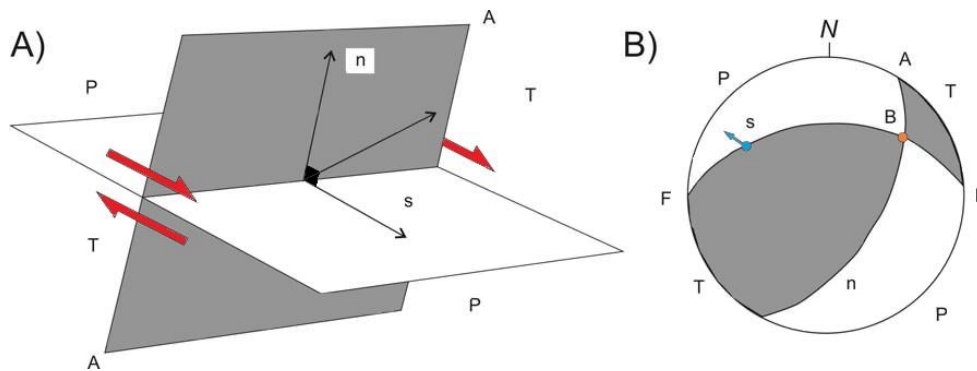


Figura 23. Diedros rectos y mecanismo focal de una falla. A) en perspectiva y B) en proyección estereográfica. F, plano de falla; A, plano auxiliar; n, vector unitario normal al plano de falla; s, vector unitario de deslizamiento; B, intersección de los planos F y A; P, diedro compresivo y T, diedro extensivo.

Fuente: Tomado de Muñoz y De Vicente, (2006).

Según Lisle y Leyshon (2004), los datos de varias fallas desarrolladas bajo los mismos esfuerzos, las direcciones de los esfuerzos se pueden estimar mediante el siguiente método estereográfico.

- A) Para cada falla, trace los círculos mayores que representan el plano de falla y el plano auxiliar. Utilizando el sentido del movimiento observado en la falla, decida cuáles son los pares de cuadrantes σ_1 y σ_3 . Sombreados los cuadrantes σ_1
- B) Coloque los estereogramas producidos para las dos fallas uno sobre el otro. La orientación factible del eje de tensión σ_1 se encuentra en la parte sombreada del

estereograma común a todas las superposiciones. El eje σ_3 se encuentra dentro de las regiones comunes sin sombrear.

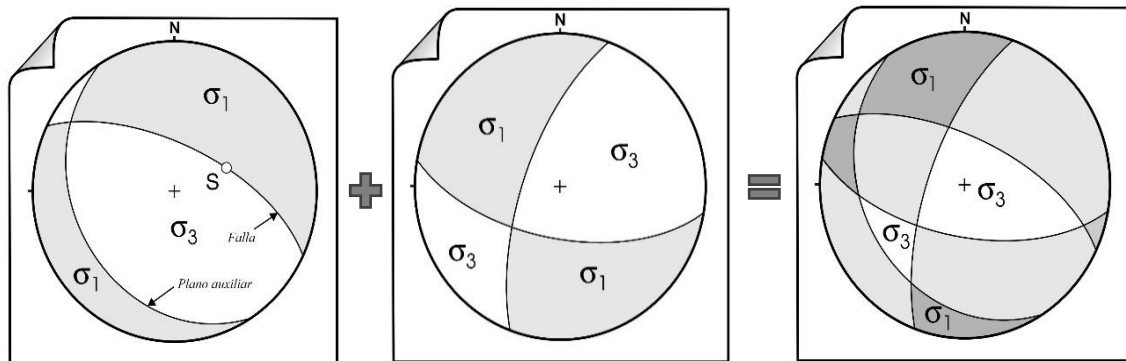


Figura 24. Procedimiento gráfico del método de los diedros rectos para dos fallas. En oscuro compresión, en claro extensión.

Fuente: Tomado de Lisle y Leyshon, (2004).

Métodos dinámicos basados en la ecuación de Bott

Casas *et al.* (1990) indica que la relación entre la orientación y la forma del elipsoide de esfuerzos que actúa sobre un plano previo, con la orientación de la máxima componente de cizalla (τ) sobre dicho plano. Es base de numerosos métodos posteriores de inversión de esfuerzos:

$$\tan(\theta) = \frac{n}{lm} - (m^2 - (1 - n^2) R')$$

Para:

$$R' = \frac{\sigma_z - \sigma_x}{\sigma_y - \sigma_x}$$

Siendo:

R' = Razón de esfuerzos que proporciona la forma del elipsoide de esfuerzos

θ = cabeceo de la estría sobre el plano de falla.

1, m, n = cosenos directores del plano de falla en el sistema de referencia de los ejes principales de esfuerzo.

σ_z = esfuerzo principal vertical.

σ_y = esfuerzo principal horizontal máximo.

σ_x = esfuerzo principal horizontal mínimo.

Suponiendo que la estría de falla refleja la dirección de esa componente de cizalla, la ecuación de Bott proporciona bases para explicar en términos dinámicos los movimientos

de plano de falla, y sirve de fundamento teórico a la mayor parte de los métodos analíticos y gráficos de análisis de paleoesfuerzos.

Angelier, citado por De Vicente y Muñoz (2010), manifiesta que según sea el valor de R' , los elipsoides de esfuerzos se clasifican en siete tipos utiliza directamente el parámetro R (razón de esfuerzos o stress ratio):

$$R = \frac{(\sigma_2 - \sigma_3)}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$$

Que mide la forma del elipsoide de esfuerzos, independientemente de la orientación relativa de los esfuerzos principales. Así, el valor de R está comprendido entre 0 (elipsoide prolato) y 1 (elipsoide oblato). En este caso, para caracterizar el tensor de esfuerzos habrá que obtener el valor de R y la orientación de los ejes principales, es decir cuál está en la vertical. La correspondencia entre R y R' es inmediata:

- σ_1 vertical $R' = 1/R$ $R' > 1$
- σ_2 vertical $R' = R$ $0 < R' < 1$
- σ_3 vertical $R' = 1/(R-1)$ $R' < 1$

Las relaciones que se establecen en la ecuación anterior indican que, en fallas reactivadas (planos de discontinuidad previos a los esfuerzos aplicados) la orientación de la estría que se producirá (ángulo de cabeceo) depende, no sólo de la orientación del plano de falla respecto a los esfuerzos, sino también del tipo de tensor aplicado (factor de forma R)

Tabla 5. Relación entre la forma del tensor de esfuerzos (R'), y el estado de esfuerzos.

R'	TIPOS DE EJES	RÉGIMEN DE ESFUERZOS
$R' \rightarrow -\infty$	$\sigma_y = \sigma_x = \sigma_z$	COMPRESIÓN RADIAL
$R' < 0$	$\sigma_y > \sigma_x > \sigma_z$	COMPRESIÓN TRIAXIAL
$R' = 0$	$\sigma_y > \sigma_x = \sigma_z$	COMPRESIÓN UNIAXIAL
$0 < R' < 1$	$\sigma_y = \sigma_x > \sigma_z$	DESGARRE
$R' = 1$	$\sigma_z = \sigma_y > \sigma_x$	EXTENSIÓN UNIAXIAL
$R' > 1$	$\sigma_z > \sigma_y > \sigma_x$	EXTENSIÓN TRIAXIAL
$R' \rightarrow +\infty$	$\sigma_z > \sigma_y = \sigma_x$	EXTENSIÓN RADIAL

Fuente: Tomado de De Vicente y Muñoz, (2010).

Tabla 6. Relación entre la forma del tensor de esfuerzos (R), y el estado de esfuerzos

R	TIPOS DE EJES	RÉGIMEN DE ESFUERZOS	
$R = 1$	$\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$	COMPRESIÓN RADIAL	σ_3 vertical
$1 > R > 0$	$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$	COMPRESIÓN TRIAXIAL	σ_3 vertical
$R = 0$	$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$	COMPRESIÓN UNIAXIAL	σ_3 vertical
$1 > R > 0$	$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$	DESGARRE	σ_2 vertical
$R = 1$	$\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$	EXTENSIÓN UNIAXIAL	σ_1 vertical
$1 > R > 0$	$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$	EXTENSIÓN RADIAL	σ_1 vertical
$R = 0$	$\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$	EXTENSIÓN RADIAL	σ_1 vertical

Fuente: Tomado de De Vicente y Muñoz, (2010).

2.2.8 Eventos tectónicos regionales en Cajamarca

En Cajamarca y las zonas aledañas, existen evidencias de cuatros deformación que iniciaron en el cretácico y continuando durante paleógeno-neógeno. (Lagos, Caracterización litológica y estructural de la secuencia cretácea en la zona de Urubamba. Cajamarca- Perú, 2012)

Primer movimiento: Culminando la sedimentación marina durante el Senoniano cuando el mar aún cubría la zona andina, en el Santoniano grandes extensiones de la cuenca fueron afecta por movimientos epirogenéticos provocando el levantamiento de la misma.

Segundo movimiento (principal): Se origina durante el Paleógeno y se distinguió por de carácter compresivo ocasionado por esfuerzos con provenientes del suroeste (Placa de Nazca), que empujaron al prisma sedimentario hacia el noreste plegándose intensamente y produciéndose cabalgamientos e imbricaciones en el lado oriental (sector noreste del cuadrángulo de San Marcos).

Tercer movimiento: De naturaleza compresiva que empezó hacia el término del Paleógeno, posterior a la depositación de secuencias volcánica post tectónica del grupo Calipuy que originaron estructuras con similar dirección que el segundo movimiento.

Cuarto movimiento: Denominado “tardío” se caracterizó por ser de carácter epirogénica siendo la que estableció la altura actual de la región andina. Este movimiento comenzó en el Mío- Plioceno y persiste hasta la actualidad (Reyes, 1980).

Tabla 7. Movimientos deformatorios que han sucedido a nivel regional en la parte Nor - Occidental del Perú. Cajamarca, San Marcos, Cajabamba, etc.

MOVIMIENTOS DEFORMATORIOS	EDAD RELATIVA
Primer movimiento (Epirogénesis)	Santoniano
Segundo movimiento Compresivo (principal) empuje SW- NE	Paleógeno
Tercer movimiento (Compresivo menos importante) empuje SW- NE)	Fines del Paleógeno
Cuarto movimiento “tardío” (Epirogénesis)	Mio- Plioceno- actual

Fuente: Modificado por Lagos, (2012).

Pardo-Casas & Molnar (1987) en su investigación expone que entre las anomalías 30-31(68.5 Ma) y 21 (49.5 Ma) la placa de Nazca (Farallón) parece haber rotado sobre un polo al sur de Sudamérica tanto que convergía con Sudamérica en el norte, pero no en el sur. Esta convergencia no fue tan vertiginosa, y en la parte central de los Andes puede hallarse una gran componente de desplazamiento transcurrente (cizallante) dextral, por lo que se estima una convergencia oblicua (N65°E- N85°E). Después de la anomalía 21 los cambios en la dirección concerniente de convergencia eran pequeños hasta la anomalía 13 (35.58 Ma) donde se ocasiono un giro horario hasta la anomalía 6, produciendo una convergencia oblicua (S75°E- S80°E) provocando en los Andes Centrales una componente cizallante sinestral. Luego se da un giro antihorario a partir del cual la dirección de convergencia (N75°E) se mantiene uniforme hasta la fecha

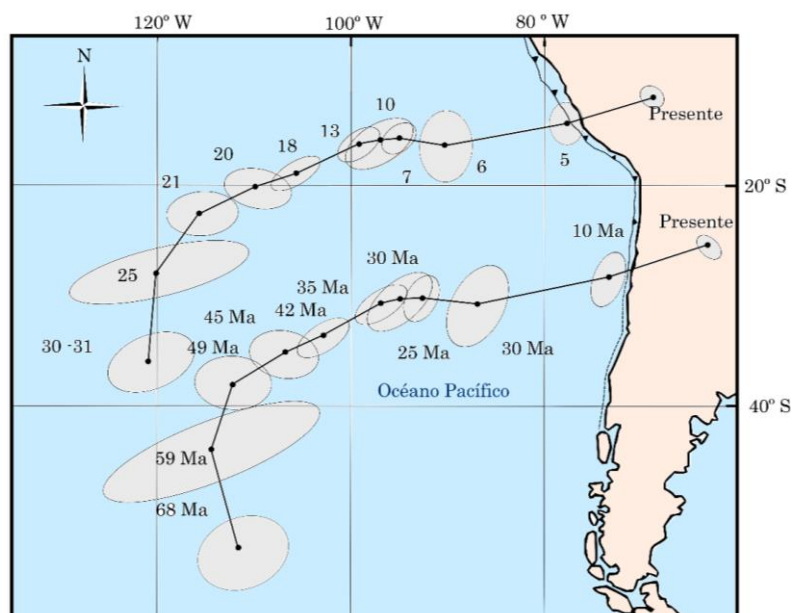


Figura 25. Posiciones de la placa de Nazca (Farallón), a través del tiempo geológico, interpretando mediante anomalías magnéticas.

Fuente: Tomado de Pardo-Casas y Molnar, (1987)

2.3 Definición de Términos Básicos

Anticlinal: Pliegue en el que las rocas más viejas se localizan hacia la zona cóncava del arqueamiento o núcleo del pliegue. (Arellano *et al.* 2002).

Cizallamiento: Proceso de fracturamiento de las rocas debido a los esfuerzos tectónicos. Se produce mayormente en las rocas clásticas en las zonas de fallamiento, en las crestas de los anticlinales (Dávila 2011).

Compresión: Esfuerzo al que son sometidas las rocas, por fuerzas dirigidas unas contra otras a lo largo de una misma, causando acortamiento en la dirección del esfuerzo mediante la formación de pliegues o fallas según que su comportamiento sea dúctil o frágil (García 2012).

Diaclasa: Planos de discontinuidad más frecuentes en los macizos rocosos, y corresponden a superficies de fracturación o rotura de la roca a favor de las cuales no ha habido desplazamiento o ha sido muy pequeño (González 2002).

Litología: Estudio y descripción de las rocas, especialmente en muestras de mano y en afloramientos con base en características tales como color, estructuras, mineralogía y tamaño de partículas (Hoyos 2012).

Sinclinal: Deformación de rocas en las que los estratos más jóvenes se presentan en el lado cóncavo o núcleo de la flexión (Arellano *et al.* 2002).

Paleoesfuerzo: Tension esencial para estudios de la evolución tectónica de la corteza. Además, explicar la reactivación de fallas, y en cierto casos la dinámica de movimiento de estas estructuras en un tiempo definitivo (van Gent *et al.* 2008).

Tectónica: Ciencia, estudia los procesos que ocurren en toda la litosfera, usando en muchos casos, los métodos propios de otras Ciencias de la Tierra además de los de la Geología Estructural (Martínez 2003).

Zona de Cizalla: Volumen de roca, de geometría aproximadamente tabular, en cuyo interior se localiza la deformación. Aunque los dos límites o bordes de las zonas de cizalla son planos y paralelos, lo habitual es que su geometría sea irregular, siendo también común las disposiciones ramificadas, anastomosadas o convergentes. (Fernández *et al.* 2013).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del Área y Zona de Investigación

3.1.1 Geográfica

El área de investigación se encuentra ubicada en la cordillera occidental de los Andes. En el cuadrángulo de Cajamarca (15f). Con coordenada del sistema UTM: DATUM WGS-84, ZONA 17S. Plano P-1.

3.1.2 Política

Políticamente la zona de investigación se encuentra localizada en los Centros poblados Huambocancha Baja, abarcado en el distrito de Cajamarca distritos parte de la provincia, región de Cajamarca, al norte del Perú.

3.1.3 Accesibilidad

Se cuenta con dos rutas de acceso al área de investigación, la primera es por la carretera asfaltada Cajamarca-Hualgayoc hasta lugar denominado Callejón en el Centro poblado Huambocancha Baja. El segundo es por la misma carretera Cajamarca-Hualgayoc hasta el sector El Molino (3M) y tomar un desvío hacia la derecha hasta el caserío Llagamarca.

Tabla 8. Accesibilidad del Área de Investigación

<i>Ruta</i>	<i>Desde</i>	<i>Hacia</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia(km)</i>	<i>Tiempo (min)</i>
1	Plaza de armas de Cajamarca	Huambocancha Baja-El Callejón	Asfaltada	4.5	18
	Plaza de armas de Cajamarca	Huambocancha Baja-El Molino 3M	Asfaltada	3.1	
2	Huambocancha Baja- El Molino 3M	Caserío Llagamarca	Afirmada	4.0	38

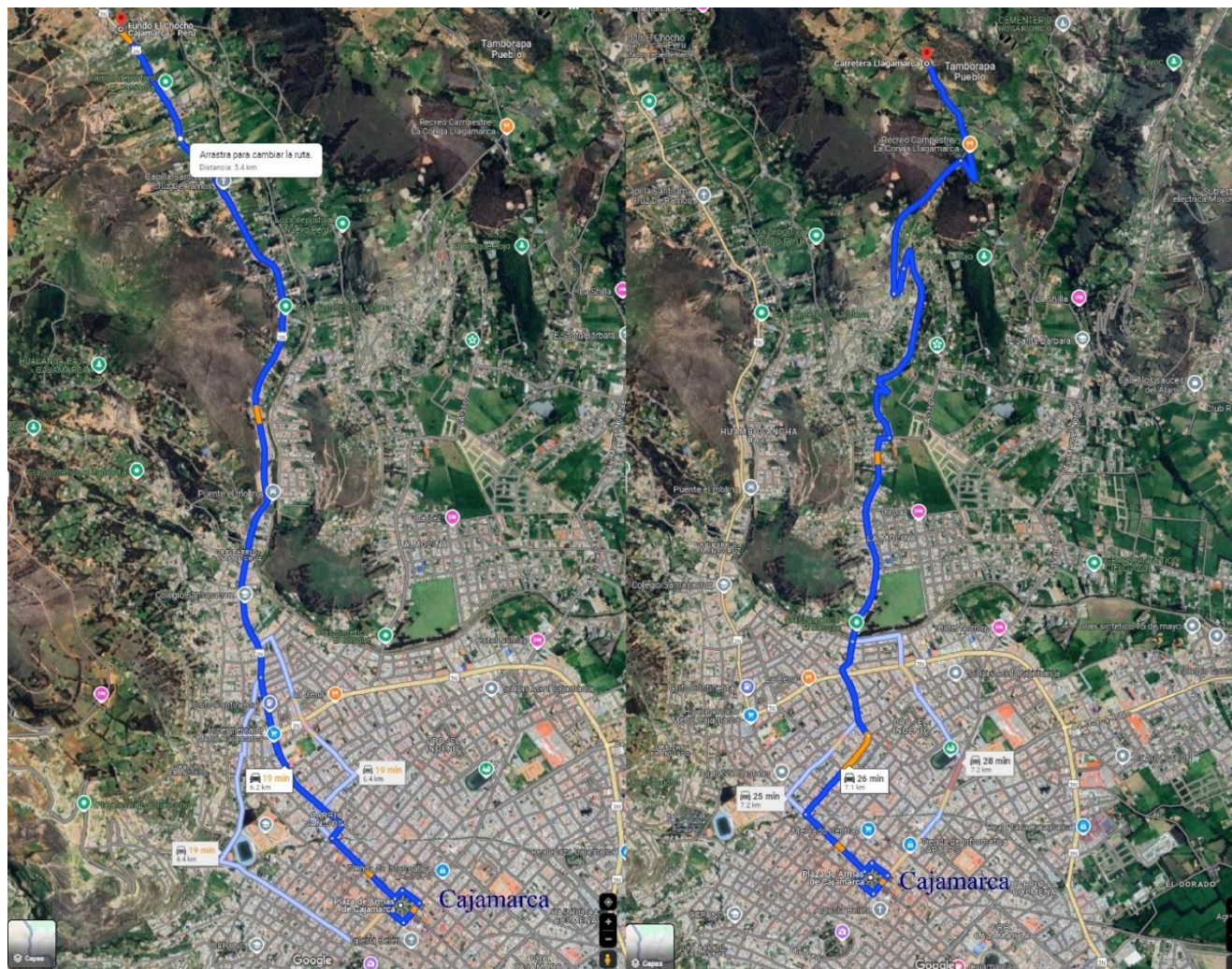


Figura 26. A. Tramo 1, Plaza de armas de Cajamarca hacia Huambocancha Baja- El Callejón. B. Tramo 2, Plaza de armas de Cajamarca hacia caserío Llagamarca.

Fuente: Tomado de Google Maps 2023.

3.1.4 Clima y vegetación

Para Cajamarca, el mes con temperatura más alta es setiembre (22.2°C); la temperatura más baja se da en el mes de julio (4.9°C); y llueve con mayor intensidad en el mes de marzo (118.78 mm/mes) (SENAMHI, 2023)

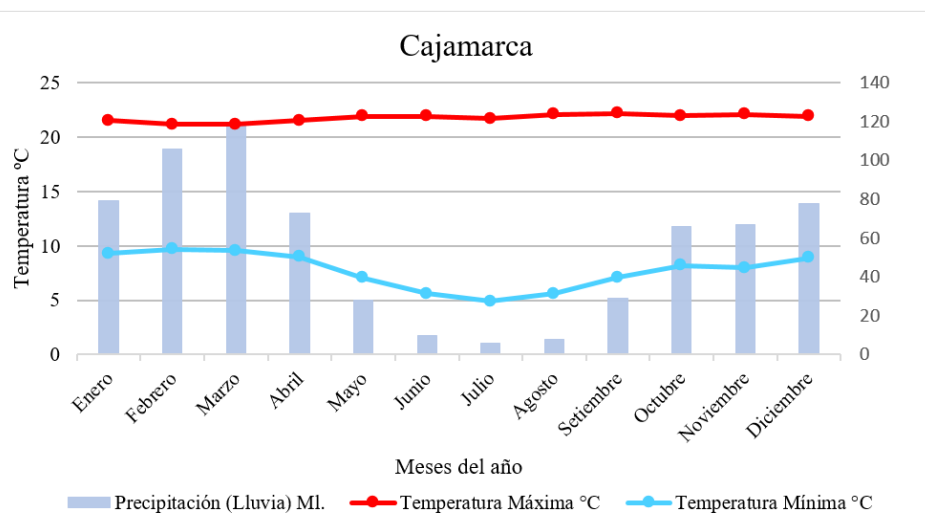


Gráfico 1. Histograma de precipitación acumulada promedio mensual (mm).
Fuente: Tomado de SENAMHI, (2023).

La vegetación presente en la zona de investigación está compuesta por, Eucalipto (*Eucaliptus glóbulos*), Pino (*Pinus*), Aliso (*Alnus glutinosa*), Sauce (*Salix*), Ichu (*Stipa Ichu*), raigrás (*Lolium*), entre otras especies. Además, se efectúa agricultura bajo regadío y estacional.



Fotografía 1. Vegetación característica. E: 773623.21, N: 9212908.55, Cota: 2912 m.s.n.m.

3.2 Procedimientos

Etapa preliminar: En esta etapa se inicia la investigación con buscar toda la información relacionada con el tema como antecedentes y bases teóricas, además obtener el mapa geológico del cuadrángulo Cajamarca (15-f I). Asimismo, Se elaboró un plano de ubicación con imagen satelital y un plano topográfico para realizar un correcto cartografiado, de las estructuras geología. De la misma manera, se consideró la accesibilidad más adecuada de la zona de estudio.

Etapa de Campo: Se planificó y realizó las salidas de campo en el centro poblado de Huambocancha baja, en donde se cartografió y describió las unidades litológicas, además se identificó las estructuras geológicas aflorantes, y recolecto los datos de los indicadores cinemáticos, mediciones de rumbo, buzamiento, rake, asimismo la toma de coordenadas con el GPS fue en UTM Datum WGS-84.

Etapa Final de Gabinete: consiste en el procesamiento, análisis de datos estructurales obtenidos en campo mediante los softwares Faultkin v. 8.1 y Stereonet v. 11.4, para la interpretación estereográfica y determinación la dirección de los paleoesfuerzos, luego se usó el software ArcGis v. 10.5 para la elaboración de planos a escalas 1: 20000. y perfiles. Finalmente se hizo la discusión de resultados obtenidos.

3.2.1 Metodología

La metodología empleada en el presente estudio se especifica a continuación.

Tabla 9. Clasificación según nivel, diseño, y finalidad de investigación.

Clasificación	Tipo de investigación
Según tipo	Es cualitativa ya que se describe las características de la litología y estructuras geológicas que afloran en centro poblado de Huambocancha Baja. Y cuantitativa puesto que se midieron y procesaron los datos de campo para el análisis en los softwares Faultkin v.8.1 y Stereonet v. 11.4.
Según nivel	Descriptivo, debido que se describió litología, estructuras geológicas, indicadores cinemáticos. Correlacional, debido a que correlaciona a la dirección de paleoesfuerzos con los eventos tectónicos regionales. Explicativo, debido a que se explica el comportamiento estructural centro poblado de Huambocancha Baja.

Según diseño	No experimental, debido a que no se manipula ninguna variable independiente para ver sus efectos, solo se observa los fenómenos tal como se dan en la naturaleza, en este caso los indicadores cinemáticos, para luego ser analizados.
Según método de investigación	Analítico ya que la zona de estudio basándose en las distintas estructuras geológicas, que forman parte de ella y de las interrelaciones que sostienen entre sí. Y deductivo, pues se observó, estudio y caracterizo a los indicadores cinemáticos y paleoesfuerzos por ende se concluyó con el comportamiento estructural que rige la demarcación de estudio.

Fuente: Adaptado de Supo 2014.

3.2.2 Población de estudio

Afloramientos rocosos en el centro poblado de Huambocancha Baja, que abarca $\pm 7.3\text{km}^2$ de área.

3.2.3 Muestra

Diaclasa, Fallas, Pliegues, indicadores cinemáticos.

3.2.4 Unidad de análisis

Está compuesta por las mediciones de azimuth, buzamiento, rake (cabeceo) de los indicadores cinemáticos.

3.2.5 Identificación de variables

Para la investigación se han planteado variables independientes y dependientes los cuales se describen a continuación:

Tabla 7. Definición de Variables	
<i>Variables Independientes</i>	<i>Variable dependiente</i>
Estructuras geológicas	Comportamiento estructural
Indicadores cinemáticos	
Paleoesfuerzos.	

3.2.6 Técnicas

Las técnicas que se emplearán para el desarrollo del trabajo de investigación se basarán en la observación, descripción, caracterización, análisis las estructuras geológicas, los indicadores cinemáticos y paleoesfuerzos de la zona para interpretarlos posteriormente en los softwares ArcGIS v. 10.5, Faultkin v. 8.1 y Stereonet v. 11.4.

3.2.7 Instrumentos de recolección de datos

Los materiales a usar para la recolección de datos son:

Brújula Brunton: Utilizado para la toma de datos de direcciones de discontinuidades y planos de estratificación.

GPS Navegador Garmin: Se uso para la obtención de coordenadas para la ubicación de puntos y estaciones estructurales.

Picota: Utilizado para obtener muestras para analizar la roca.

Lupa 20x: Empleado para tener una mejor observación macroscópica.

Rayador: Utilizado para determinar la dureza de las rocas y minerales.

Protáctor: Manejado para medir distancia a escala.

Cámara fotográfica: Utilizado para el registro fotográfico de los afloramientos.

Laptop: Máquina usada para el procesamiento de datos y redacción de la tesis.

Tablas de registro: Usado como guía para la documentación de datos de estructurales.

Libretas de campo, lapiceros y lápices: utilizados para anotaciones de las estaciones estructurales y cartografiado de la zona.

3.3 Contexto Geológico

3.3.1 Geología local

En el área de estudio afloran, formaciones silicoclasticas de edades del cretácico inferior, pertenecientes al Grupo Goyllarisquizga, como son; Formación Carhuaz (Ki-ca) y Formación Farrat (Ki-fa), asimismo la secuencia transgresiva perteneciente a la Formación Inca (Ki-in), conjuntamente a la secuencia calcárea del Grupo Crisnejas que

consta de la Formación Chulec (Ki-Chu). También afloran rocas volcánicas de la edad Neógeno Mioceno propias de la Formación Huambos además de cuerpos subvolcanicos.

Grupo Goyllarisquizga

Formación Carhuaz (Ki-ca)

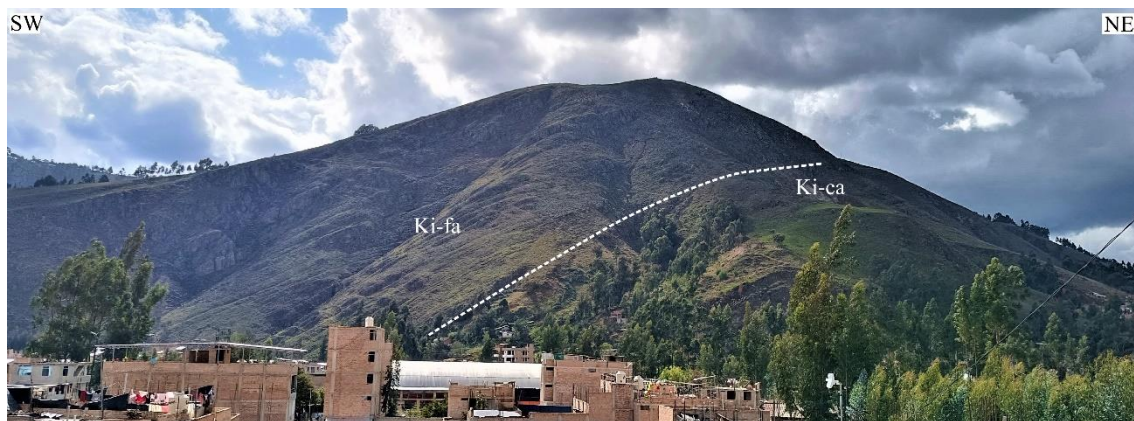
En la zona de estudio aflora en la parte inferior del Cerro Shicuana en el Caserío Huambocancha baja y en la parte inferior de Cerro Songoles en el caserío Nuevo Perú. Está conformada por intercalación de areniscas de grano fino de coloración amarillentas, violáceos, limolitas grises amarillentas y arcillitas abigarradas, además que parte de la misma su muestra cubierta por depósitos cuaternarios y aflora en el núcleo del anticlinal de Huambocancha.



Fotografía 2. Afloramiento de la Formación Carhuaz, E: 772117, N: 9213130, Cota: 2902 m.s.n.m.

Formación Farrat (Ki-fa)

En el área de estudio afloran areniscas de color blanquecino de grano fino a grueso intercalado con arcillitas, en la que se observa estratificación segada y marcas de oleaje, presentes en la parte superior de los flancos del anticlinal de Huambocancha, así como en la continuación del plegamiento en Llushcapampa baja.



Fotografía 3. Vista panorámica de las rocas areniscas de la Formación Farrat (Ki-ca) suprayaciendo a la Formación Carhuaz, localizado en el Cerro Shicuana, E:762934, N:921133, Cota: 2772 m.s.n.m.

Formación Inca (Ki-in)

En zona de estudio aflora al noreste, en el caserío de Llagamarca centro poblado de Santa Barbara. Por lo que Pisconte (2014), menciona que en Llagamarca se presentan bancos de areniscas de espesor que varían 0.30 m a 5.0 m., se observó areniscas ferruginosas intercalada con arcillitas, y hacia el techo se muestran calizas en contacto con la Formación Chulec.



Fotografía 4. Contacto entre la Formación Inca y Formación Chulec, presencia de bivalvos, carretera Llagamarca. E: 774619, N:9212896, Cota: 2939 m.s.n.m.

Grupo Crisnejas

Formación Chulec (Ki-chu)

En el área de estudio aflora en noreste en el núcleo del sinclinal del caserío Llagamarca, aflorando arcillitas, margas y calizas nodulares con coloración gris amarillento con abundante disposición de fósiles.



Fotografía 5. Intercalaciones de calizas nodulares y margas de la Formación Chulec, presencia de gasterópodo, E: 774440, N: 9213044, Cota: 2969 m.s.n.m.

Volcánico Porculla

En la zona de estudio se encontró una secuencia de rocas volcánicas, estas unidades litoestratigráficas se superpone discordantemente angular al basamento del Cretácico. Aflorando al norte de la zona de estudio. Estas unidad es denominada: Neógeno Mioceno Secuencia Volcánica Tual – Puruay (Nm-tp)

Secuencia Volcánica Tual – Puruay. Etapa Uno (Nm-tp/1). En el área afloran secuencias volcanoclásticas intercaladas de coloración gris violáceas, flujos de lava de composición porfirítica, flujos de bloques y cenizas de color gris blanquecinos porfiríticos monomícticos. Conforman un espesor de 145 m. (Narravo, 2007)

Secuencia Volcánica Tual – Puruay. Etapa dos (Nm-tp/2). Espaza y Maryorga (2022), describen flujos piroclásticos de pómez y cenizas de tonalidades gris blanquecinas a rosáceas, con amplia presencia de cristales de composición riolítica, fragmentos líticos andesíticos. Acompañada de depósitos de coladas piroclásticas - ignimbritas con matriz de fragmentos líticos andesíticos y ceniza, a su vez presenta disyunción columnar. Datación realizada por Longo (2005), dio como resultado 19.53 ± 0.13 Ma.

Secuencia Volcánica Tual – Puruay. Etapa tres (Nm-tp/3). Datada por Longo (2005) en 15.41 ± 0.36 Ma. Espaza y Maryorga (2022), señala que afloran bloques y ceniza de color gris blanquecinos y verdosos, fragmentos líticos andesíticos – dacíticos polimícticos. Además, de secuencias de tobas con tonalidad blanquecinas acompañada con trazas de magnetita y marcas de oleadas piroclásticas de ceniza y pómez en una pseudo estratificación.



Fotografía 6. Vista panorámica de secuencias volcánicas. E: 77 2228, N:92128814, Cota: 2920 m.s.n.m.

Volcánico Huambos

Secuencia Volcánica San José-Evento 2 (Nm-sj/2). Formado por de flujos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinas, ricos en cristales, de composición riolítica. tienen un espesor aproximado de 350 m. los que se han depositado en discordancia angular sobre el ubstrato cretácico inferior. Se encuentran en el caserío tres molinos, alcanzando el sur

del Caserío Nuevo Perú, y al sureste del Caserío Llagamarca. Navarro, (2012) reporta una edad Ar-Ar de 11.45 ± 0.12 Ma.



Fotografía 7. Secuencia Volcánica San José-Evento 2 (Nm-sj/2) en discordancia angular con la Formación Carhuaz Ki-ca E:775157; N:9211836; Cota: 2781 m.s.n.m.

Subvolcanico Andesítico

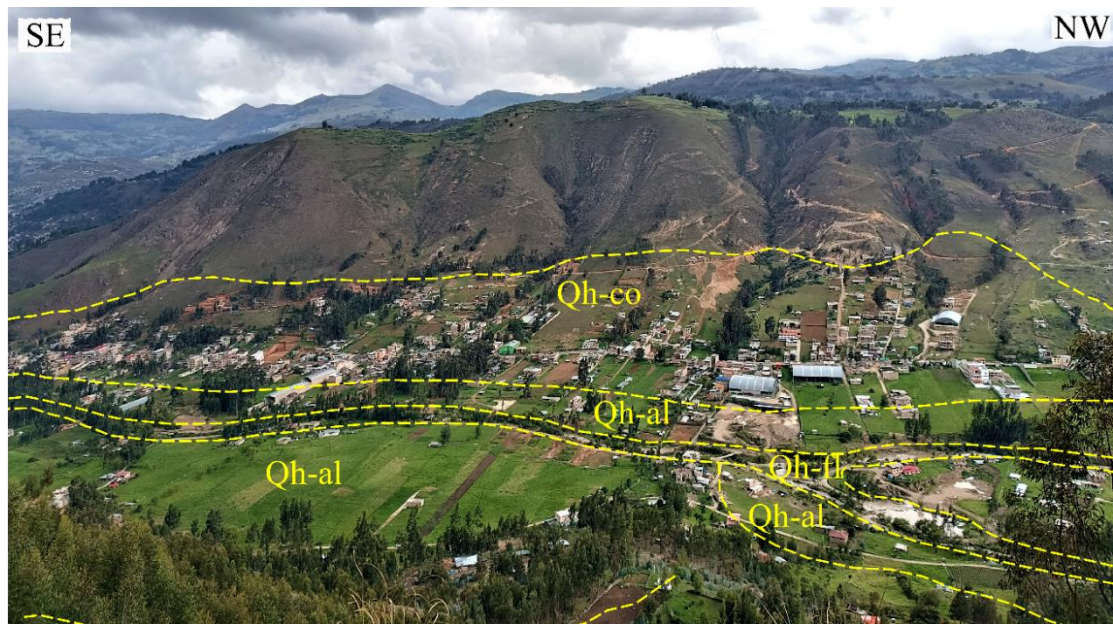
Afloran cuerpos subvolcanicos andesíticos en flanco SW, del anticlinal de Huambocancha. Esta roca es de tonalidad grisáceas, en las cuales se observan fenocristales de hornablendas, plagioclasas, cantidades reducidas de cuarzo, presencias de pirita y epidota. Como rocas caja se encuentran areniscas ya arcillitas de las Formación Farra y Formación Carhuaz.



Fotografía 8. Vista panorámica de subvolcanicos andesiticos en Huambocancha.

Depósitos Cuaternario Holoceno

Son depósitos de cobertura, producto del acopio de numerosos materiales geológicos, a raíz de los procesos de geodinámica externa. Por lo regular los sedimentos están dispuestos de forma no consolidados. Los que se distribuyen de forma irregular cubriendo parte de las Formaciones Carhuaz, Farrat, Inca, Chulec, además de las secuencias del Volcánico Huambos, Volcánico Porculla



Fotografía 9. Vista panorámica de los depósitos cuaternarios, E:773646; N:9212951; Cota: 2937 m.s.n.m.

Depósito fluvial

Se presentan a largo de los cauces de los ríos: Grande, Porcón, Mashcón, Sambar. Delimitados por sus respectivas fajas marginales, los depositados están constituido por gravas, arenas y limos inconsolidadas, así mismo las texturas de los clastos va de subredondeados a redondeado debido al transporte de las corrientes de agua.



Fotografía 10. Depósito fluvial en el Río Grande, N: 9213109, E: 773126, Cota: 2787 m.s.n.m.

Deposito aluviales

Conformados por bloques, cantos rodados y gravas redondeadas, en una matriz arenosa a limo-arenosa, los cuales se presenta semi confinados en el valle de Huambocancha baja, los cuales tienen como basamento las rocas sedimentarias cretáceas e intrusivas neógenas.



Fotografía 11. Depósito aluvial la margen del Río Porcón N: 9213038 E: 772957 cota:2784

Deposito coluviales

Se localizan en laderas y piedemonte de los Cerros Yacupacha, Shicuana, Songoles, los depósitos están compuestas de bloques angulosos de roca areniscas, con diámetro promedio: 0.05 m. a 0.40 m. con gravas angulosas dispersos de manera desordenada, con matriz envolvente de Arena y limo, de coloraciones: Rojizas, anaranjadas y amarillentas.



Fotografía 12. Deposito coluvial en la base del cerro Shicuana en el caserío Huambocancha Baja, N: 9212220, E: 772762 cota:2841

UNIDAD CRONO-ESTRATIGRÁFICA UNIDAD GEO-CRONOLÓGICAS	ERATEMA ERA	SISTEMA PERIODO	SERIE EPOCA	UNIDAD ESTRATIGRÁFICA	ESPESOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos coluviales, aluviales y Fluviales			Gravas, arenas, limo y arcillas Discordancia Flujos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinas, ricos en cristales, de composición riolítica
				Volcánico Huambos	Nm-sj/2 150 m		Flujos piroclásticos de pómez y cenizas de tonalidades gris blanquecinas a rosáceas, con amplia presencia de cristales de composición riolítica, fragmentos líticos
		Neogeno	Mioceno	Volcánico Porculla	Nm-tp/2 120 m		Flujos de lava de composición porfíritica, flujos de bloques y cenizas de color gris blanquecinos
					Nm-tp/1 90 m		Discordancia angular Calizas nodulares, arcillitas, margas y con coloración gris amarillentas
				Formación Chulec	120 m		Areniscas ferruginosas intercalada con arcillitas y calizas arenosa
				Formación Inca	110 m		
	Mesozoico	Cretácico	Inferior	Grupo Goyllarisquizga			
				Formación Farrat	500 m		Areniscas de color blanquecino de grano fino a grueso intercalado con arcillitas
				Formación Carhuaz	250 m		Areniscas de grano fino de coloración amarillentas, violáceas, limolitas grises amarillentas y arcillitas abigarradas
				Formación Santa			Arcillitas oscuras, areniscas gris oscuras.

Figura 27. Columna estratigráfica.
Fuente: Adaptado de INGEMMET, (2008).

3.3.2 Geomorfológica

El área de investigación presenta una geomorfología muy variada, con diverso pendiente producto de procesos endógenos y exógenos, como la erosión y la meteorización que sucede hasta la actualidad. Teniendo como base la clasificación realizada por Rodríguez (2016), anexo Plano N°03. Geomorfológico

Tabla 10. Clasificación de las Unidades morfogenéticas

<i>Unidad Morfogenética</i>	<i>Rango pendiente</i>	<i>Áreas (km)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Planicies	0° - 8°	1.90	25.98
Lomadas	8° - 20°	2.64	36.03
Laderas	20° - 50°	2.72	37.12
Escarpes	> 50°	0.06	0.87
<i>Total</i>		7.32	100

Fuente: Adaptado de Rodríguez (2016)

Planicie

Son zonas las cuales no presentan fuertes desniveles, con pendientes comprendidas entre los 0° y 8°, Se encuentra principalmente en los valles de Huambocancha Baja y Llushcapampa Baja, en menor cantidad en sectores de caserío Llagamarca.

Lomadas

Superficies con pendientes suaves homogénea establecidas entre los 8° y 20°. En el área de estudio se muestra en mayor cantidad se encuentra en la base del cerro la Shicuana, en ambos flancos del anticlinal de Huambocancha Baja, en el caserío de Llagamarca entre los cerros Rosariorco y Songoles y también partes el caserío tres molinos.



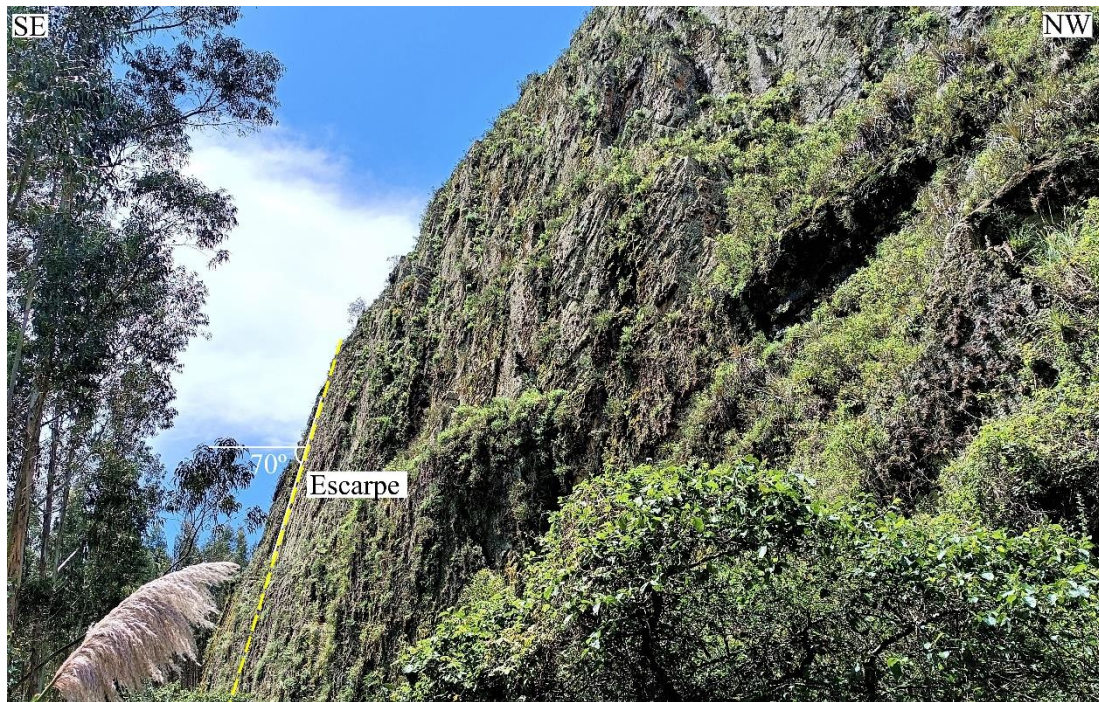
Fotografía 13. Vista panorámica de las unidades morfométricas. N: 9213915, E: 773220, cota:2843

Laderas

Pendientes situadas entre los intervalos 20° a 50° . La mayor parte se encuentra en las secuencias cretácicas y volcánicas localizados en el Cerro Shicuana, Songoles, Yacupacha.

Escarpas

Zonas con inclinación superior a 50° . Esta unidad se encuentra dispuestas a la margen derecha de la quebrada las Vizcachas, y en sectores de flan SW de anticlinal de Huambocancha, dicha se geoforma se muestra reducido en área de estudio. Litológicamente se encuentra en las areniscas de la Formación Farrat.



Fotografía 14. Escape en la margen derecha de la Quebrada Las Vizcachas. N: 9213759, E: 773808 cota:2871

3.3.3 Geología estructural

El área de estudio contiene evidencia de los procesos tectónicos: la fase tectónica inca, en donde los sedimentos del Cretácicos fueron plegadas y fallados, de gran intensidad revelando su carácter compresivo. Las direcciones que se muestran las estructuras son de NW- SE, relacionados al movimiento de las placas tectónicas continental y de marina de orientación NE-SW. Por otro lado, los estratos volcánicos depositados tras la tectónica inca presentan fisuras que indican deformaciones menores.

3.4 Tratamiento y Análisis de Datos y Presentación de Resultados

3.4.1 Pliegues

En el área de investigación se engloba a diversos pliegues entre los cuales se identificaron: anticlinal Huambocancha, sinclinal Llagamarca, anticlinal Llushcapampa. Orientación de NW-SE. Los mismo que han deformado las rocas de cretácico inferior.

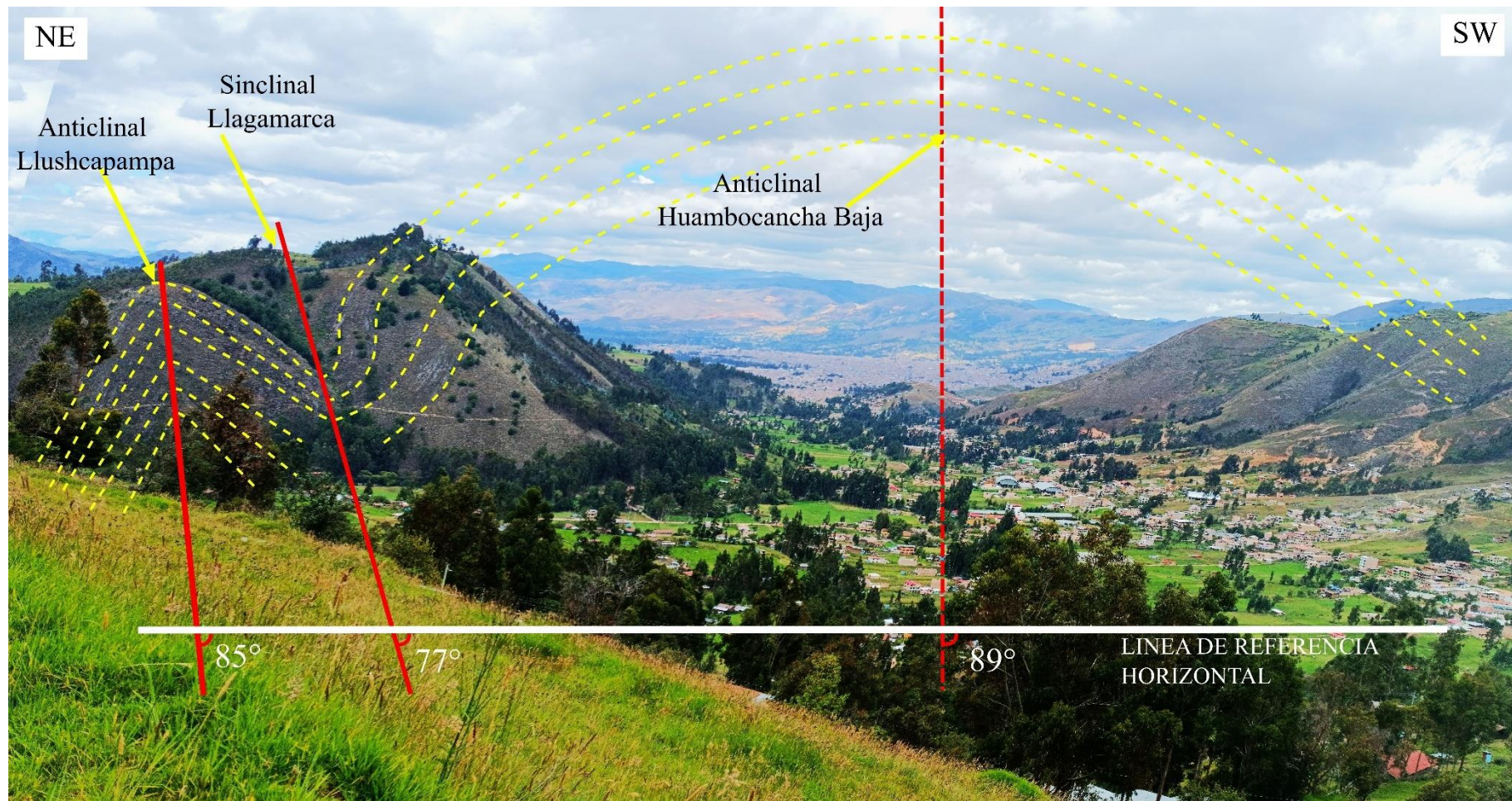
Anticlinal Huambocancha Baja (P-01)

Situado a lo largo del centro poblado de Huambocancha Baja, es la continuidad del pliegue de Shaullo, el cual deforma a la Formación Carhuaz y Formación Farrat. La estructura fue intensamente deformada por los diversos de eventos tectónicos y posteriormente erosionada. Por, tan solo quedan los flancos como evidencia de ello y dando lugar a un valle maduro. Además, su extensión oscila entre los 2 km de amplitud aproximadamente.

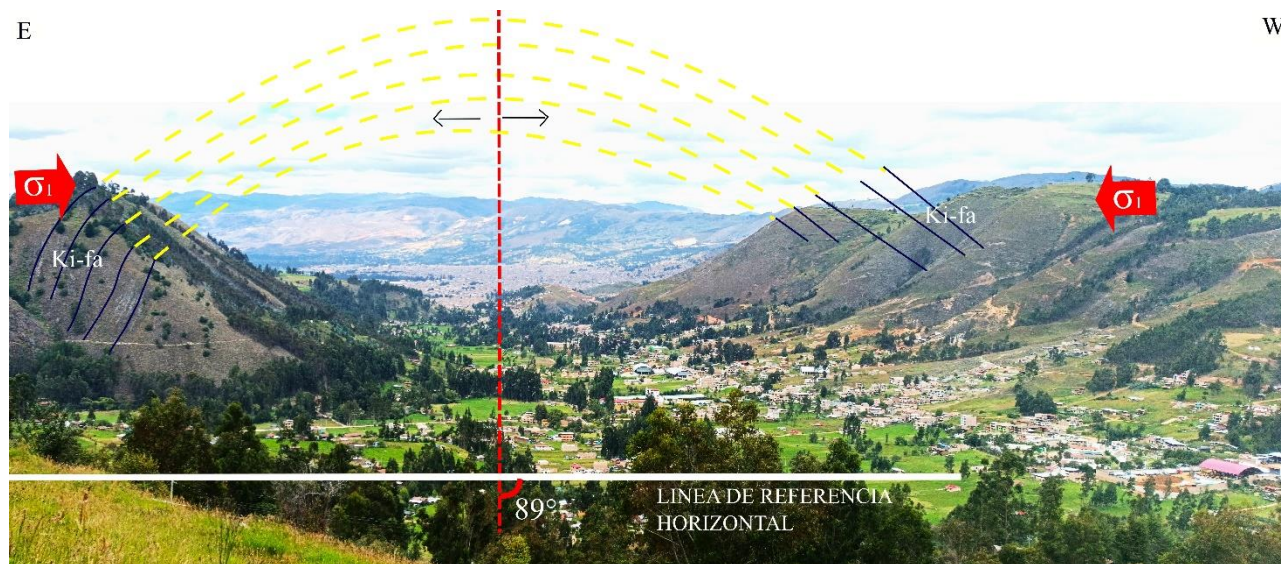
La orientación del azimut de los estratos del flanco NE, es un promedio de N324°, con un buzamiento que fluctúa entre 42°NE; el flanco SW tiene un azimut promedio de N129°, con buzamiento que oscila entre 41°SW.

Tabla 11. Promedio de datos estructurales del anticlinal Huambocancha

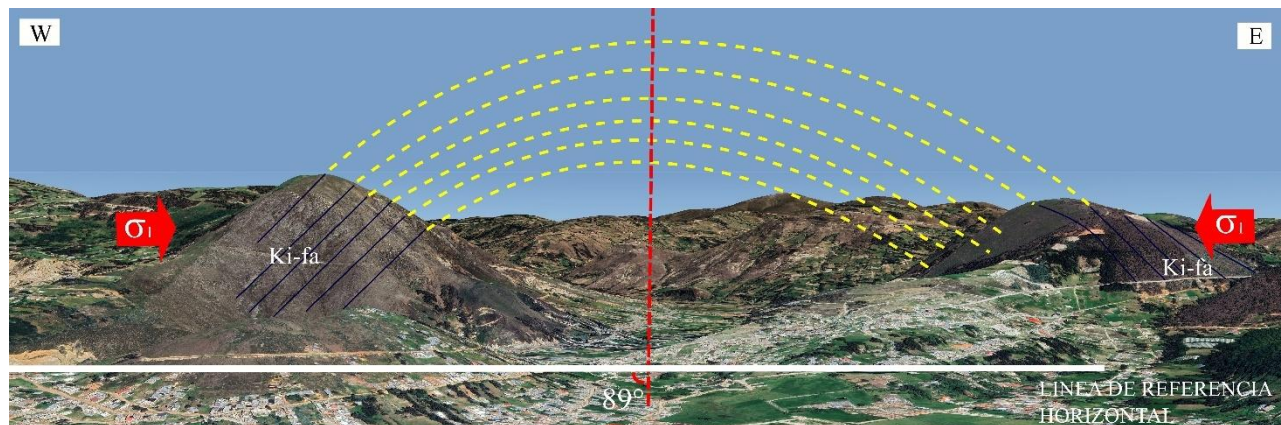
<i>Flanco</i>	<i>Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S</i>			<i>Datos Estructurales</i>	
	<i>Norte</i>	<i>Este</i>	<i>Cota</i>	<i>Azimut</i>	<i>Buzamiento</i>
Noreste	9212203	774501	2888	N 324°	42°NE
Suroeste	9211254	773106	2933	N 129°	41°SW



Fotografía 15. Vista de panorámica de plegamiento del centro poblado de Huambocancha Baja



Fotografía 16. Vista panorámica de E-W del anticlinal Huambocancha Baja, en la Formación Farrat, N: 9214604 E: 772501 cota:3020 m.s.n.m.



Fotografía 17. Vista panorámica de W-E del anticlinal Huambocancha Baja, en la Formación Farrat, N: 9210776 E: 774511 cota:2707 m.s.n.m.

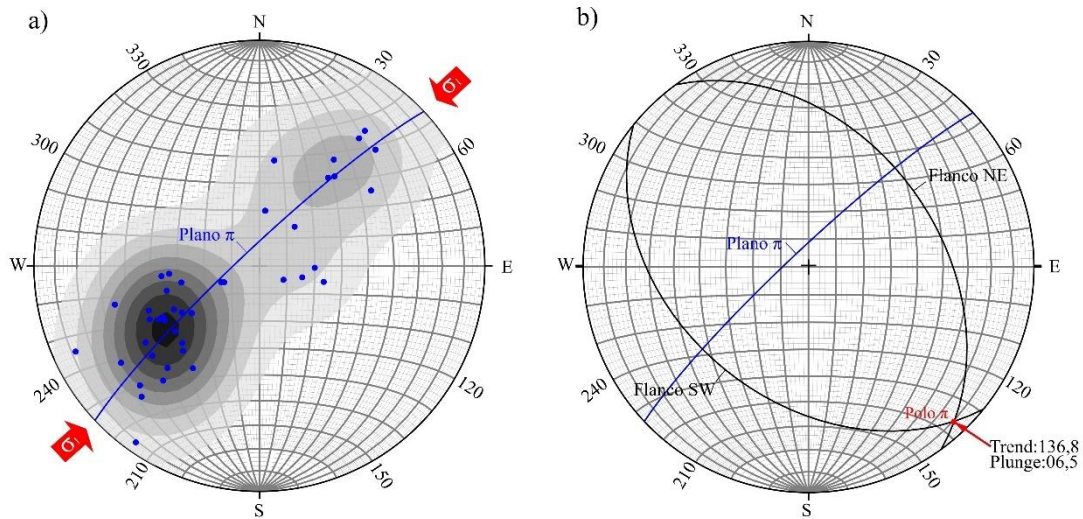


Figura 28. (a) Pliegue cilíndrico, con concentración los polos (diagrama de contornos) abarcados en el círculo π , esfuerzo mayor σ_1 graficado por flechas rojas (b) Planos de los flancos (líneas negras), inmersión de pliegue dado por el polo π .

En base al ploteo polos de los planos de estratificación de ambos flancos, y su disposición en el estereograma y al generar el Plano π , se muestra una geometría de pliegue cilíndrica, el diagrama de contornos nos da información de la forma, la cual es una zona de charnela bien definida. La dirección de los esfuerzos de compresión que dieron lugar la estructura del anticlinal de Huambocancha Baja tiende a ser paralelo al círculo π (Plano π), con una alineación de SW-NE. El plano π presenta un inclinación hacia NW, producto de ello el plegamiento muestra la línea de charnela (intersección de planos de flancos) con una inmersión hacia el SE dado por el valor de polo π : Trend 136.8°, Plunge 06,5°; producto de ello flanco NE presenta un cabeceo de 16,9° S y el flanco SW un cabeceo de 18,4°.

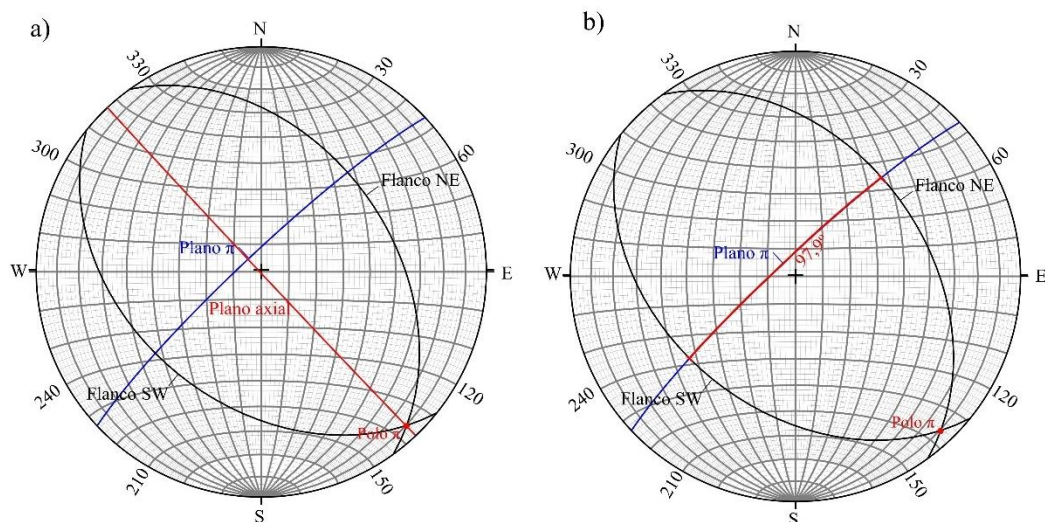


Figura 29. Estereograma (a) Eje de chanela (Plano axial, color rojo), Plano π (línea azul). (b) Ángulo interflancos (línea roja)

Las dirección de plano axial es del pliegue del anticlinal es N136,8° con un buzamiento de 89,5° tomado partir las perpendicular de plano π , por su buzamiento de plano axial se clasifica como como pliegue recto vertical (80°-90°); el ángulo de inmersión (plunge) de la línea de chanela es de 06,9° por lo que el anticlinal se clasifica como pliegue no buzando (0°-10°). Por último, el ángulo interflanco es de 97,9° y se ubica de dentro de la denominación de pliegue cerrado (30-70°)

Tabla 12. Clasificación plunge del pliegue.

Inmersión (Plunge)	Clase	Estereogramas
0 – 10 °	No buzante	1,2,3 y 4
10° - 30 °	Buzando suavemente	5, 6 y 7
30 ° - 60 °	Buzando moderadamente	8 y 9
60 ° - 80 °	Buzando fuertemente	
80° - 90 °	Pliegue vertical	10

Tabla 13. Clasificación de buzamiento plano axial.

Buzamiento	Clase	Estereogramas
0 – 10 °	Tumbado	4
10° - 30 °	Suavemente inclinado	3 y 7
30 ° - 60 °	Ligeramente inclinado	
60 ° - 80 °	Fuertemente inclinado	2,6 y 9
80° - 90 °	Pliegue recto (vertical)	1,5,8 y 10

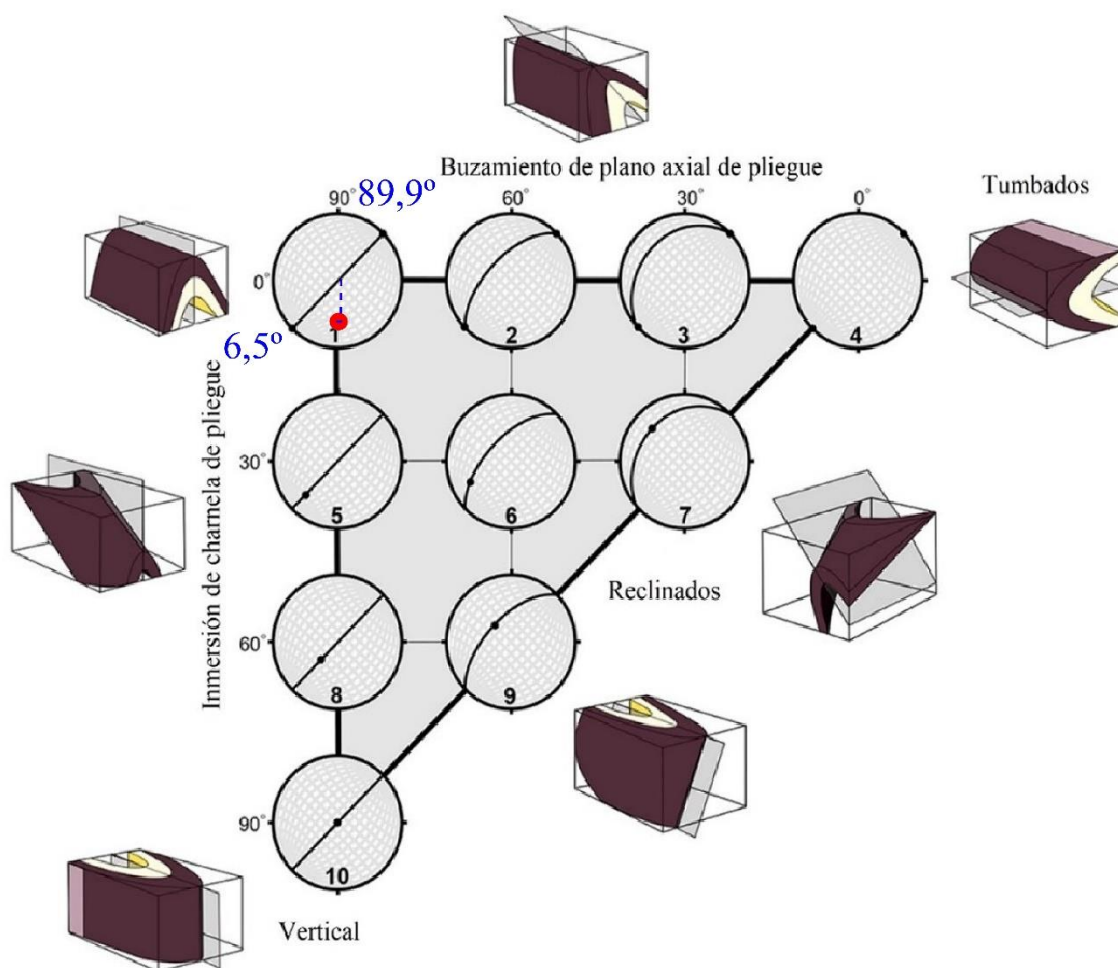


Figura 30. Buzamiento de plano axial vs ángulo de inmersión.

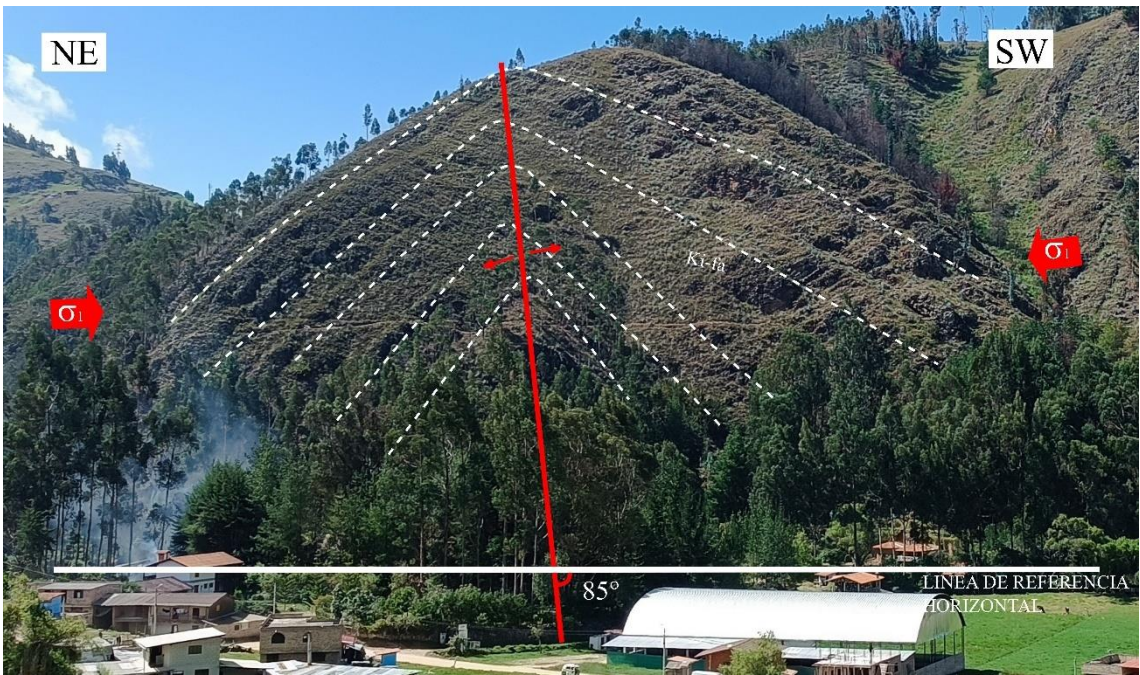
Tabla 14. Clasificación del pliegue Huambocancha Baja

Clasificación de pliegues según			
Su forma	Buzamiento del plano axial	Inmersión línea de chanela del pliegue	Ángulo interflanco
Pliegue anticlinal	Pliegue recto vertical	Pliegue no buzante	Pliegue abierto

Anticlinal Llushcapampa (P-02)

En el sector Llushcapampa, ubicado al norte de la zona de estudio, posee una estructura aflorante, en el cual las rocas areniscas de la Formación Farrat, por consiguiente en la clasifica en base su forma es un pliegue anticlinal, La orientación del azimuth de los estratos del flanco NE, es un promedio de N309°, con un buzamiento que fluctúa entre 40° y 85° al NE; el otro flanco (flanco SW) tiene un azimuth promedio de N114°, con buzamiento que oscila entre 45° y 70° al NW.

Los polos de los planos de estratificación de ambos flancos, muestra una geometría de pliegue cilíndrica, a su vez la concentración de polos muestra una forma de pliegue en Chevron (charnela angular y flancos rectos). En base a lo mencionado se generan Plano π . La dirección de los esfuerzos de compresión que dieron lugar la estructura del anticlinal de Llushcapampa tiende a ser paralelo al círculo π (Plano π), con una alineación de SW-NE. El plano π presenta un buzamiento hacia NW, producto de ello el plegamiento muestra la línea de charnela (intersección de planos de flancos) con una inmersión hacia el SE dado por el valor de polo π : Trend 123.3°, Plunge 15,9°; producto de ello flanco NE presenta un cabeceo de 16,9° S y el flanco SW un cabeceo de 18,4°.



Fotografía 18. Anticlinal Llushcapampa, en la formación Farrat, N: 9213892 E: 773176 cota:2843 m.s.n.m.

Tabla 15. Promedio de datos estructurales del anticlinal Llushcapampa.

Flanco	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales	
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento
Noreste	9213675	773645	2913	N 309°	72°NE
Suroeste	9213515	773605	2920	N 114°	62°SW

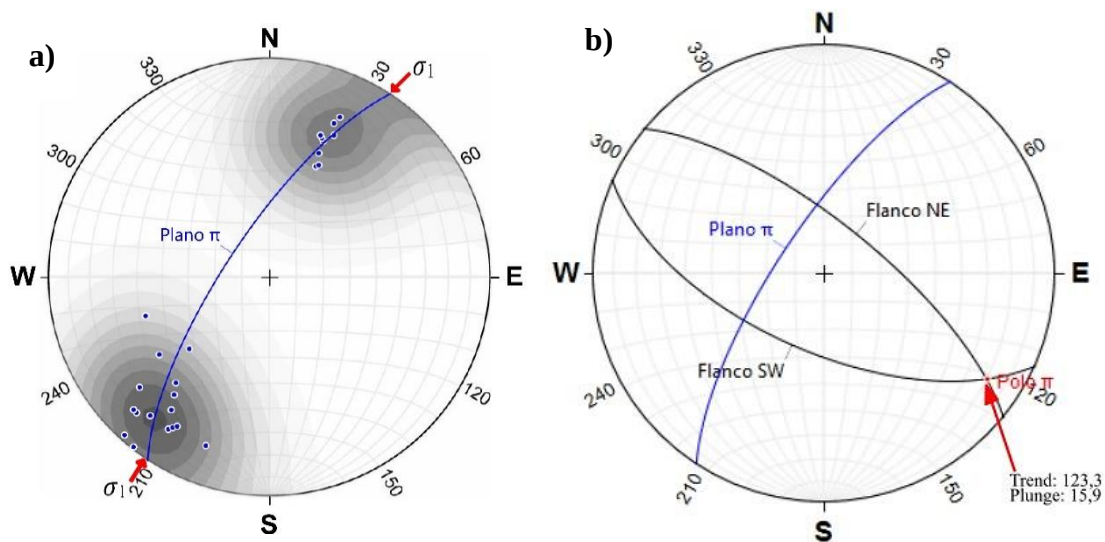


Figura 31. (a) Pliegue cilíndrico, con concentración los polos (diagrama de contornos) abarcados en el círculo π , esfuerzo mayor σ_1 graficado por flechas rojas (b) Planos de los flancos (líneas negras), inmersión de pliegue dado por el polo π .

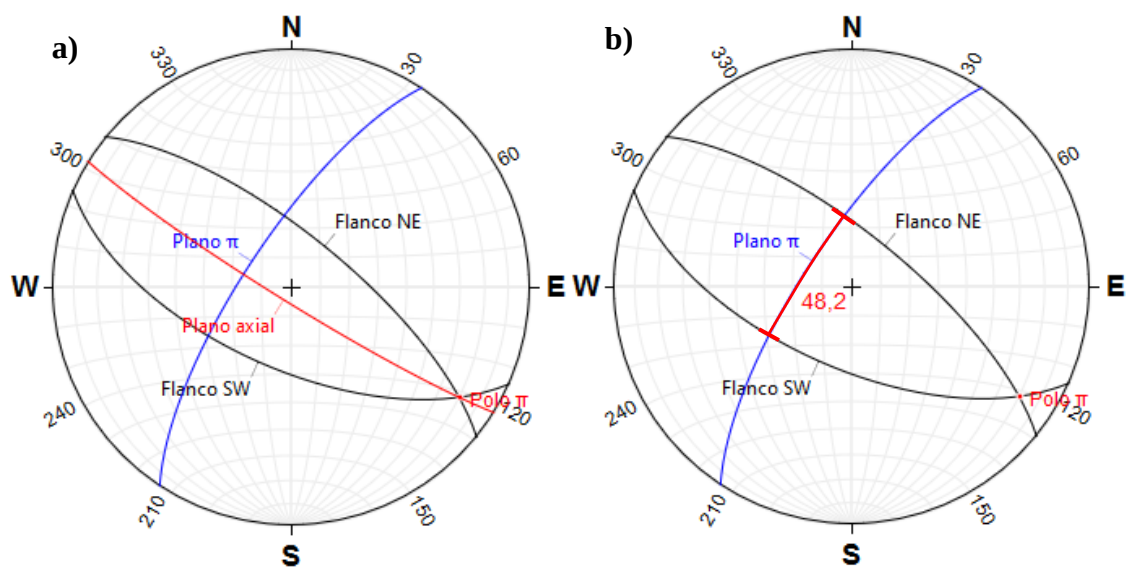


Figura 32. Estereograma (a) Eje de chanela (Plano axial, color rojo), Plano π (línea azul). (b) Ángulo interflancos (línea roja)

Las dirección de plano axial es del pliegue del anticlinal es N121,8° con un buzamiento de 85°SW tomado partir las perpendicular de plano π , por su buzamiento de plano axial se clasifica como como pliegue recto vertical (80°-90°); el ángulo de inmersión (plunge) de la línea de chanela es de 15,9° por lo que el anticlinal se clasifica como pliegue buzando suavemente (10°-30°). Por último, el ángulo interflanco es de 48,2° y se ubica de dentro de la denominación de pliegue cerrado (30-70°)

Tabla 16. Clasificación plunge del pliegue.

<i>Inmersión (Plunge)</i>	<i>Clase</i>	<i>Estereogramas</i>
0 – 10 °	No buzante	1,2,3 y 4
10° - 30 °	Buzando suavemente	5, 6 y 7
30 ° - 60 °	Buzando moderadamente	8 y 9
60 ° - 80 °	Buzando fuertemente	
80° - 90 °	Pliegue vertical	10

Tabla 17. Clasificación de buzamiento plano axial.

<i>Buzamiento</i>	<i>Clase</i>	<i>Estereogramas</i>
0 – 10 °	Tumbado	4
10° - 30 °	Suavemente inclinado	3 y 7
30 ° - 60 °	Ligeramente inclinado	
60 ° - 80 °	Fuertemente inclinado	2,6 y 9
80° - 90 °	Pliegue recto (vertical)	1,5,8 y 10

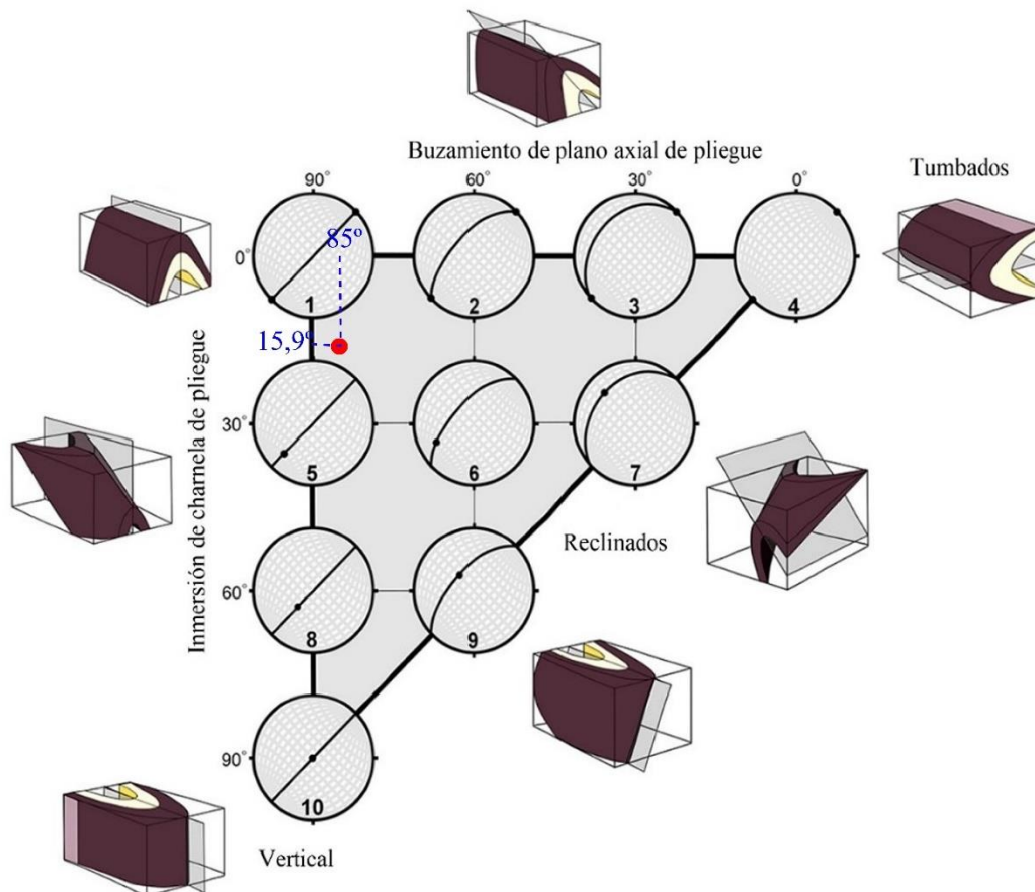


Figura 33. Buzamiento de plano axial vs ángulo de inmersión.

Tabla 18. Clasificación del pliegue Llushcapampa

Clasificación de pliegues según			
Su forma	Buzamiento del plano axial	Inmersión línea de chanela del pliegue	Ángulo interflanco
Pliegue anticlinal	Pliegue recto vertical	Pliegue buzando suavemente	Pliegue cerrado

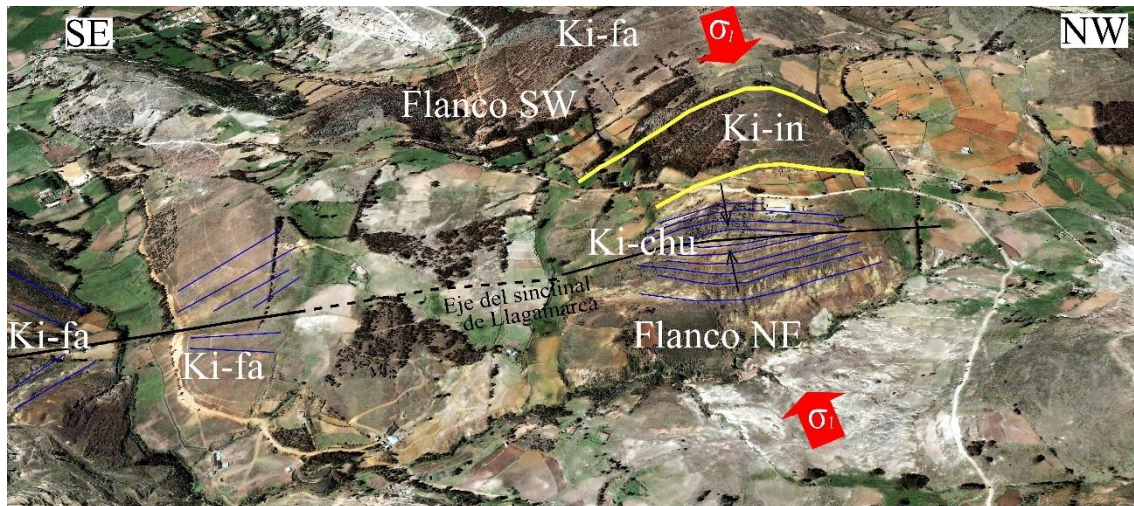
Sinclinal Llagamarca (P-03)

Ubicado en el caserío de Llagamarca, donde aflorar rocas de las Formaciones: Farrat, Inca y Chulec, teniendo como núcleo a la Formación Chulec (más reciente) y hacia los flancos Formación Inca. Por consiguiente, la clasificación en base su forma es un pliegue sinclinal, además de que en el sector este se encuentra cubierto por tobas de la Secuencia Volcánica San Jose (Volcánico Huambos).

El azimut y buzamiento de la estratificación de ambos flancos son los siguientes: La orientación del azimut de los estratos del flanco NE, es un promedio de N118°, con un buzamiento promedio de entre 42°SW; el otro flanco (flanco SW) tiene un azimut promedio de N316°, con buzamiento 67°NE.



Fotografía 19. Sinclinal Llagamarca, N: 9213892 E: 773176 cota:2843 m.s.n.m.



Fotografía 20. Imagen satelital del sinclinal Llagamarca.

Tabla 19. Promedio de datos estructurales del sinclinal Llagamarca.

Flanco	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales	
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento
Noreste	9213023	774735	2897	N 118°	42°SW
Suroeste	9213044	774440	2969	N 316°	67°NE

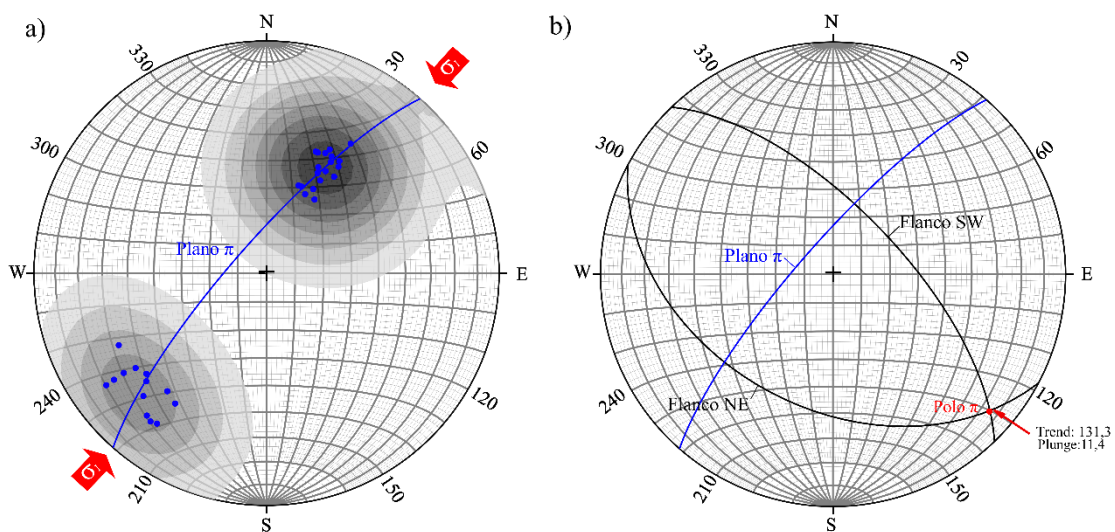


Figura 34. (a) Pliegue cilíndrico, con concentración los polos (diagrama de contornos) abarcados en el círculo π , esfuerzo mayor σ_1 graficado por flechas rojas (b) Planos de los flancos (líneas negras), inmersión de pliegue dado por el polo π .

Los polos de los planos de estratificación de ambos flancos y generación de plano π . Muestra una geometría de pliegue cilíndrica, el diagrama de contornos muestra nos muestras datos geométricos de la forma, la cual es una zona de charnela angular y flancos rectos. La dirección de los esfuerzos de compresión que dieron lugar la estructura del

sinclinal Llagamarca tiende a ser paralelo al círculo π (Plano π), con una alineación de SW-NE. El Plano π presenta un buzamiento hacia NW, producto de ello el plegamiento muestra la línea de charnela (intersección de planos de flancos) con una inmersión hacia el SW dado por el valor de polo π : Trend 131.3° , Plunge 11.4° ; producto de ello flanco NE presenta un cabeceo de 17.3° E y el flanco SW un cabeceo de 12.5° S.

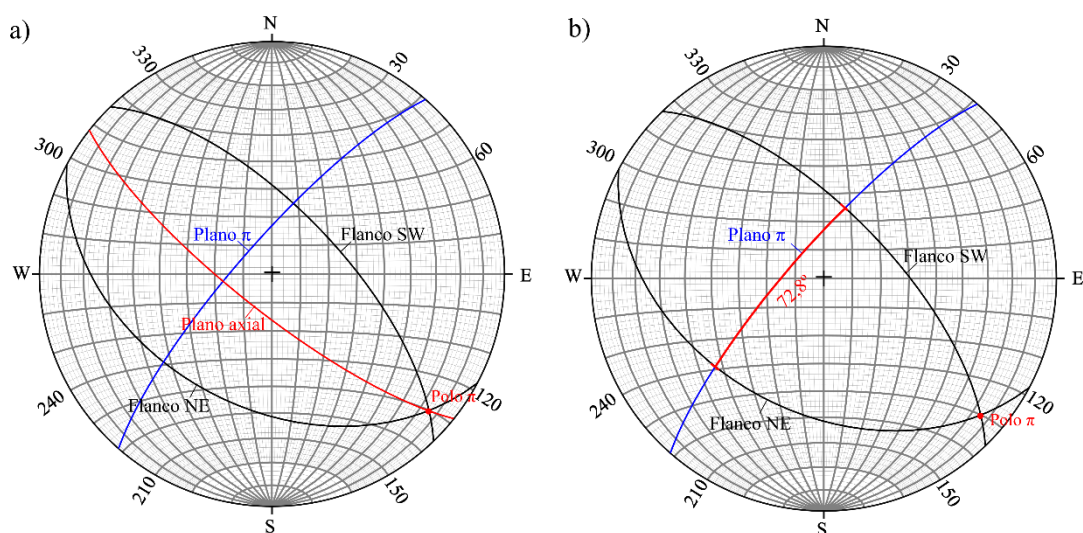


Figura 35. Estereograma (a) Eje de charnela (Plano axial, color rojo), Plano π (línea azul). (b) Ángulo interflancos (línea roja)

Las dirección de plano axial es del pliegue del sinclinal es $N128.4^\circ$ con un buzamiento de 77.4° SW tomado partir las perpendicular de plano π , por su buzamiento de plano axial se clasifica como como pliegue fuertemente inclinado (60° - 80°); el ángulo de inmersión (plunge) de la línea de charnela es de 11.4° por lo que el anticlinal se clasifica como pliegue buzando suavemente (10° - 30°). Por último, el ángulo interflanco es de 72.8° y se ubica de dentro de la denominación de pliegue abierto ($120^\circ \geq \theta > 70^\circ$)

Tabla 20. Clasificación plunge del pliegue.

Inmersión (Plunge)	Clase	Estereogramas
$0 - 10^\circ$	No buzante	1,2,3 y 4
$10^\circ - 30^\circ$	Buzando suavemente	5, 6 y 7
$30^\circ - 60^\circ$	Buzando moderadamente	8 y 9
$60^\circ - 80^\circ$	Buzando fuertemente	
$80^\circ - 90^\circ$	Pliegue vertical	10

Tabla 21. Clasificación de buzamiento plano axial.

<i>Buzamiento</i>	<i>Clase</i>	<i>Estereogramas</i>
0 – 10 °	Tumbado	4
10° - 30 °	Suavemente inclinado	3 y 7
30 ° - 60 °	Ligeramente inclinado	
60 ° - 80 °	Fuertemente inclinado	2,6 y 9
80° - 90 °	Pliegue recto (vertical)	1,5,8 y 10

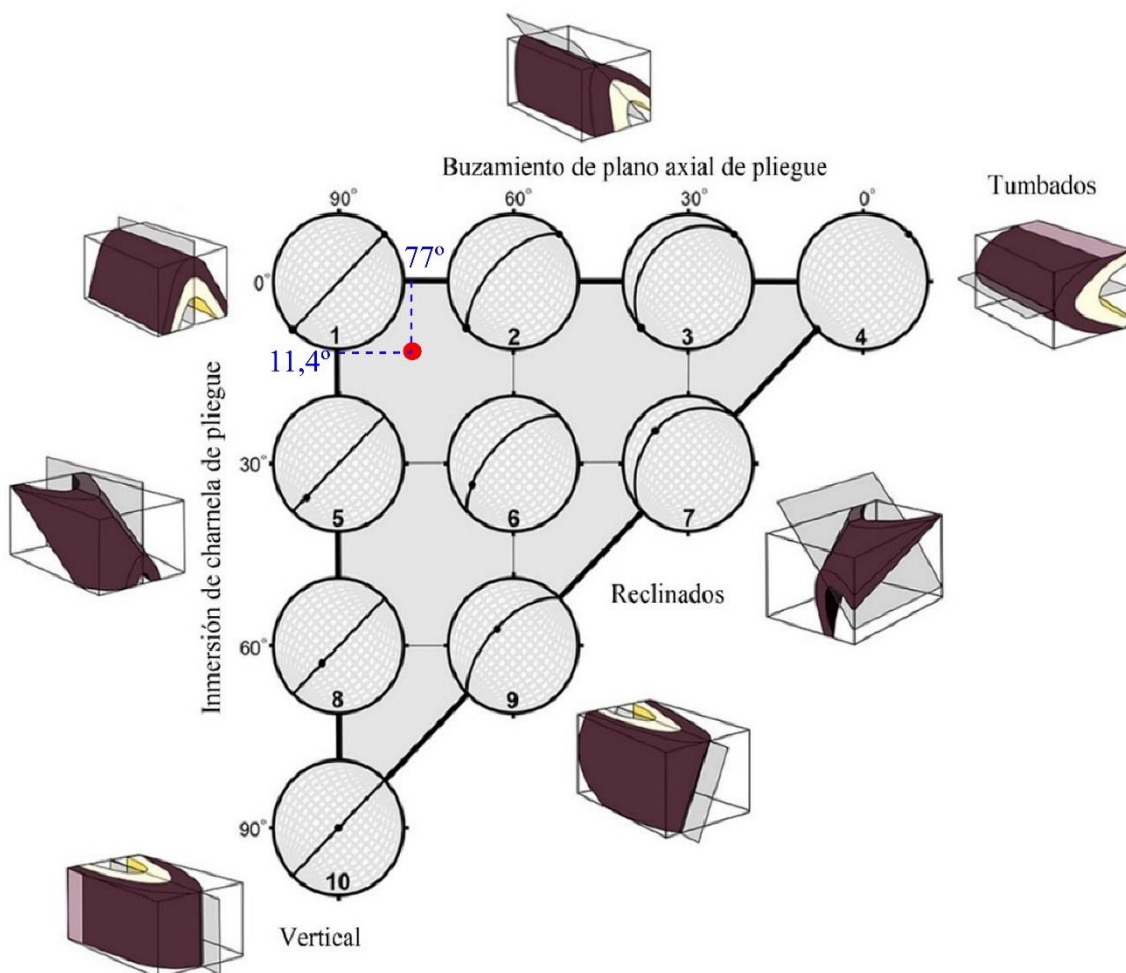


Figura 36. Buzamiento de plano axial vs ángulo de inmersión.

Tabla 22. Clasificación del pliegue Llushcapampa

<i>Clasificación de pliegues según</i>			
<i>Su forma</i>	<i>Buzamiento del plano axial</i>	<i>Inmersión línea de chanela del pliegue</i>	<i>Ángulo interflanco</i>
Pliegue sinclinal	Pliegue fuertemente inclinado	Pliegue buzando suavemente	Pliegue abierto

3.4.2 Fallas

Estación F-01.

Ubicada en quebrada Vizcachas, se identificó una falla con azimuth de N304°, buzamiento 82° NE, rake 95°. Se clasificó como falla deslizamiento vertical (dip slip). según su nomenclatura es falla inversa. afectando a rocas del cretácico inferior. la posición estratigráfica coloca en contacto a rocas areniscas de la Formación Farrat, y Pelitas carbonosas de la Formación Santa. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N40° y plunge 34°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N306° plunge 05°, esfuerzo menor σ_3 , trend N208° y plunge 56°, producto de un esfuerzo de compresión en la dirección NE-SW, actuando un régimen compresivo.

Tabla 23. Datos estructurales de la estación F-01

<i>Estación</i>	<i>Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S</i>			<i>Datos Estructurales</i>			
	<i>Norte</i>	<i>Este</i>	<i>Cota</i>	<i>Azimuth</i>	<i>Buzamiento</i>	<i>Rake</i>	<i>Cinematica</i>
F-01	9213809	773843	2867	N 304°	82°NE	95°	Ix



Fotografía 21. Vista panorámica de la falla inversa F-01, N: 9214392 E: 773157 Cota:2918.



Fotografía 22. Falla F-01 N: 9213809, E: 773843, Cota: 2867 m.s.n.m.



Fotografía 23. Indicadores cinemáticos de F-01

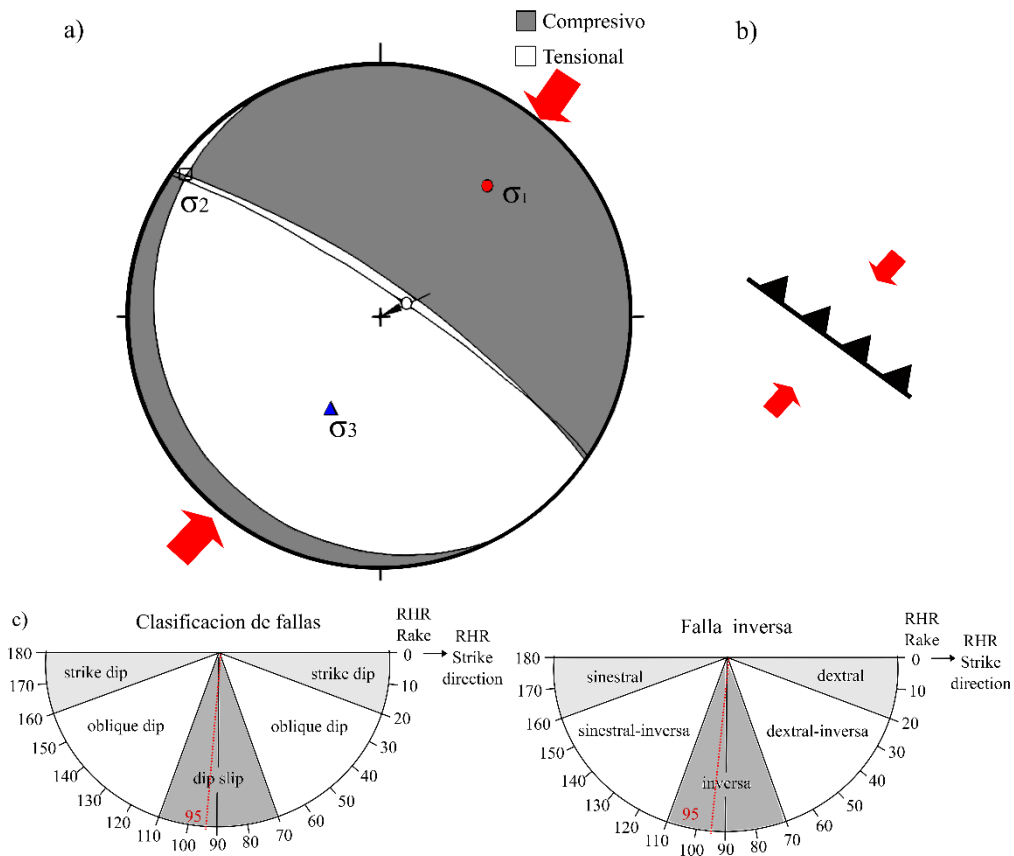


Figura 37. a) Proyección estereográfica de la estación F-01, b) simbología de la falla F-01. c) Clasificación de la falla F-01

Tabla 24. Datos lineales de los sigmas de la estación F-01

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.53	40°	34°	Horizontal	Compresivo
σ_2	0.34	306°	05°	Horizontal	
σ_3	0.13	208°	56°	Vertical	

Estación F-02

Ubicada en la quebrada Las Vizcachas proyectándose hasta quebrada Tigre ambas en el caserío Llagamarca, Se reconoció una falla con azimuth de N304°, buzamiento 82° NE, rake 42°. Clasificada como falla deslizamiento obliquo (oblique dip) y según su nomenclatura es falla dextral-inversa. Esfuerzo mayor σ_1 , trend N001° y plunge 22°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N112° y plunge 42°, esfuerzo menor σ_3 , trend N 251° y plunge 40°, producto de un esfuerzo compresión con dirección N-S y extensión en dirección NE-SW, actuando un régimen transformante.

Tabla 25. Datos estructurales de la estación F-02

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-02	9213785	773875	2873	N 304°	82° NE	42°	DxIx



Fotografía 24. Vista panorámica de la falla dextral en la quebrada Las Vizcachas F-02, N: 9214392 E: 773157 Cota:2918 m.s.n.m.



Fotografía 25. Vista panorámica falla dextral en la quebrada el Tigre N: 9213444, E: 774685, Cota: 2944 m.s.n.m.

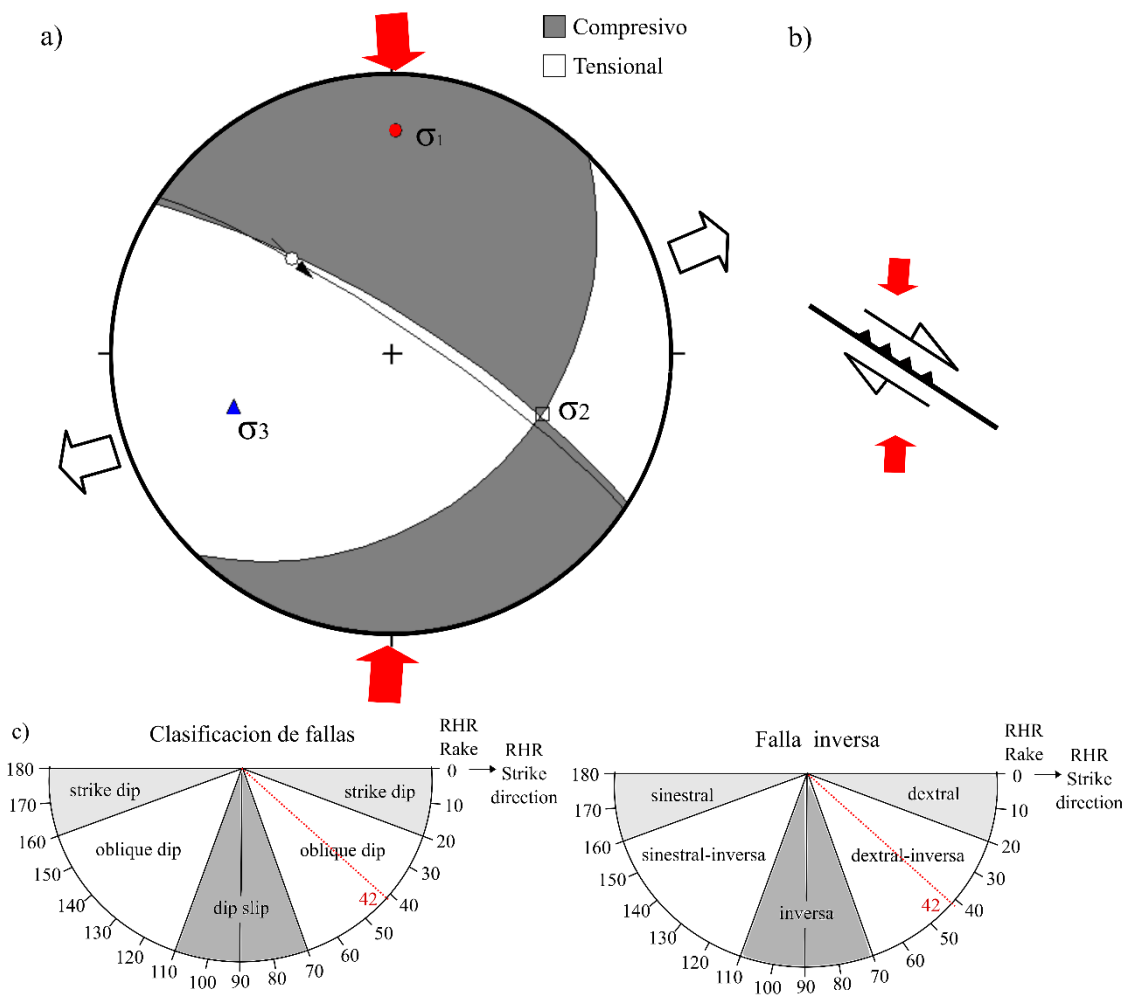


Figura 38. a) Proyección estereográfica de la estación F-02, b) Simbología de la falla F-02. c) Clasificación de falla.

Tabla 26. Datos lineales de los sigmas de la estación F-02

<i>EJE</i>	<i>P. R</i>	<i>TREND</i>	<i>PLUNGE</i>	<i>P. ANDERSON</i>	<i>REGIMEN</i>
σ_1	0.55	001°	22°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.33	112°	42°	Vertical	
σ_3	0.12	251°	40°	Horizontal	

Estación F-03

La estación F-03, se ubica en la quebrada la Vizcachas proyectándose hasta la quebrada El Tigre ambas en el caserío Llagamarca. Se identificó una falla con azimut de N304°, buzamiento 82° NE, rake 102°. La falla Las Vizcachas muestra estrías, dejando huella de movimiento normal por encima de la inversa inicial. Se clasifica como falla deslizamiento vertical (dip slip) y según su nomenclatura es falla normal. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N197° y plunge 50, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N306° y plunge 15°, esfuerzo menor σ_3 , trend N047° y plunge 36°, por lo que genera es un esfuerzo de distensión en la dirección NE-SW actuando como régimen transformante.

Tabla 27. Datos estructurales de la estación F-03

<i>Estación</i>	<i>Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S</i>			<i>Datos Estructurales</i>			
	<i>Norte</i>	<i>Este</i>	<i>Cota</i>	<i>Azimut</i>	<i>Buzamiento</i>	<i>Rake</i>	<i>Cinematica</i>
F-03	9213754	773927	2885	N 304°	82 ° NE	102°	Nx



Fotografía 26. Vista panorámica de la falla normal en la quebrada Las Vizcachas F-03, N: 9214531 E: 773197 Cota:2918.



Fotografía 27. Vista panorámica falla normal en la quebrada el Tigre N: 9212875 E: 776084 Cota:2988 m.s.n.m.

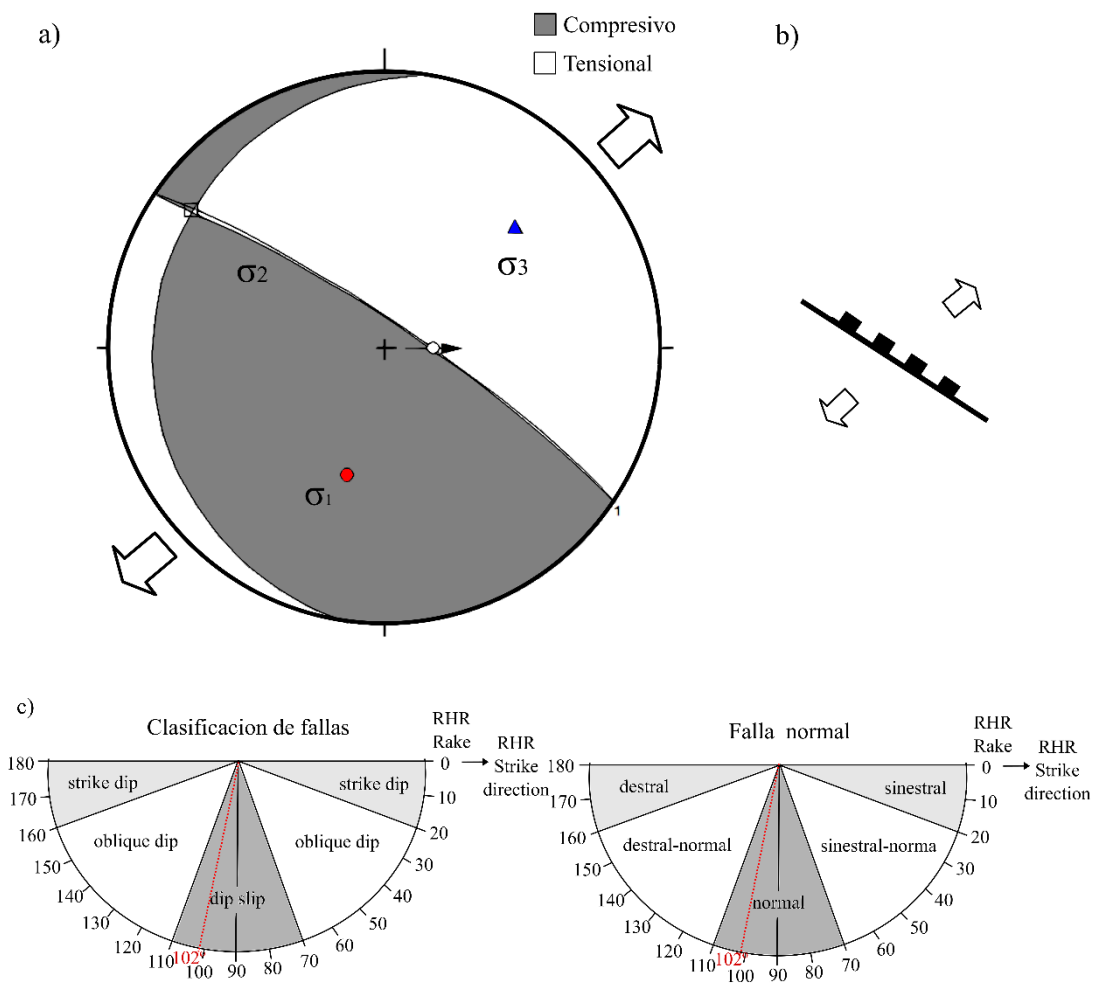


Figura 39. a) Proyección estereográfica de la estación F-03, b) Simbología de la falla F-03. c) Clasificación de fallas.

Tabla 28. Datos lineales de los sigmas de la estación F-03

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.53	197°	50°	Horizontal	Distensivo
σ_2	0.34	306°	15°	Vertical	
σ_3	0.12	047°	36°	Horizontal	

Estación F-04

ubicada en margen derecha agua arriba en el Río Grande, cortando perpendicular del anticlinal Llushcapampa, en rocas Formación Farrat. Se reconoció una falla con azimut de N 220°, buzamiento 64° NW, rake 05°, se clasifica como falla de deslizamiento de rumbo (strike dip) y según su nomenclatura es falla dextral. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N84° y plunge 12°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N325° y plunge 66°, esfuerzo menor σ_3 , trend N179° y plunge 21°, por lo que genera un esfuerzo de compresión en la dirección W-E y una distensión de dirección N-S, actuando como régimen transformante.

Tabla 29. Datos estructurales de la estación F-04

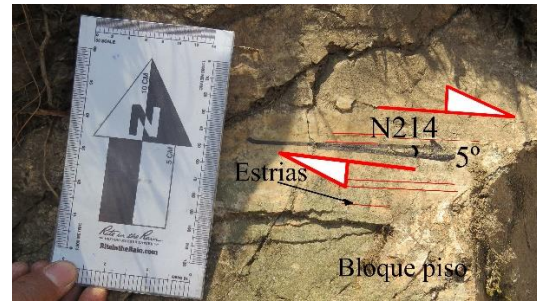
Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinematica
F-04	9213729	773552	2820	N 220°	64° NW	5°	Dx



Fotografía 28. Vista panorámica de la falla dextral en el Río Grande F-04, N: 9213589 E: 773712 Cota:2973 m.s.n.m.



Fotografía 29. Panorámica de la falla dextral en la Río Grande N: 9212866 E: 772234 Cota:2902 m.s.n.m



Fotografía 30. Movimiento de la falla e indicadores cinemáticos N: 9213729, E: 773552, Cota: 2820 m.s.n.m.

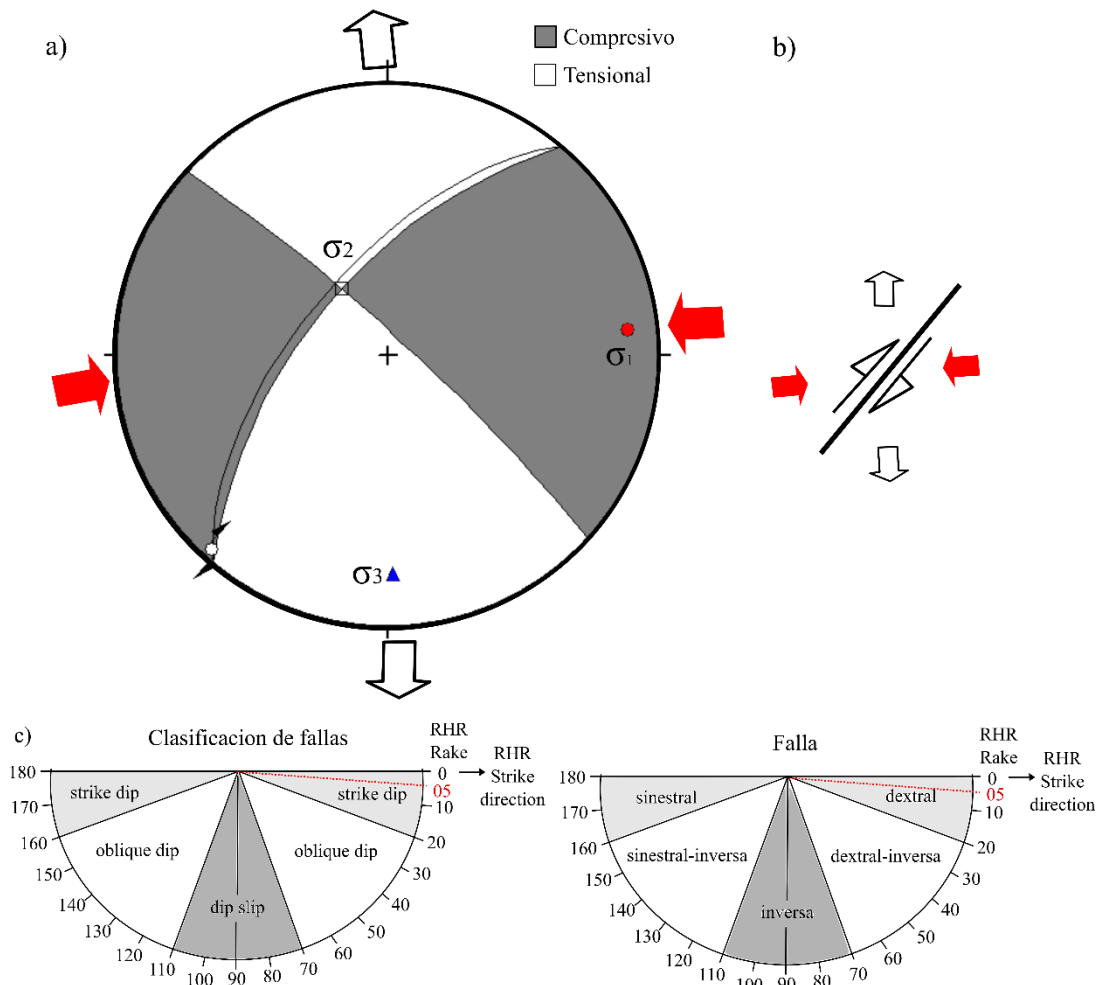


Figura 40. a) Proyección estereográfica de la estación F-04, b) Simbología de la falla F-04. c) Clasificación de falla.

Tabla 30. Datos lineales de los sigmas de la estación F-04

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.56	084°	12°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.32	325°	66°	Vertical	
σ_3	0.13	179°	21°	Horizontal	

Estación F-05

Ubicada en el caserío Llushcapampa, afectando a rocas areniscas de la Formación Farrat. Se identificó una falla con azimuth de N243, buzamiento 74°, rake 93°. La falla F-02-B tiene un rake de 93°, se clasifica como falla de deslizamiento vertical (dip slip) y según su nomenclatura es normal. Con esfuerzo mayor σ_1 , dirección trend N149° y plunge 61°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N244° y plunge 03°, esfuerzo menor σ_3 , trend N336° y plunge 29°, generado por un esfuerzo de distensión de dirección NNW-SSE, actuando como un régimen distensivo.

Tabla 31. Datos estructurales de la F-05

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinematica
F-05	9213605	773512	2844	N 243°	74°	93°	Nx



Fotografía 31. Vista panorámica de la F-05 en el margen derecho de Río Grande F-05, N: 9214528 E: 773198 Cota: 2951 m.s.n.m.



Fotografía 32. Falla normal N: 9213605 E: 773512 Cota: 2844 m.s.n.m.

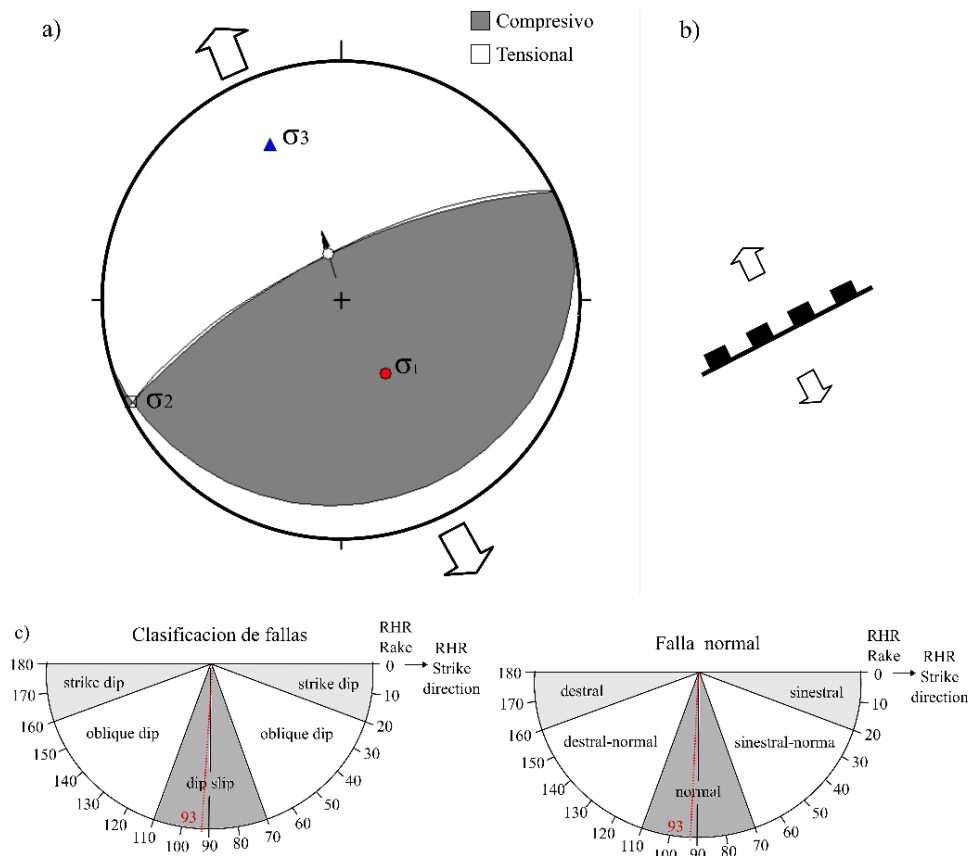


Figura 41. a) Proyección estereográfica de la estación F-05, b) Simbología de la falla F-05. c) Clasificación de fallas.

Tabla 32. Datos lineales de los sigmas de la estación F-05

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.55	149°	61°	Vertical	Distensivo
σ_2	0.33	244°	03°	Horizontal	
σ_3	0.12	336°	29°	Horizontal	

Estación F-06

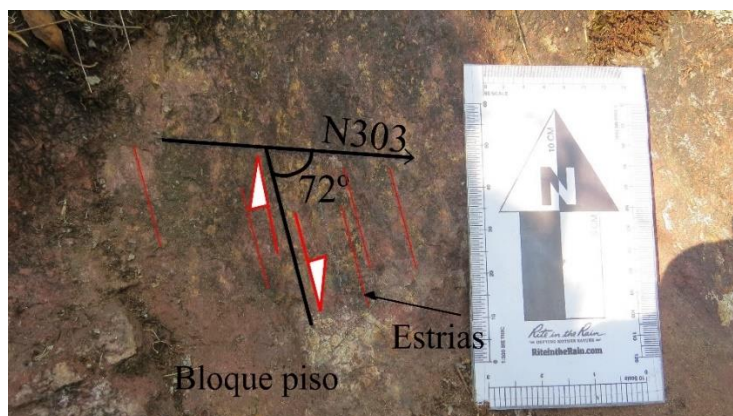
Se identificó una falla Azimut de N 303°, buzamiento 43° NE, rake 72°. se clasifica como falla de deslizamiento vertical (dip slip) y según su nomenclatura es falla normal. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N305° y plunge 77°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N109° y plunge 13°, esfuerzo menor σ_3 , trend N200° y plunge 04°, producto de un esfuerzo de distensión de dirección NNE-SSW, actuando un régimen distensivo.

Tabla 33. Datos estructurales de la estación F-06

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-06	9213489	773350	2818	N 303°	43° NE	72°	Nx



Fotografía 33. Vista panorámica de F-06, N: 9213911, E: 773214, Cota: 2844 m.s.n.m.



Fotografía 34. Indicadores cinemáticos de F-06 N: 9213489, E: 773350, Cota: 2818 m.s.n.m.

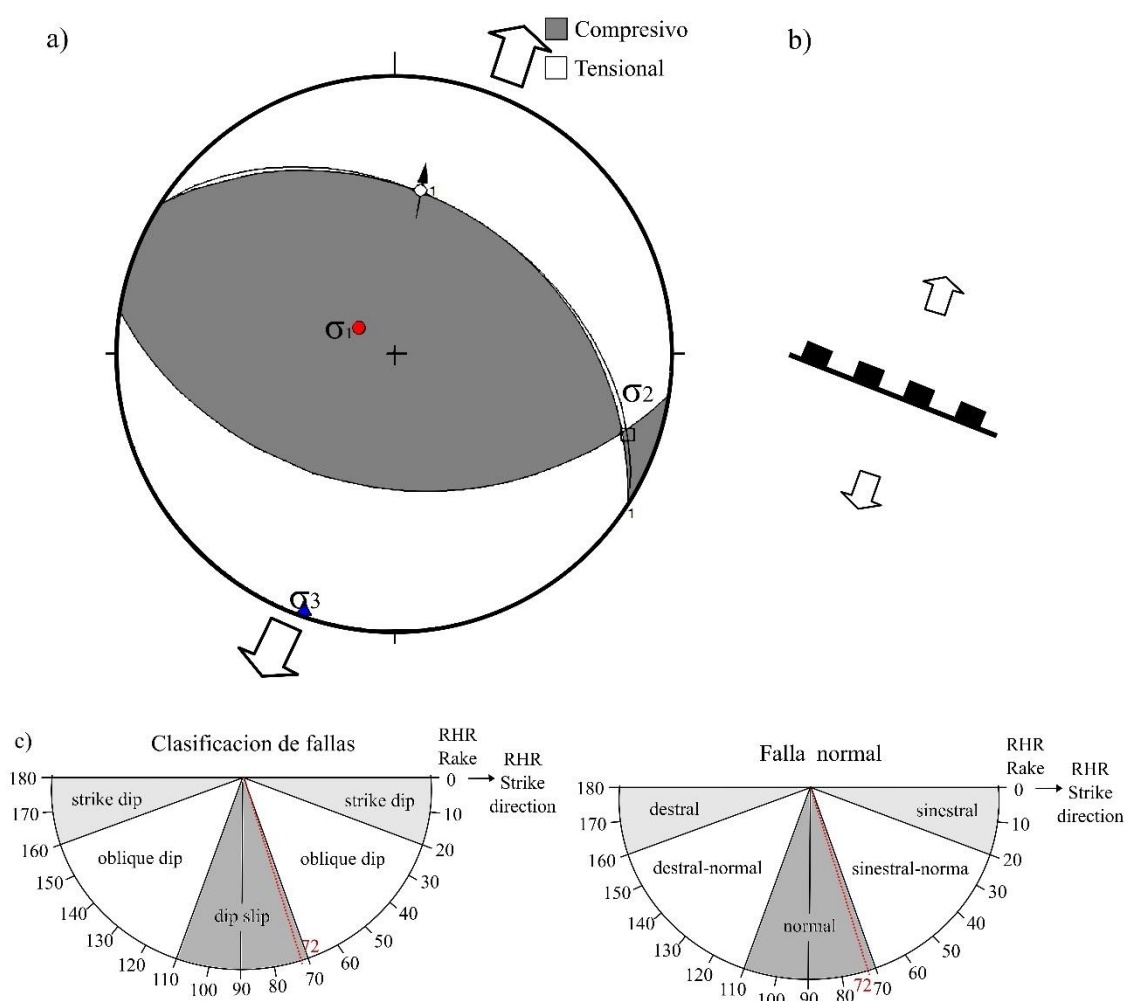


Figura 42. a) Proyección estereográfica de la estación F-06 b) Simbología de la falla F-06. c) Clasificación de falla.

Tabla 34. Datos lineales de los sigmas de la estación F-06

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.55	305°	77°	Vertical	Distensivo
σ_2	0.34	109°	13°	Horizontal	
σ_3	0.12	200°	04°	Horizontal	

Estación F-07

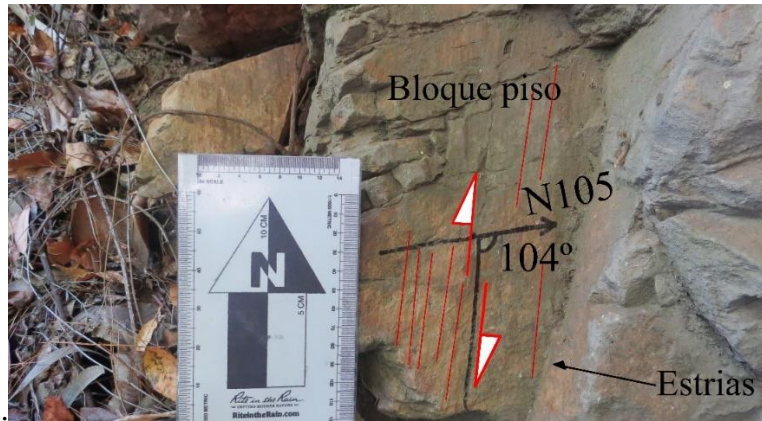
Ubicada en el caserío Llushcapampa, Se identificó una falla con azimuth de N 105°, buzamiento 43° SW, rake 104°, se clasifica como falla de deslizamiento vertical (dip slip) y según su nomenclatura es falla normal. esfuerzo mayor σ_1 , trend N287° y plunge 80°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N115° y plunge 10°, esfuerzo menor σ_3 , trend N025° y plunge 03°, producto de un esfuerzo de distensión de dirección NNE-SSW, actuando un régimen distensivo.

Tabla 35. Datos estructurales de la estación F-07

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-07	9213546	773465	2830	N 105°	43° SW	104°	Nx



Fotografía 35. Vista panorámica de la falla F-07, N: 9213884, E: 773154, Cota: 2843 m.s.n.m.



Fotografía 36. Indicadores cinemáticos de F-07, N: 9213546, E: 773465, Cota: 2830 m.s.n.m.

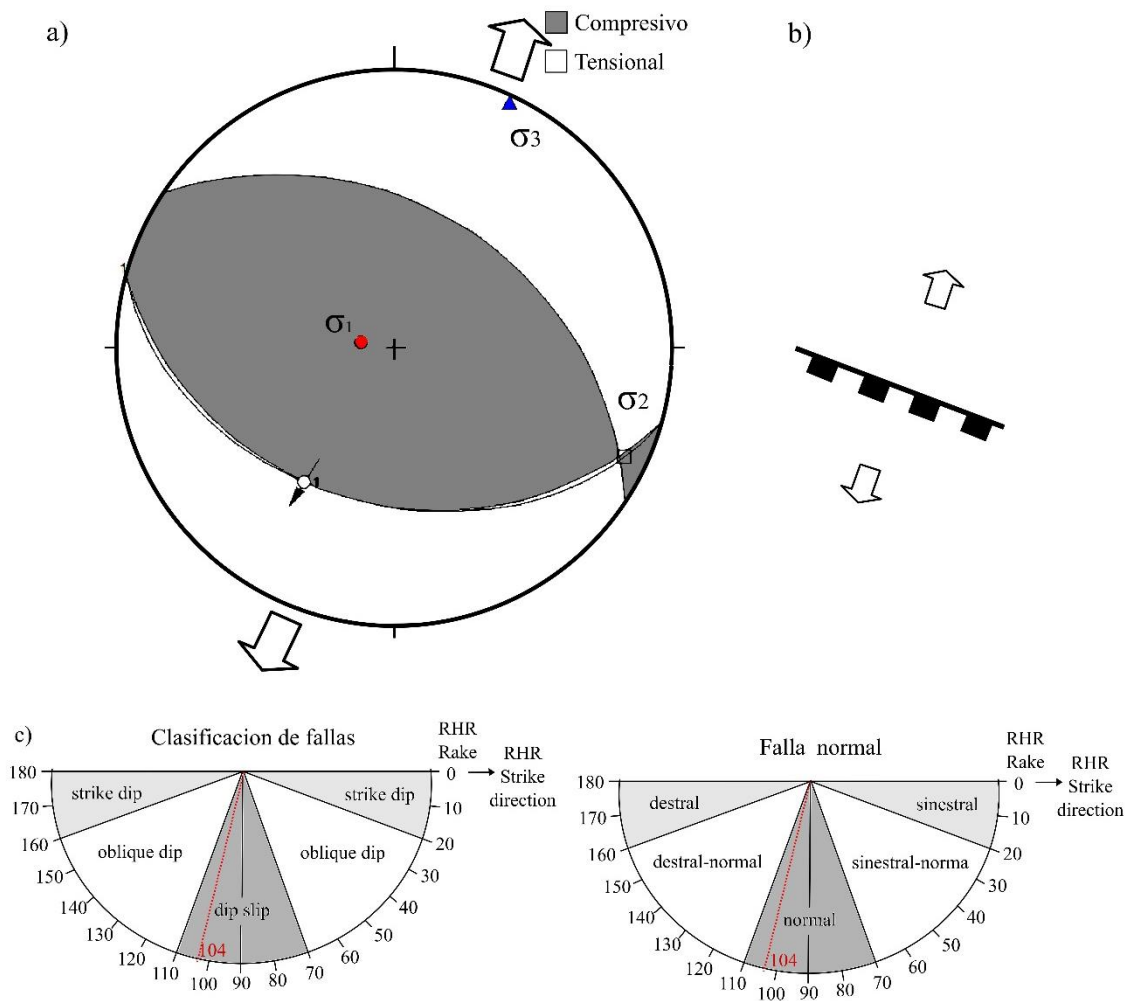


Figura 43. a) Proyección estereográfica de la estación F-07 b) Simbología de la falla F-07. c) Clasificación de falla.

Tabla 36. Datos lineales de los sigmas de la estación F-07

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.55	287°	80°	Vertical	Distensivo
σ_2	0.33	115°	10°	Horizontal	
σ_3	0.12	025°	03°	Horizontal	

Estación F-08

Ubicada en la quebrada Chucchapuquio, en flanco NE del anticlinal de Huambocancha Baja, en rocas areniscas Formación Farrat. Se identificó una falla con los siguientes datos: primero con azimut de N205°, buzamiento 77°NW, rake 2°, el segundo con azimut N207°, buzamiento 85°NW, rake 2°, el tercero con Azimut N206°, buzamiento 86°NW, rake 3°, por último, con azimut N199°, buzamiento 75°NW, rake 2°. Se clasifica como falla deslizamiento de rumbo (strike slip) y según su nomenclatura es falla siniestral. Esfuerzo mayor σ_1 , trend N160° y plunge 06°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N303° y plunge 82°, esfuerzo menor σ_3 , trend N69° y plunge 05°, generado por un esfuerzo de compresión en la dirección NNW-SSE y una distensión de dirección ENE-WSW, actuando un régimen transformante.

Tabla 37. Datos estructurales de la estación F-08

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-08	9212684	773736	2885	N 205°	77° NW	2°	Sx
				N 207°	85° NW	2°	Sx
				N 206°	86° NW	3°	Sx
				N 199°	75° NW	2°	Sx



Fotografía 37. Vista panorámica de la F-08 N: 9211809 E: 773570 Cota: 2753 m.s.n.m.



Fotografía 38. Indicadores cinemáticos de F-08 N: 9212684, E: 773736, Cota: 2885 m.s.n.m.

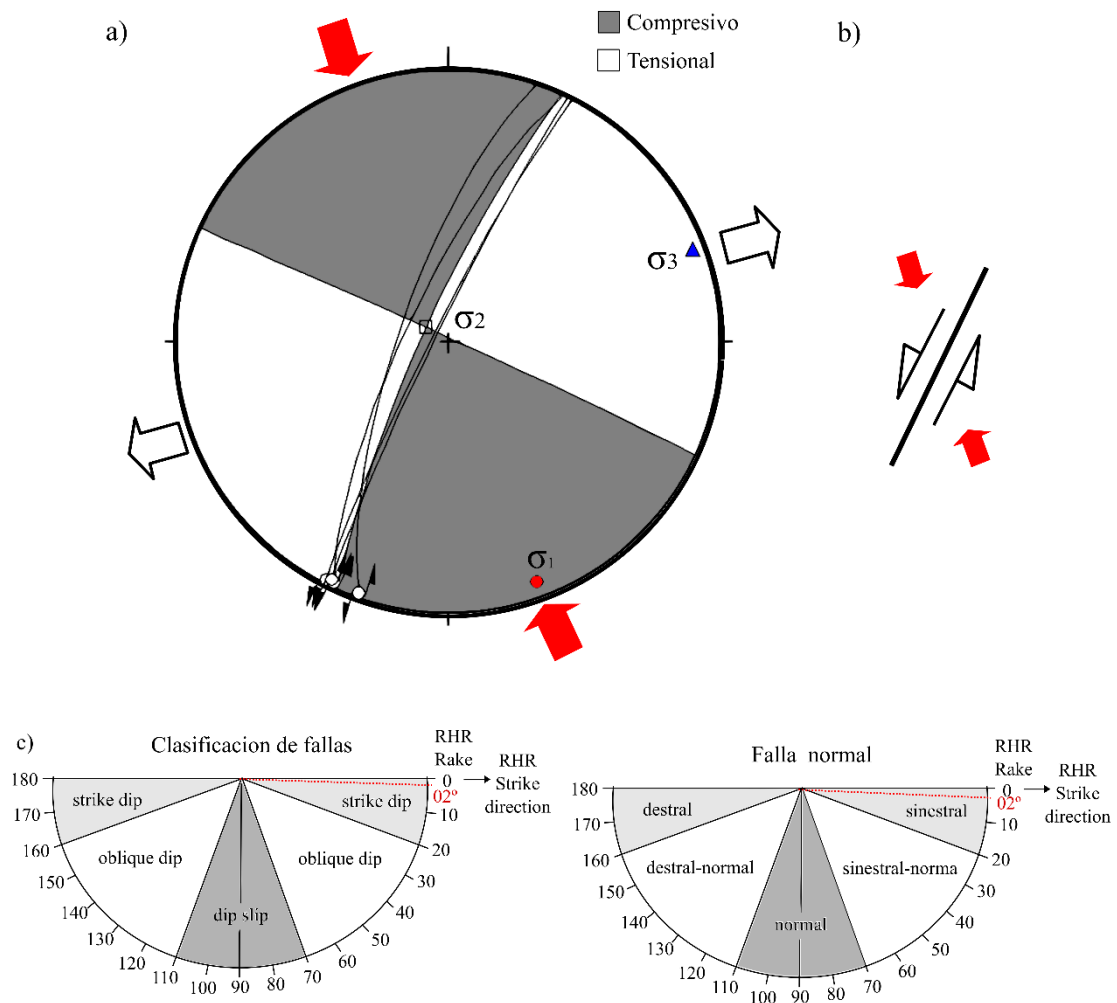


Figura 44. a) Proyección estereográfica de la estación F-08. b) simbología de la falla F-08, c) Clasificación de falla.

Tabla 38. Datos lineales de los sigmas de la estación F-08

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.56	160°	06°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.32	303°	82°	Vertical	
σ_3	0.13	69°	05°	Horizontal	

Estación F-09

Localizada en la quebrada Illica, en rocas areniscas de la Formación Farrat. Se identificó una falla con azimut de N190°, buzamiento 60°NW, rake 157°. se clasifica como falla deslizamiento obliquo (oblique dip) y por lo que la nomenclatura es falla siniestral-inversa. con esfuerzo mayor σ_1 , trend N140° y plunge 05°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N237° y plunge 52°, esfuerzo menor σ_3 , trend N46° y plunge 37°, producto de un esfuerzo

de compresión en la dirección NW-SE y una distensión de dirección NE-SW, actuando un régimen transformante.

Tabla 39. Datos estructurales de la estación F-09

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-09	9212255	774551	2894	N 190°	60°NW	157°	SxIx

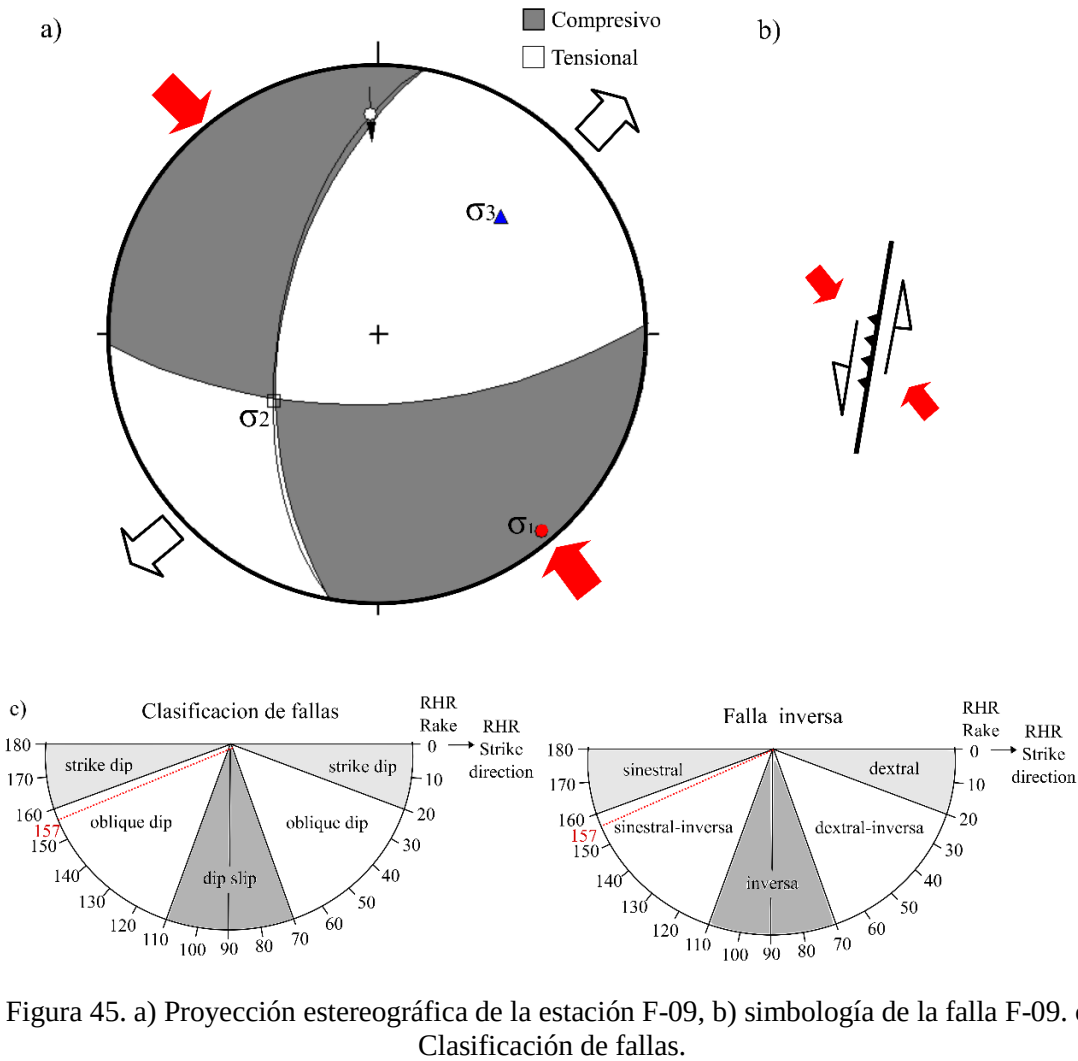
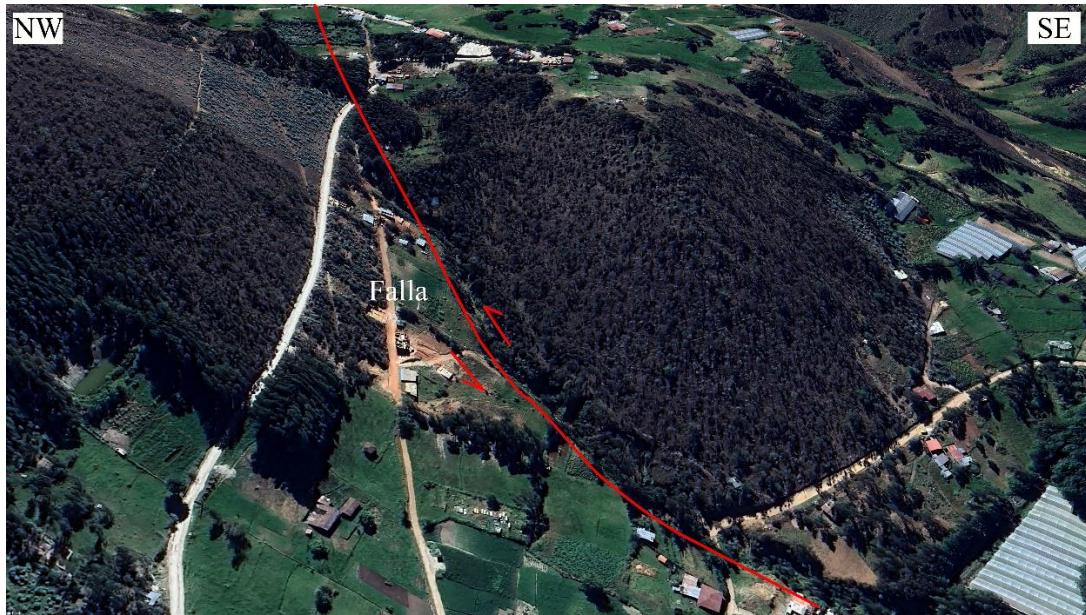
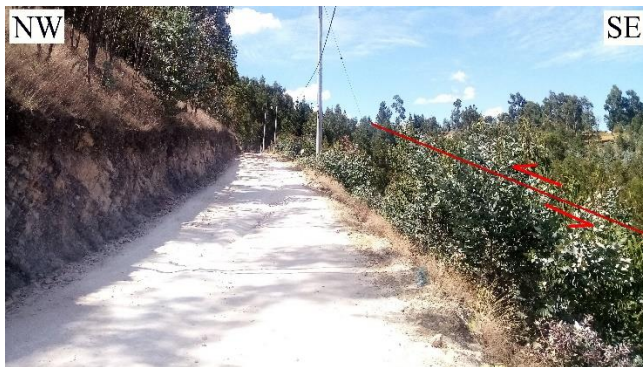


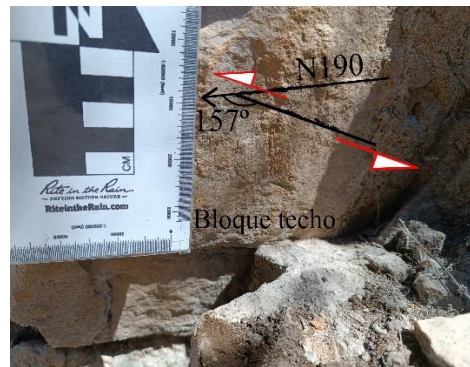
Figura 45. a) Proyección estereográfica de la estación F-09, b) simbología de la falla F-09. c) Clasificación de fallas.



Fotografía 39. Vista satelital de Google earth de F-09



Fotografía 40. Vista panorámica de F-09 N: 9212278, E: 774569, Cota:2890 m.s.n.m.



Fotografía 41. Indicadores cinemáticos de F-09 N: 9212255, E: 774551, Cota:2894 m.s.n.m.

Tabla 40. Datos lineales de los sigmas de la estación F-09

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.56	140°	05°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.31	237°	52°	Vertical	
σ_3	0.12	46°	37°	Horizontal	

Estación F-10

Situada en el caserío Nuevo Perú, en una secuencia de tobas volcánicas. Se reconoció una la falla con azimuth de N137°, buzamiento 86°SW, rake 92°. Se clasifica como falla de deslizamiento vertical (dip slip) y según su nomenclatura es normal. Con un esfuerzo mayor σ_1 , trend N46° y plunge 49°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N137° y plunge 01°,

esfuerzo menor σ_3 , trend N228° y plunge 41°, generado por un esfuerzo de una extensión de dirección NE-SW, actuando un régimen distensivo.

Tabla 41. Datos estructurales de la estación F-10

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-10	9212088	774355	2878	N 137°	86°SW	92°	Nx

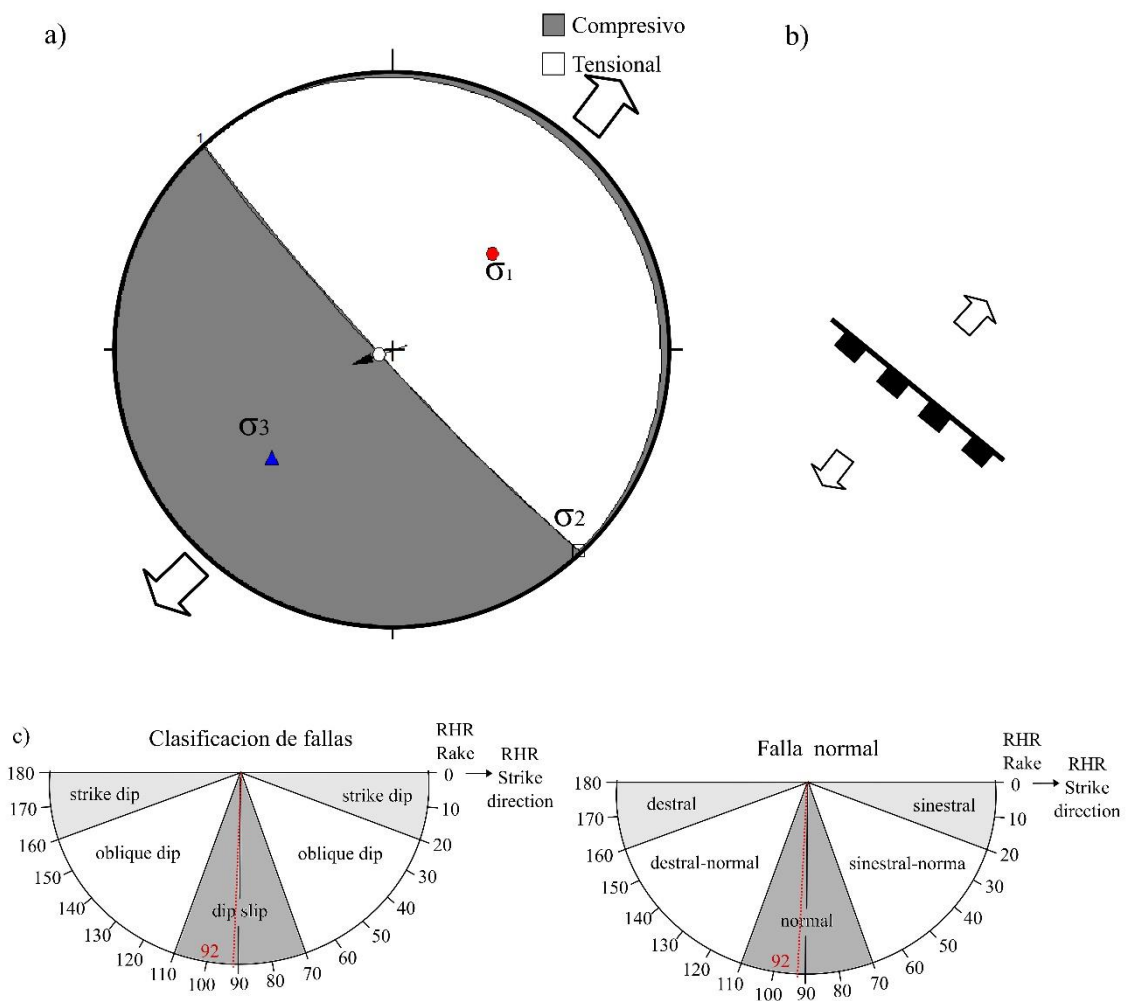


Figura 46. a) Proyección estereográfica de la estación F-10, b) Simbología de la falla F-10. c) Clasificación de fallas



Fotografía 42. Vista panorámica de falla normales
N: 9211817 E: 772931 Cota: 2893 m.s.n.m.



Fotografía 43. a) Falla normal de en secuencia volcánicas de tobas, N: 9212088, E:774355 Cota: 2878 m.s.n.m.

Tabla 42. Datos lineales de los sigmas de la estación F-10

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.54	046°	49°	Vertical	Distensivo
σ_2	0.34	137°	01°	Horizontal	
σ_3	0.12	228°	41°	Horizontal	

Estación F-11

Situada en el caserío Chincimachay, en una secuencia de tobas del Volcánico Huambos. Se identificó una falla con azimuth N315°, buzamiento 87°NE, rake 88°. Se clasifica como falla de deslizamiento vertical (dip slip) y según su nomenclatura es normal. Esfuerzo mayor σ_1 , trend N133° y plunge 71°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N311° y plunge 19°, esfuerzo menor σ_3 , trend N041° y plunge 01°, por lo que genera es un esfuerzo de una extensión de dirección NE-SW, actuando como régimen distensivo.

Tabla 43. Datos estructurales de la estación F-11

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-11	9211577	773899	2768	N 315°	87°NE	88°	Nx

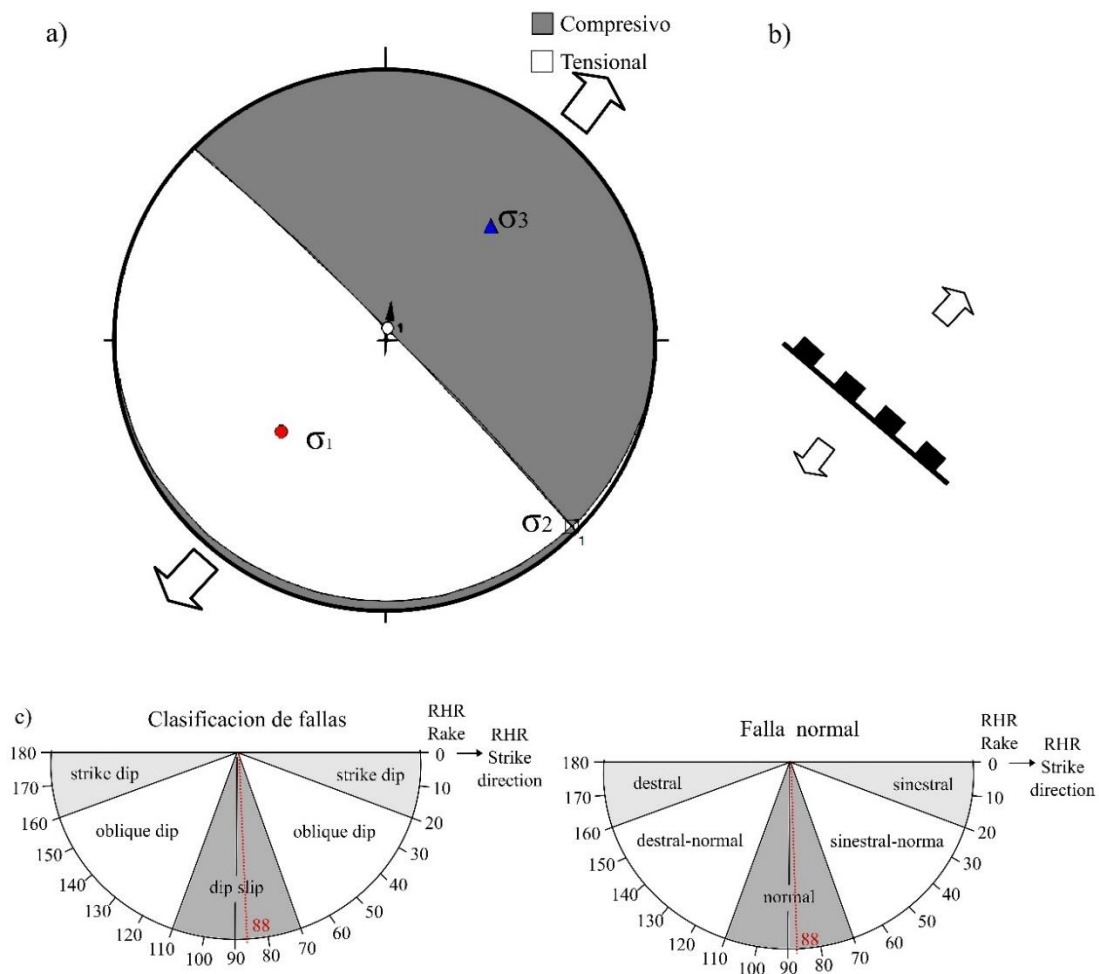


Figura 47. a) Proyección estereográfica de la estación F-11, b) Simbología de la falla F-11. c) Clasificación de fallas



Fotografía 44. Vista panorámica de F-10
N: 9212571 E: 774215 Cota: 3061
m.s.n.m.



Fotografía 45. Falla normal en tobas N:
921257 E: 774899 Cota: 2768 m.s.n.m.

Tabla 44. Datos lineales de los sigmas de la estación F-11

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.35	229°	48°	Vertical	Distensivo
σ_2	0.35	135°	03°	Horizontal	
σ_3	0.12	042°	42°	Vertical	

Estación F-12

Ubicada en la margen izquierda del río Sanmbar, aflorando rocas detríticas de la Formación Carhuaz, Se identificó una falla con azimuth de N344°, buzamiento 64° NE, rake 5°. Se clasifico como falla de deslizamiento de rumbo (strike slip) y según su nomenclatura es dextral. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N208° y plunge 12°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N90° y plunge 66°, esfuerzo menor σ_3 , trend 303° y plunge 21°, generando por un esfuerzo de compresión en la dirección NNE-SSW y una distensión de dirección NNW-SSE, actuando un régimen transformante.

Tabla 45. Datos estructurales de la estación F-12

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-12	9211838	775143	2765	N344°	64°NE	5°	Dx

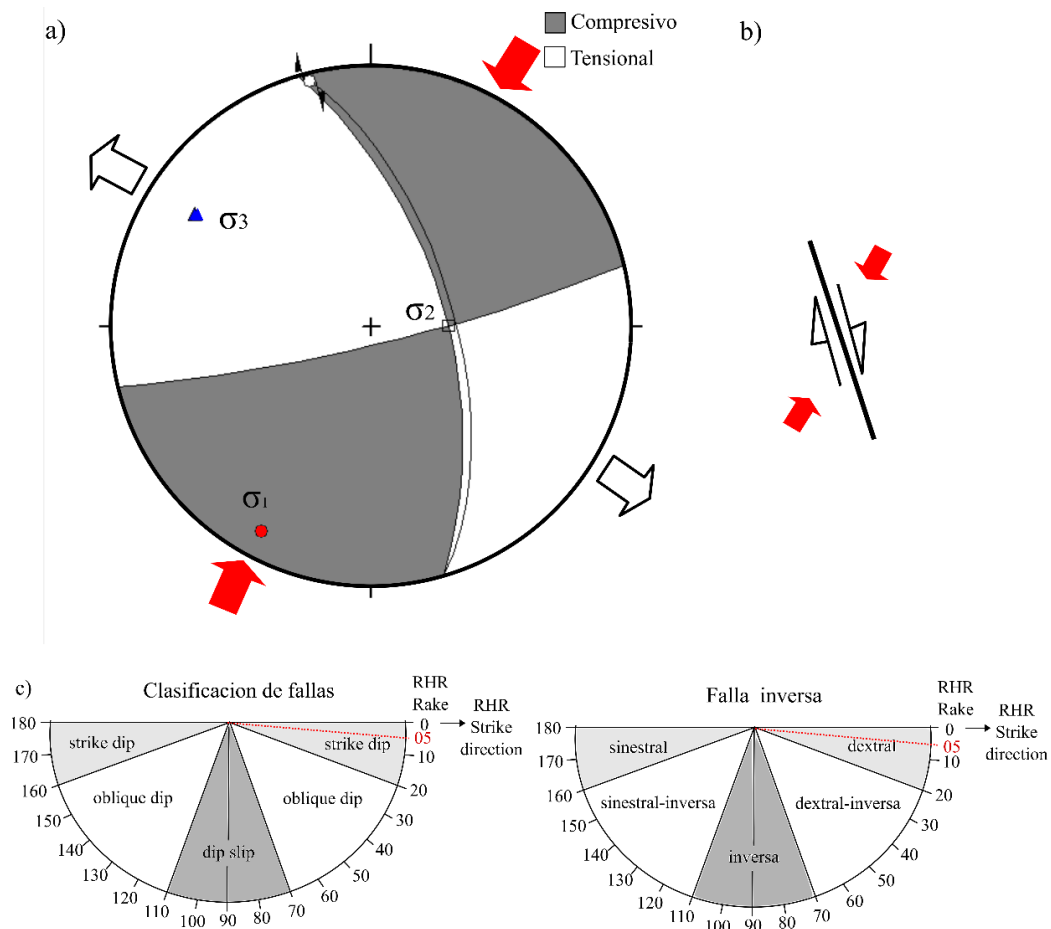
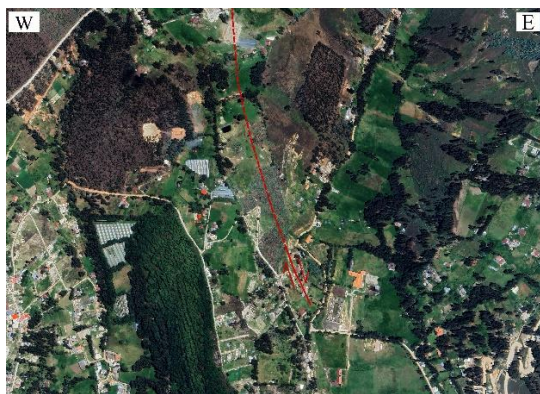


Figura 48. a) Proyección estereográfica de la estación F-12, b) Simbología de la falla F-12. c) Clasificación de fallas.



Fotografía 46. Falla dextral en la Formación Carhuaz, N: 9211824, E:775136 Cota: 2766 m.s.n.m.



Fotografía 47. Vista satelital de la F-12.



Fotografía 48. Brecha en F-12, N: 9211824, E:775136 Cota: 2766 m.s.n.m.

Tabla 46. Datos lineales de los sigmas de la estación F-12

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.56	208°	12°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.32	090°	66°	Vertical	
σ_3	0.12	303°	21°	Horizontal	

Estación F-13

Situada en la margen derecha de Rio Sanmbar, en rocas areniscas de Formación Carhuaz. Se identificó una falla con azimuth de N195°, buzamiento 54°, rake 155°. Se clasifíco como falla de deslizamiento oblicuo (oblique slip) y por lo que la nomenclatura es sinistral-inversa. esfuerzo mayor σ_1 , trend N144° y plunge 08°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N242° y plunge 46°, esfuerzo menor σ_3 , trend N047° y plunge 43°, producto de un

esfuerzo de un compresivo de dirección NW-SE y extensión con orientación NE-SW, actuando un régimen transformante.

Tabla 47. Datos estructurales de la estación F-13.

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-13	9211439	775606	2769	N195°	54°NW	155°	SxIx

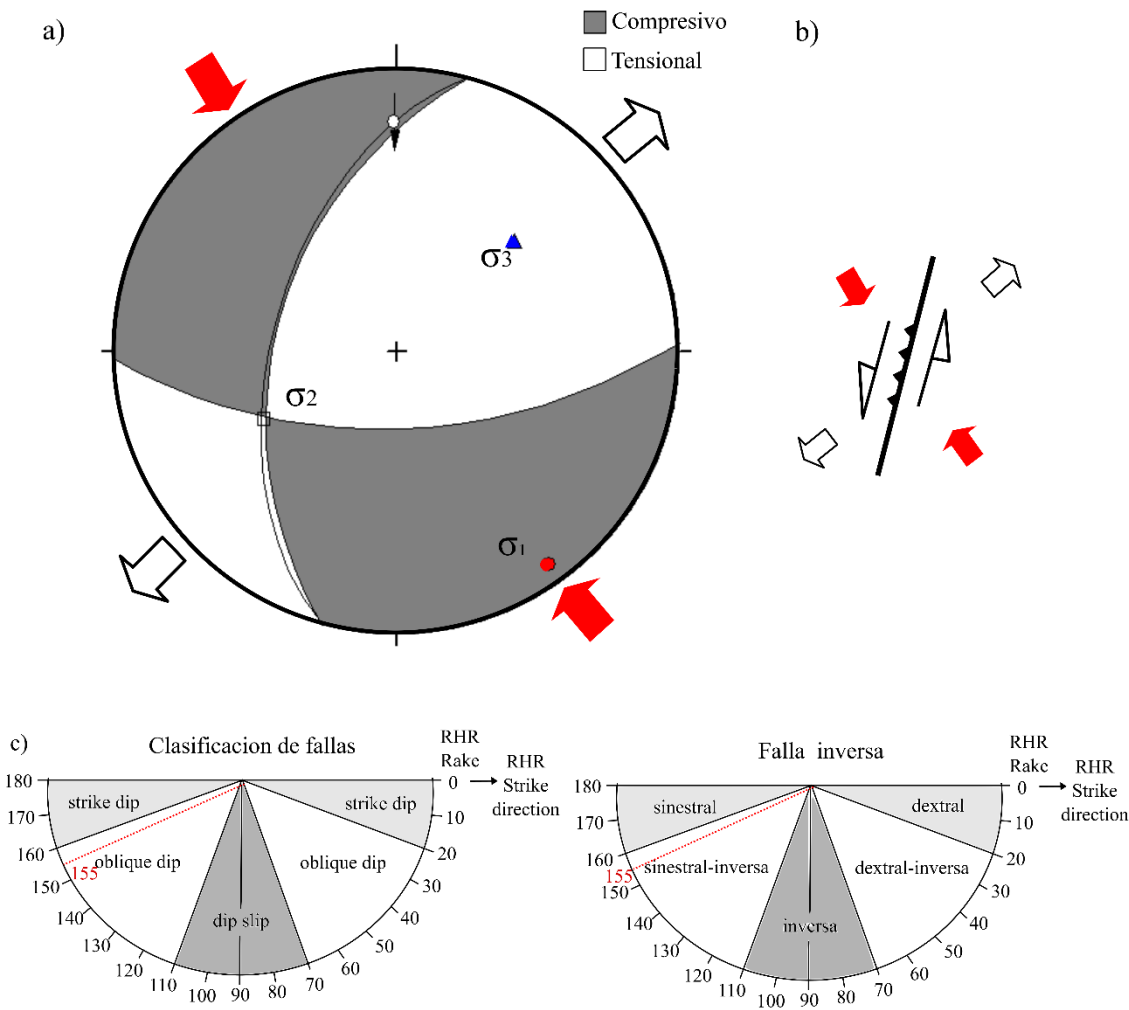
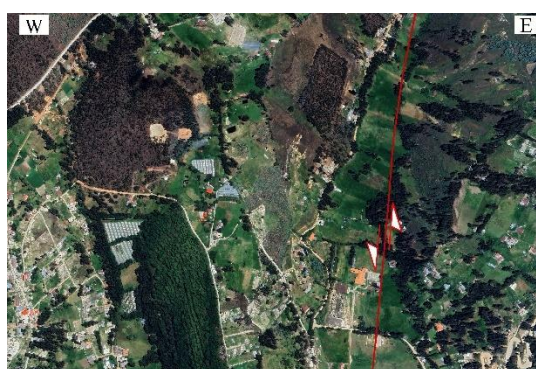


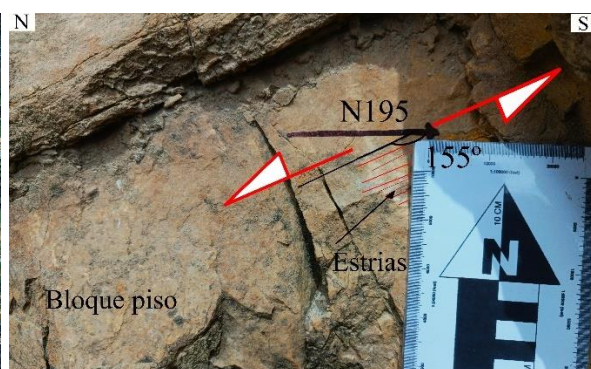
Figura 49. a) Proyección estereográfica de la estación F-13, b) Simbología de la falla F-13. c) Clasificación de fallas.



Fotografía 49. Falla sinistral F-13, N: 9211439, E: 775606, Cota: 2769 m.s.n.m.



Fotografía 50. Vista satelital de F-13.



Fotografía 51. Indicadores cinemáticos de F-13, N: 9211439, E: 775606, Cota: 2769 m.s.n.m.

Tabla 48. Datos lineales de los sigmas de la estación F-13

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.56	144°	08°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.31	242°	46°	Vertical	
σ_3	0.13	47°	43°	Vertical	

Estación F-14

Localizada en el caserío Nuevo Perú hacia la margen derecha de Río Mashcon, en rocas areniscas de Formación Farrat. Se identificó una falla con azimuth de N191°, buzamiento 57°NW, rake 152°. Se clasificó como falla de deslizamiento oblicuo (oblique slip) y según su nomenclatura es dextral-normal. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N45° y plunge 36°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N239° y plunge 54°, esfuerzo menor σ_3 , trend N140° y plunge 07°, producto de un esfuerzo de un compresivo de dirección NE-SW y extensión con orientación NW-SE, actuando un régimen transformante.

Tabla 49. Datos estructurales de la estación F-14.

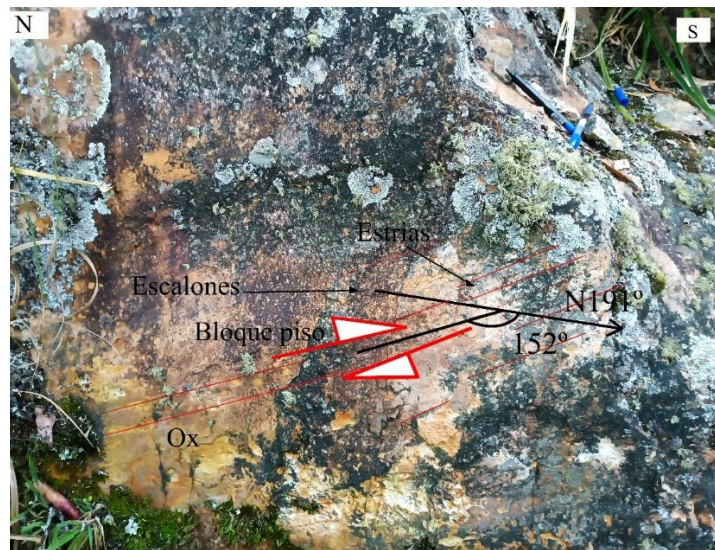
Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-14	9212814	773362	2806	N191°	57°NW	152°	DxNx



Fotografía 52. Vista panorámica de F-14, N: 9211885, E: 772772, Cota: 2911 m.s.n.m.



Fotografía 53. F-14 en la canal de regadío Vizcachas



Fotografía 54. Indicadores cinemáticos de F-14, N: 9212814, E: 773362, Cota: 2806 m.s.n.m.

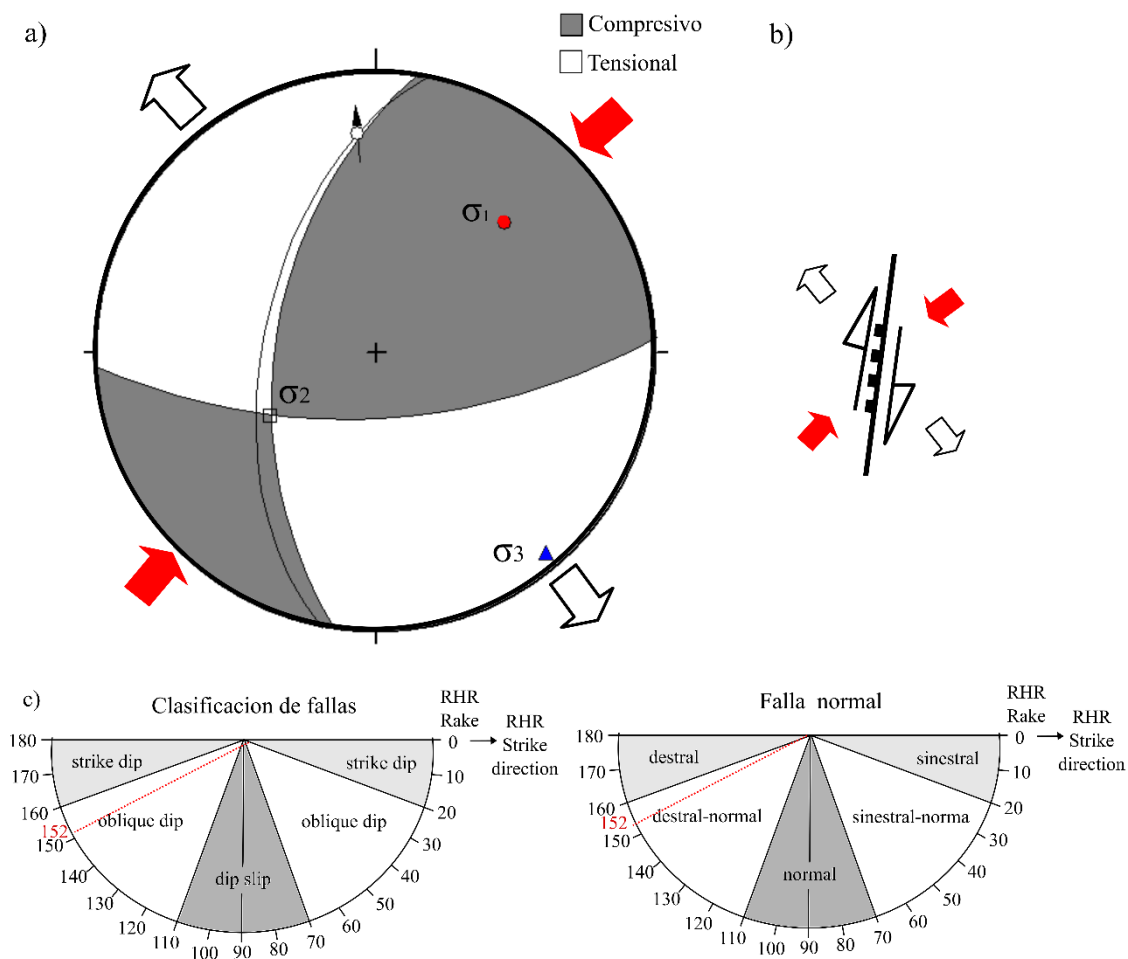


Figura 50. a) Proyección estereográfica de la estación F-14, b) Simbología de la falla F-14. c) Clasificación de fallas.

Tabla 50. Datos lineales de los sigmas de la estación F-14

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.54	45°	36°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.34	239°	54°	Vertical	
σ_3	0.12	140°	07°	Horizontal	

Estación F-15

Ubicada en la quebrada Chushpe, en flanco SW del anticlinal de Huambocancha Baja, en rocas de la Formación Carhuaz y Formación Farrat, Se identificó una falla con los siguientes datos: el primero con azimuth de N216, buzamiento 87°NW, rake 139°, el segundo con Azimut N214, buzamiento 75°NW, rake 138°. además de la presencia de óxidos. Se clasifico como falla de deslizamiento oblicuo (oblique slip) y según su nomenclatura es falla siniestral-inversa. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N342° y plunge

17°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N230° y plunge 50°, esfuerzo menor σ_3 , trend N384° y plunge 35°, producto de un esfuerzo de compresión en la dirección NNW-SSE y una distensión de dirección E-W, actuando un régimen transformante.

Tabla 51. Datos estructurales de la estación F-15

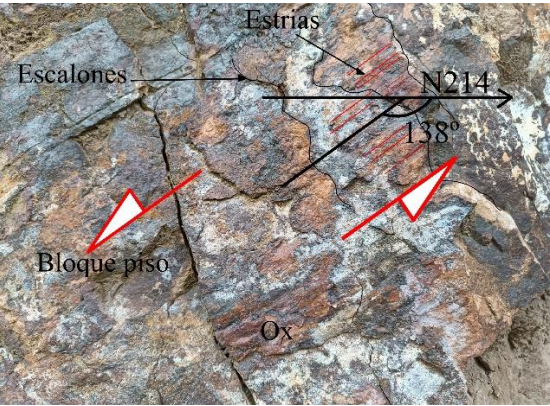
Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-15	9213130	772117	2867	N 216°	87°NW	139°	SxIx
				N 214°	75°NW	138°	SxIx



Fotografía 55. Vista panorámica de la F-15, N: 9213471 E: 773724 Cota:2969 m.s.n.m.



Fotografía 56. F-15 en la Formación Carhuaz



Fotografía 57. Indicadores cinemáticos F-15, N: 9213130, E: 772117, Cota:2867 m.s.n.m.

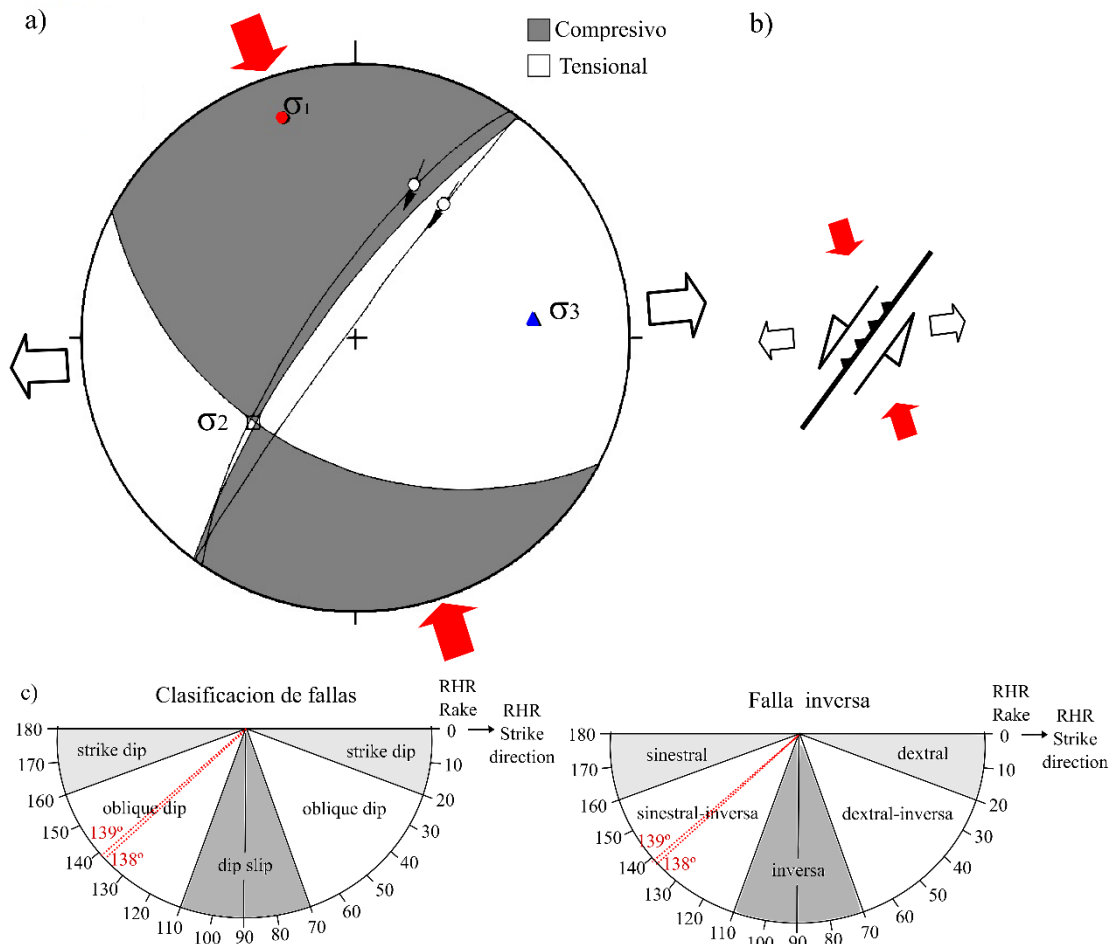


Figura 51. a) Proyección estereográfica de la estación F-15, b) Simbología de la falla F-15. c) Clasificación de fallas.

Tabla 52. Datos lineales de los sigmas de la estación F-15

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.55	342°	17°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.32	230°	50°	Vertical	
σ_3	0.13	84°	35°	Horizontal	

Estación F-16

Ubicada en la quebrada Qarqash, en el caserío Huambocancha Baja, se observó una secuencia detrítica de la Formación Carhuaz. Se identificó una la falla con azimuth de N257°, buzamiento 47°NW, rake 110°. Se clasifico como falla de deslizamiento vertical (dip slip) y según su nomenclatura es normal. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N92° y plunge 75°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N272° y plunge 15°, esfuerzo menor σ_3 , trend N02° y plunge 00°, generado por un esfuerzo de una extensión de dirección N-S, actuando un régimen distensivo.

Tabla 53. Datos estructurales de la estación F-16

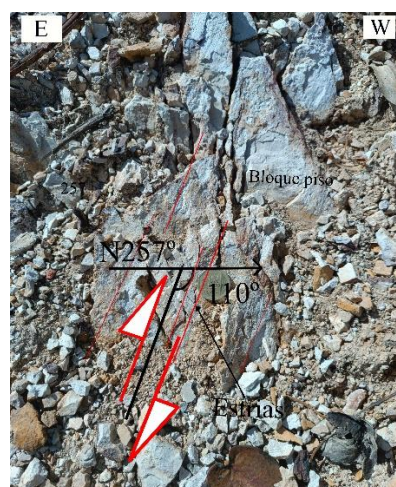
Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-16	9212662	772454	2869	N 257°	47° NW	110°	Nx



Fotografía 58. Vista panorámica de la falla F-16, N: 9213471 E: 773724 Cota:2969 m.s.n.m



Fotografía 59. Falla normal en la Formación Carhuaz N: 9212662, E: 7724542, Cota:2869 m.s.n.m.



Fotografía 60: Indicadores cinemáticos de F-16

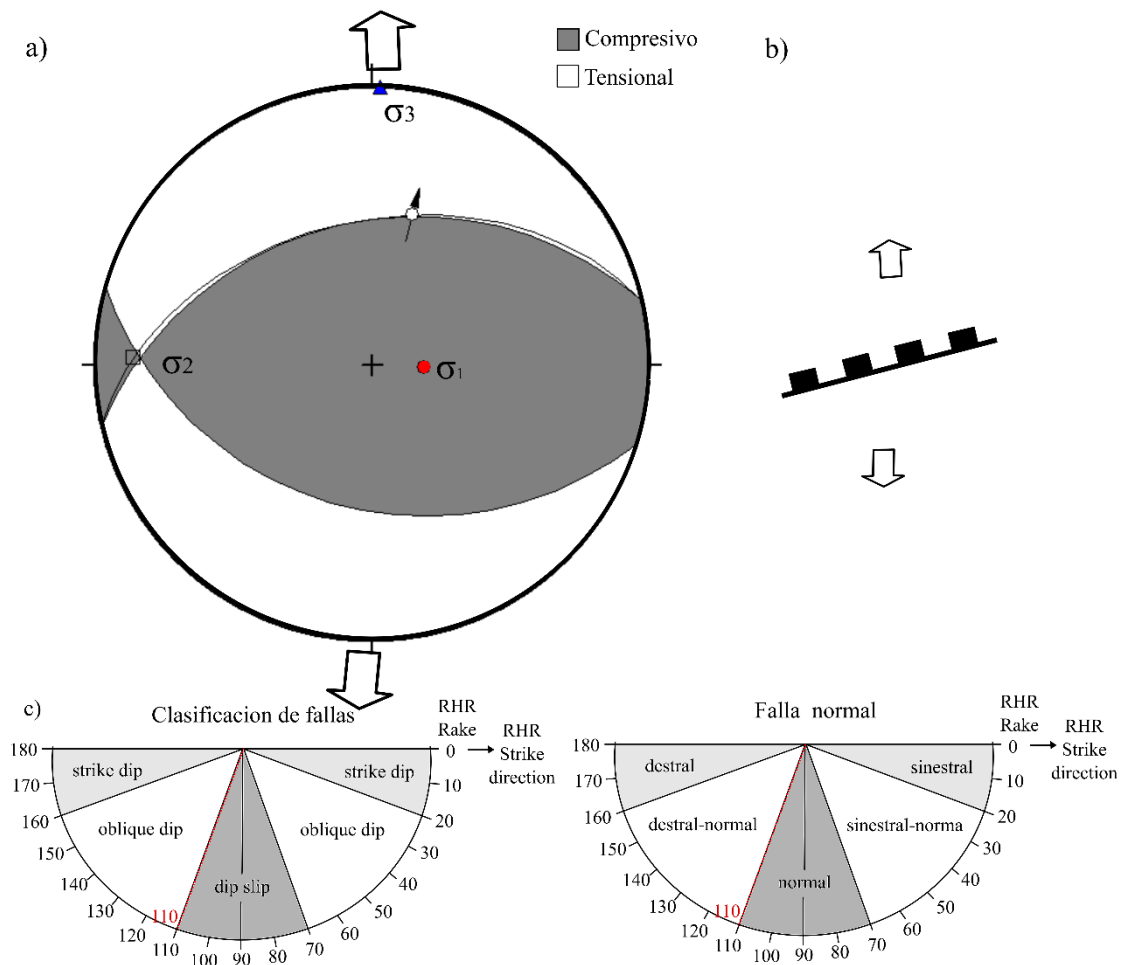


Figura 52. a) Proyección estereográfica de la estación F-16, b) Simbología de la falla F-10. c) Clasificación de fallas.

Tabla 54. Datos lineales de los sigmas de la estación F-16

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.55	92	75	Vertical	Distensivo
σ_2	0.34	272	15	Horizontal	
σ_3	0.12	2	00	Horizontal	

Estación F-17

Situada en el caserío Huambocancha baja en el flanco SW del anticlinal del mismo caserío, en rocas areniscas de Formación Farrat, y la Formación Carhuaz. se reconoció una falla con azimuth de N 295°, buzamiento 68° NE, rake 155°, trend 105° y plunge 23°. Se clasifico como falla de deslizamiento oblicuo (oblique slip) y según si nomenclatura es falla dextral-normal. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N155° y plunge 27°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N334° y plunge 63°, esfuerzo menor σ_3 , trend N65° y plunge 01°,

producto de compresión en la dirección NNW-SSE y una distensión de dirección E-W, actuando un régimen transformante.

Tabla 55. Datos estructurales de la estación F-17

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-17	9211370	773151	2949	N 295°	68° NE	155°	DxNx

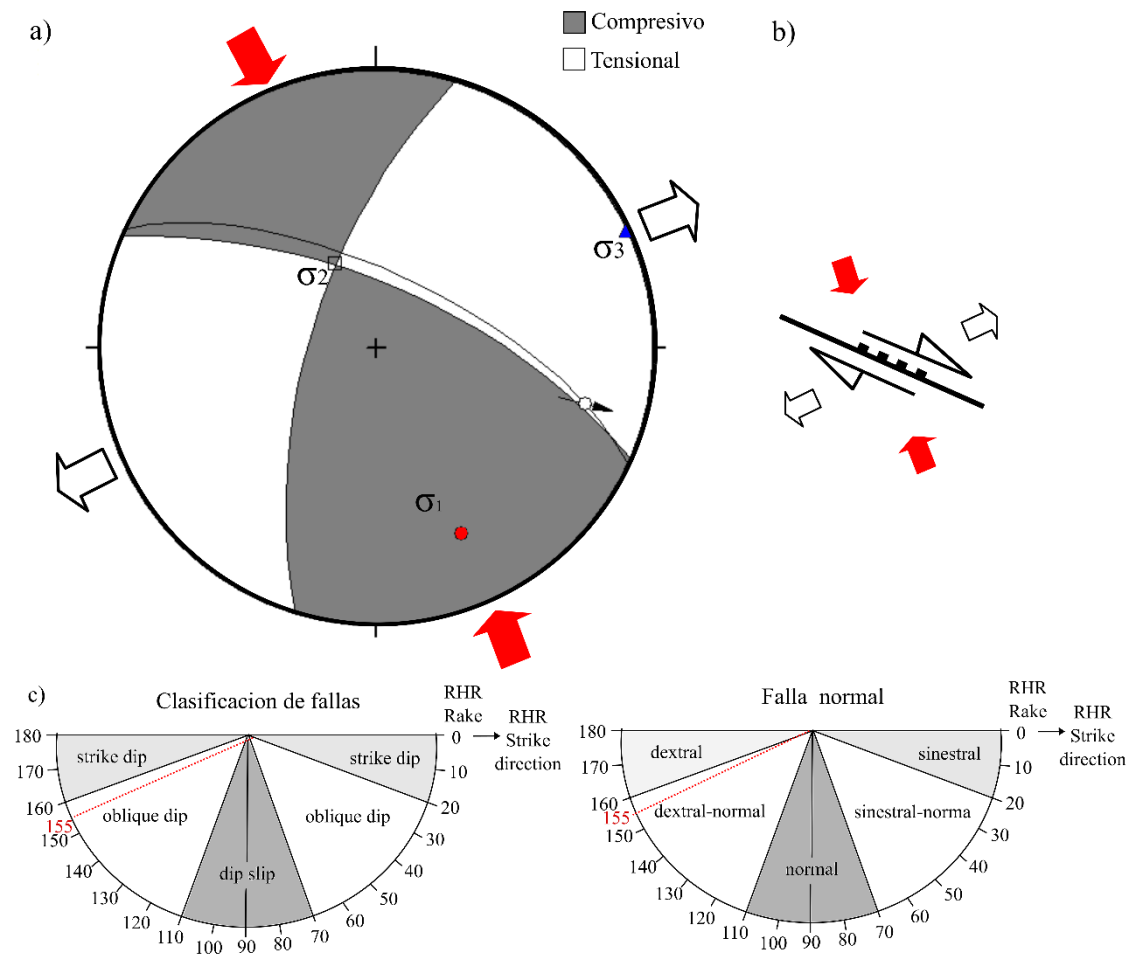


Figura 53. a) Proyección estereográfica de la estación F-17, b) Simbología de la falla F-17. c) Clasificación de fallas.



Fotografía 61. Indicadores cinemáticos de F-17 N: 9211370, E: 773151, Cota: 2949 m.s.n.m.



Fotografía 62. Vista panorámica de la falla F-17, N: 9213471, E: 773724, Cota: 2969 m.s.n.m.

Tabla 56. Datos lineales de los sigmas de la estación F-17

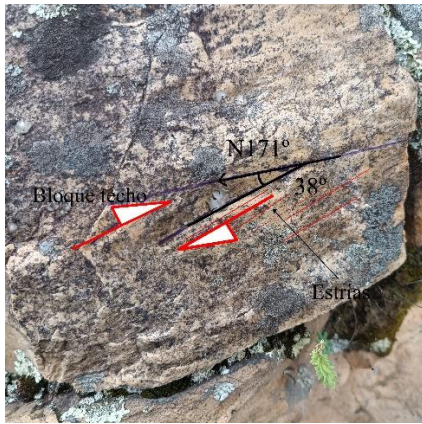
EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.55	155°	27°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.33	334°	63°	Vertical	
σ_3	0.12	65°	01°	Horizontal	

Estación 18

Situada en el caserío Huambocancha Baja en el flanco SW del anticlinal del mismo nombre, en el cerro Shicuana, en rocas areniscas de la Formación Farrat, se identificó una falla con azimuth de N 171°, buzamiento 62° SW, rake 38°. Se clasificó como falla de deslizamiento oblicuo (oblique slip) y según su nomenclatura es falla dextral inversa. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N227° y plunge 56°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N319° y plunge 32°, esfuerzo menor σ_3 , trend N134° y plunge 13°, producto de un esfuerzo de compresión en la dirección NF-SW y una distensión de dirección NW-SE, actuando un régimen transformante.

Tabla 57. Datos estructurales de la estación F-18

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-18	9211478	773257	2893	N 171°	62°SW	38°	DxIx



Fotografía 63. Indicadores cinemáticos de F-18, N: 9211478, E: 773257, Cota: 2893 m.s.n.m



Fotografía 64. Vista panorámica de la falla F-18, N: 9213471 E: 773724 Cota:2969 m.s.n.m.

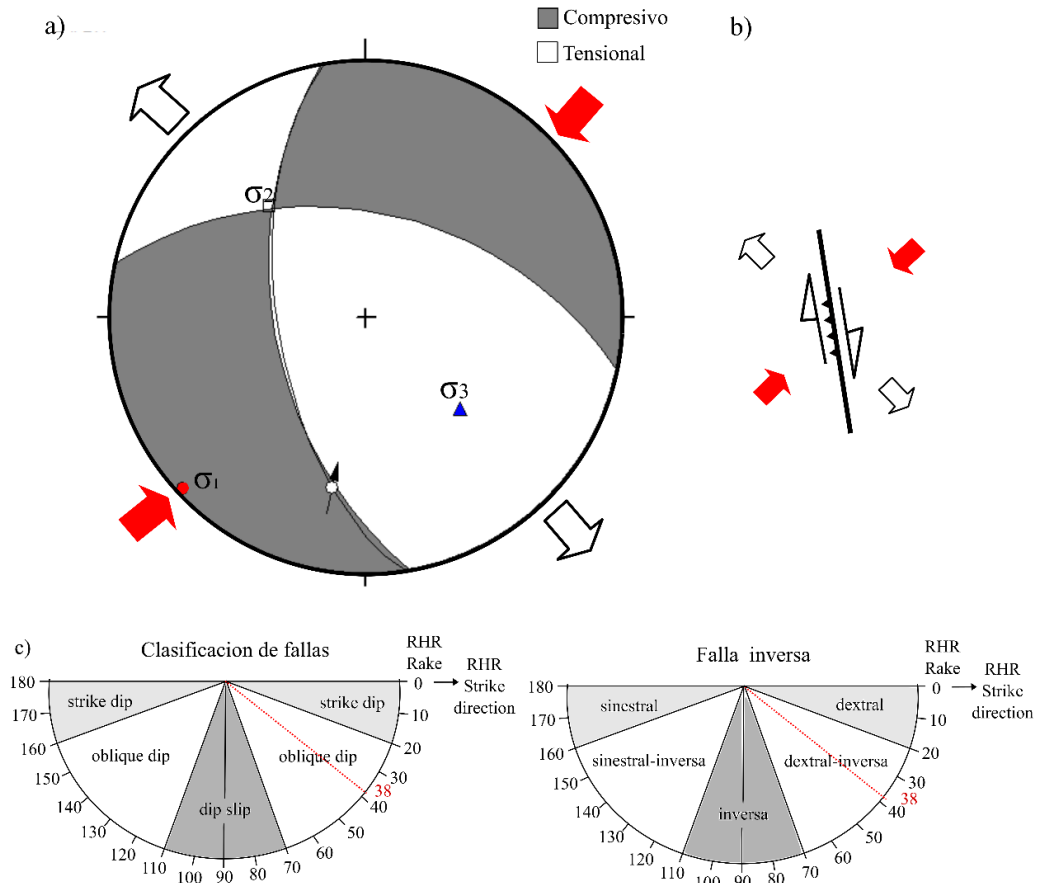


Figura 54. a) Proyección estereográfica de la estación F-18, b) Simbología de la falla F-18. c) Clasificación de fallas.

Tabla 58. Datos lineales de los sigmas de la estación F-18

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.56	227°	56°	Vertical	Transformante
σ_2	0.32	319°	32°	Vertical	
σ_3	0.13	134°	13°	Horizontal	

Estación 19

Situada en el caserío El Molino, aflorando rocas areniscas de Formación Farrat, se reconoció una falla con azimut de N60°, buzamiento 39°SE, rake 115°. Se clasifico como falla de deslizamiento oblicuo (oblique dip) y nomenclatura a manera falla normal dextral. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N231° y plunge 72°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N80° y plunge 16°, esfuerzo menor σ_3 , trend N384° y plunge 8°, generado por un esfuerzo de compresión en la dirección NW-SE y una distensión de dirección N-S, actuando un régimen transformante.

Tabla 59. Datos estructurales de la estación F-19

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-19	9211113	773350	2782	N 60°	39°SE	115°	NxDx

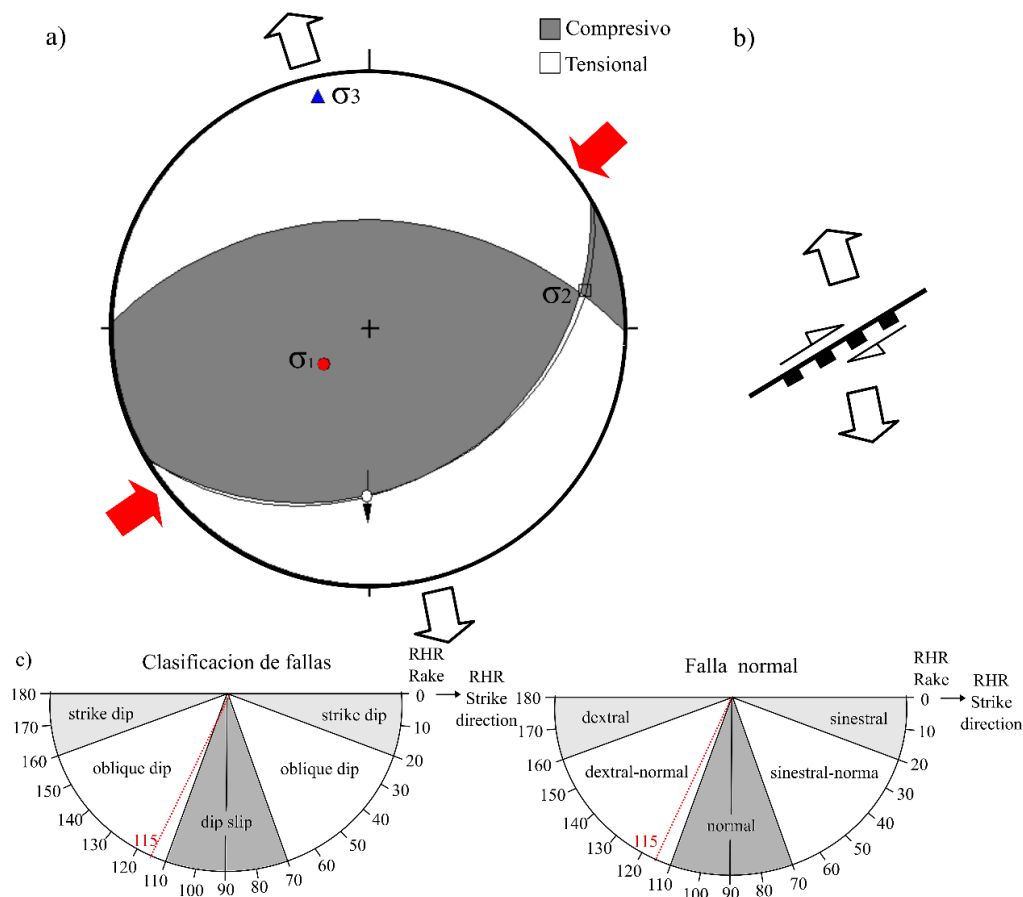
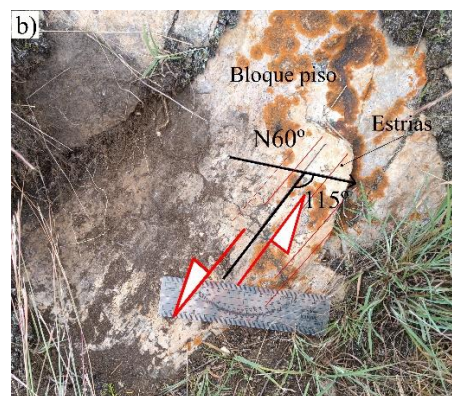


Figura 55. a) Proyección estereográfica de la estación F-19 b) Simbología de la falla F-19. c) Clasificación de fallas.



Fotografía 65. a) Vista panorámica de la F-19, N: 9211370, E: 773151, Cota:2949 m.s.n.m.



Fotografía 66. Indicadores cinemáticos de F-19, N: 9211113 E: 7773350 Cota: 2782 m.s.n.m.

Tabla 60. Datos lineales de los sigmas de la estación F-19

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.54	231°	72°	Vertical	Transformante
σ_2	0.34	80°	16°	Horizontal	
σ_3	0.12	348°	8°	Horizontal	

Estación 20

Situada en el caserío Huambocancha Baja, a la margen izquierda de río Mashcón, a inmediación del sector el molino. El afloramiento se atribuye a rocas areniscas de Formación Farrat. Se identificó una la falla con azimuth de N01°, buzamiento 60°E, rake 168°. Se clasifico como falla de deslizamiento de rumbo (strike slip) y según su nomenclatura es falla dextral. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N220° y plunge 24°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N72° y plunge 63°, esfuerzo menor σ_3 , trend N316° y plunge 13°, producto de esfuerzo de compresión en la dirección SW-NE y una distensión de dirección NW-SE, actuando un régimen transformante.

Tabla 61. Datos estructurales de la estación F-20

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-20	9211115	773364	2768	N01°	60°E	168°	Dx

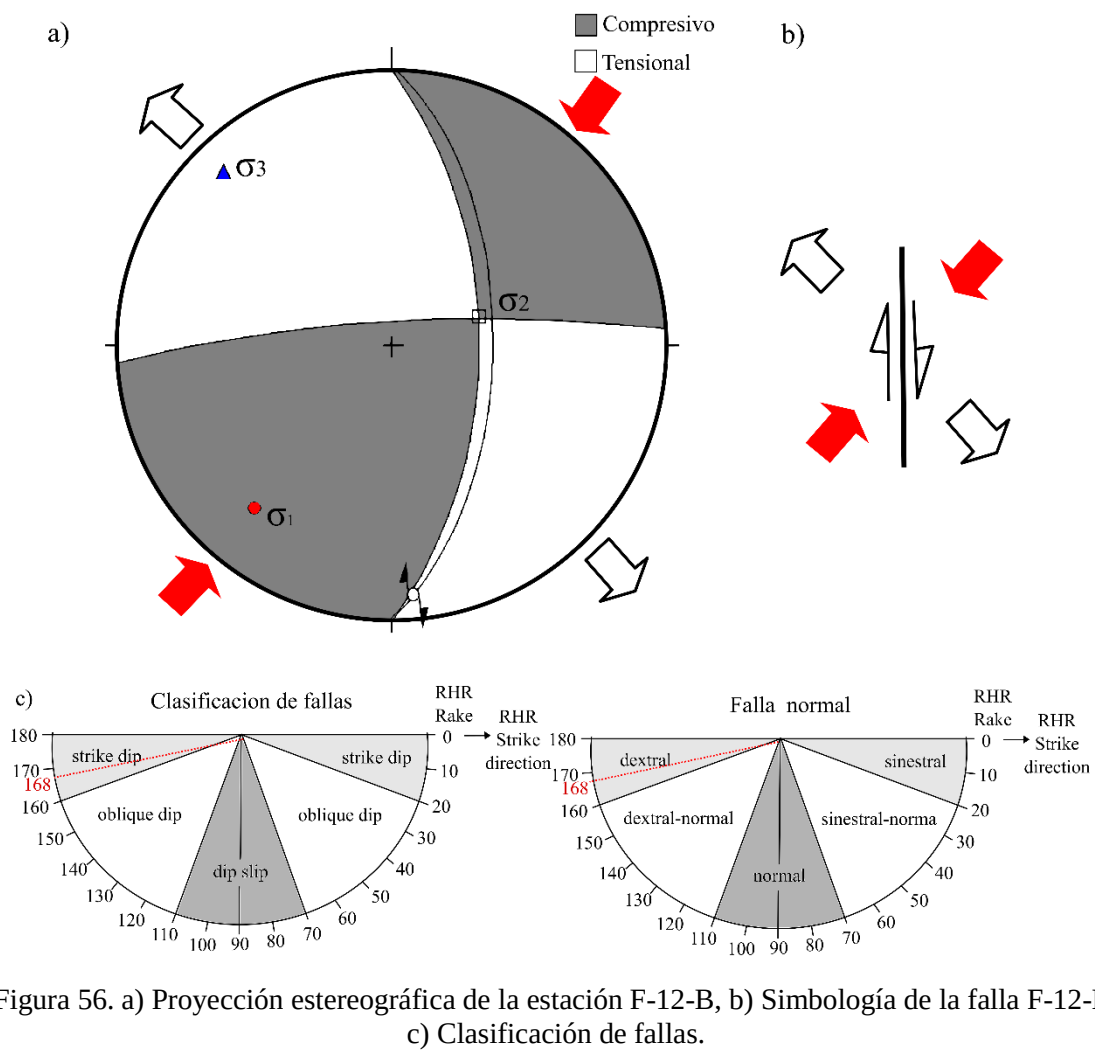
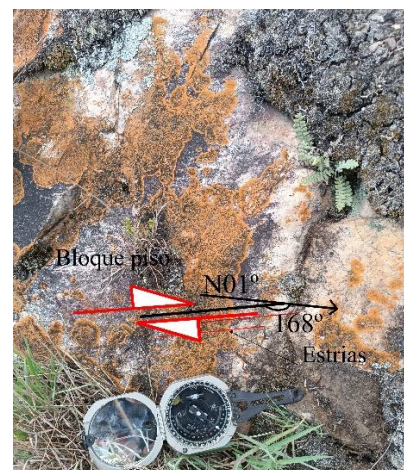


Figura 56. a) Proyección estereográfica de la estación F-12-B, b) Simbología de la falla F-12-B. c) Clasificación de fallas.



Fotografía 67. Vista panorámica de la falla F-20 N:
9211258, E: 773228, Cota:2894 m.s.n.m.



Fotografía 68. Indicadores cinemáticos de F-20, N:
9211115, E: 773364, Cota:2768 m.s.n.m.

Tabla 62. Datos lineales de los sigmas de la estación F-20

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.54	220°	24°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.33	72°	63°	Vertical	
σ_3	0.12	316°	13°	Horizontal	

Estación F-21.

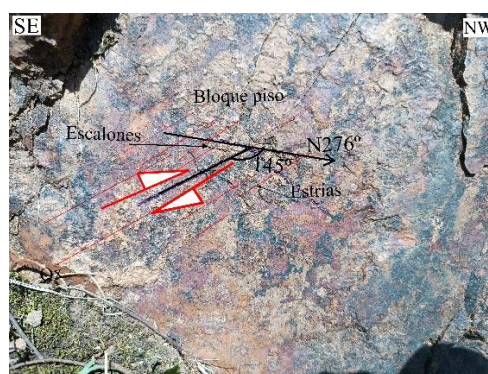
Localiza en la quebrada de Plazaconga, en el caserío Huambocancha baja. Afloran rocas areniscas de Formación Farrat y Formación Carhuaz. Se identificó una falla con los siguientes datos: primero con azimuth de N 276°, buzamiento 65°NE, rake 145°, el segundo con azimuth de N 270°, buzamiento 54°N, rake 140°. Se clasifica como falla de deslizamiento oblicuo (oblique dip) y según su nomenclatura es falla dextral-normal. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N128° y plunge 41°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N308° y plunge 49°, esfuerzo menor σ_3 , trend N218° y plunge 00°, producto de un esfuerzo de compresión en la dirección NW-SE y una distensión de dirección NE-SW, actuando un régimen transformante.

Tabla 63. Datos estructurales de la estación F-21

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-21	9211803	772780	2924	N 276°	65° NE	145°	Dx
				N 270°	54°N	140°	Dx



Fotografía 69. Vista panorámica de la falla F-21 N: 9212891, E: 773785, Cota: 2990 m.s.n.m.



Fotografía 70. Indicadores cinemáticos F-21, N: 9211803 E: 772780 Cota: 2924 m.s.n.m.

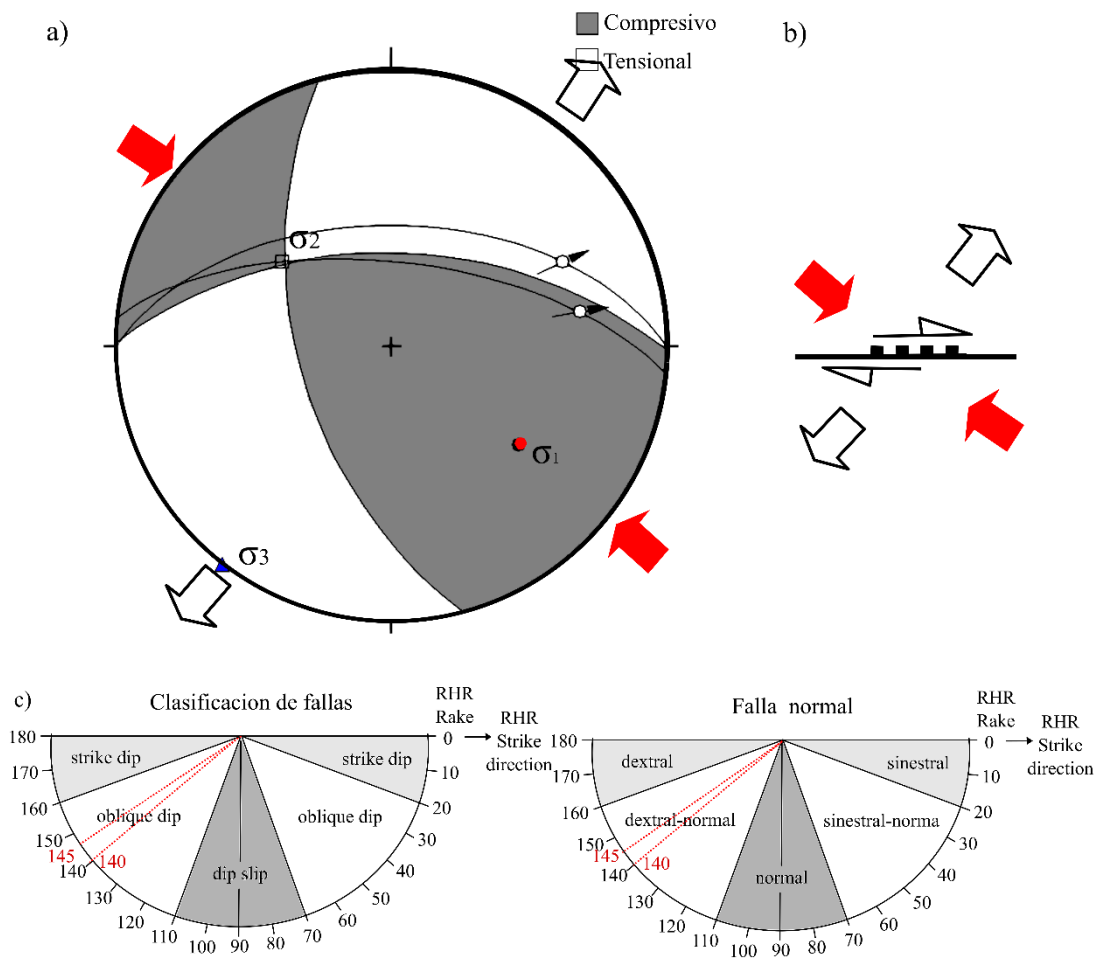


Figura 57. a) Proyección estereográfica de la estación F-21, b) Simbología de F-21. c) Clasificación de fallas.

Tabla 64. Datos lineales de los sigmas de la estación F-21

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.53	128°	41°	Vertical	Transformante
σ_2	0.34	308°	49°	Vertical	
σ_3	0.12	218°	00°	Horizontal	

Estación F-22

Situada en la margen derecha de la quebrada Plazaconga, el caserío Huambocancha baja, en donde afloran rocas intrusivas. Se le registro datos como, azimuth de N 62°, buzamiento 87°SE, rake 48°. Se clasifico como falla de deslizamiento oblicuo (oblique dip) y según su nomenclatura es falla dextral-normal. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N009° y plunge 29°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N244° y plunge 47°, esfuerzo menor σ_3 , trend N117°

y plunge 30°, producto de un esfuerzo de compresión en la dirección N-S y una distensión de dirección WNW-ESE, actuando un régimen transformante.

Tabla 65. Datos estructurales de la estación F-22

<i>Estación</i>	<i>Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S</i>			<i>Datos Estructurales</i>			
	<i>Norte</i>	<i>Este</i>	<i>Cota</i>	<i>Azimut</i>	<i>Buzamiento</i>	<i>Rake</i>	<i>Cinemática</i>
F-22	9211807	772776	2929	N 62°	87°SE	48°	SxNx

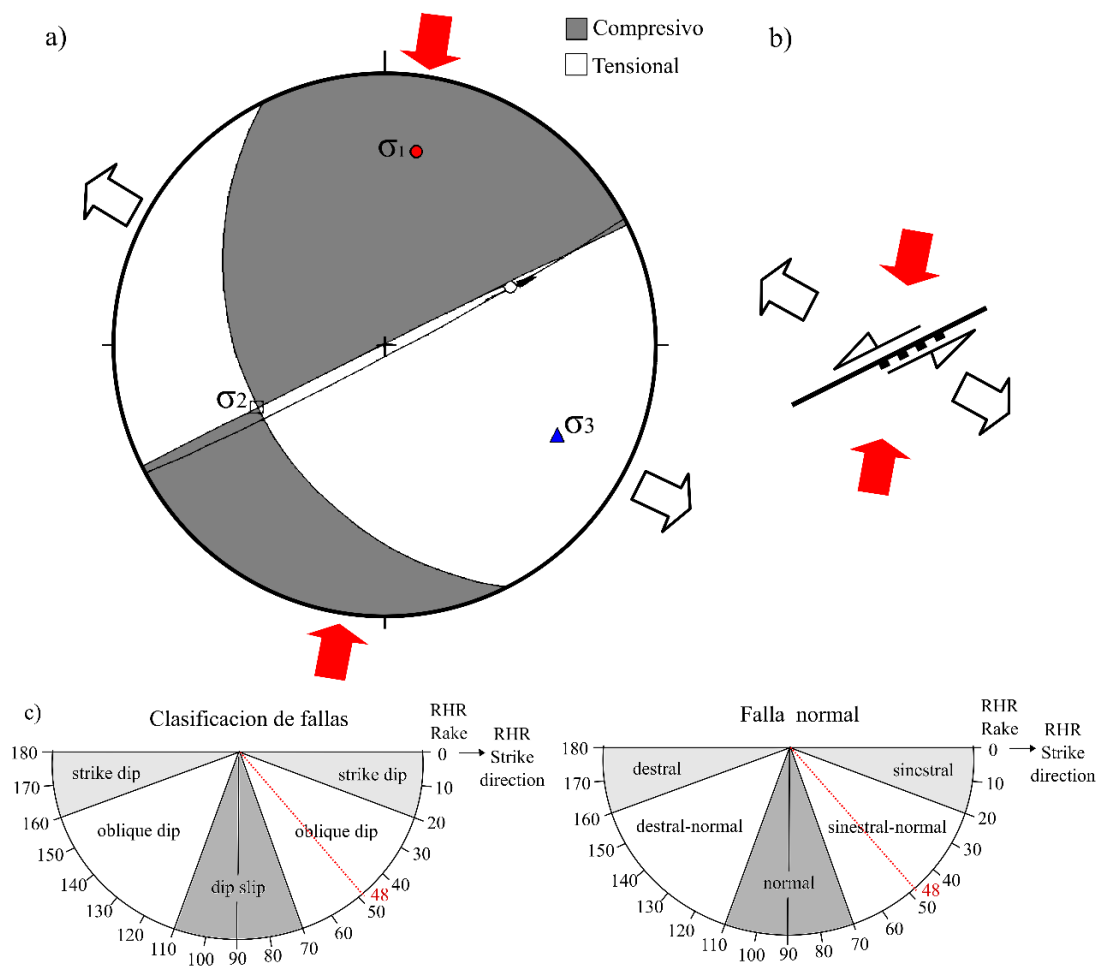
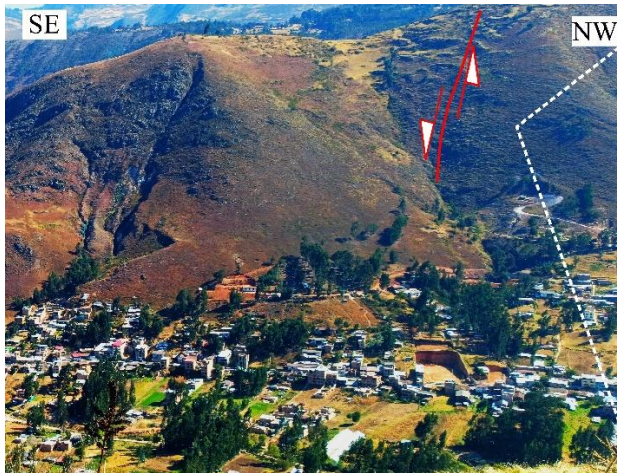
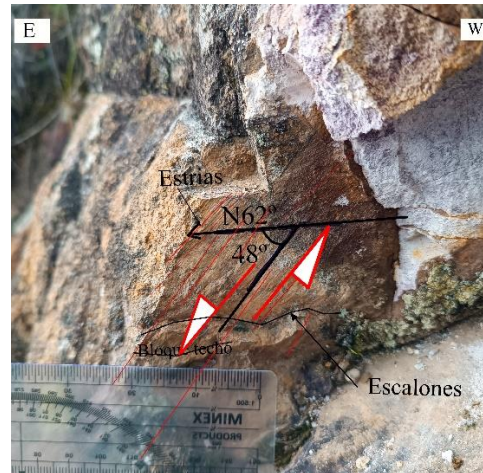


Figura 58. a) Ploteo de estrías de la falla, dirección de los esfuerzos de F-22 b) Simbología de la falla F-22. c) Clasificación de fallas.



Fotografía 71. Vista panorámica de F-22, N: 9212841, E: 773744, Cota: 2955 m.s.n.m.



Fotografía 72. Indicadores cinemáticos de F-22 N: 9211807, E: 772776, Cota: 2929 m.s.n.m.

Tabla 66. Datos lineales de los sigmas de la estación F-22

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.55	009°	29°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.33	244°	47°	Vertical	
σ_3	0.12	117°	30°	Horizontal	

Estación F-23

Situada en caserío Huambocancha baja, en la parte media del cerro Shicuana, afectando a rocas intrusivas. Con datos estructurales, primer de azimuth de N 320°, buzamiento 40°NE, rake 68° y un segundo con azimuth de N 337°, buzamiento 44° NE, rake 70°. Se clasifico como falla de deslizamiento vertical (dip slip) y según su nomenclatura es falla normal. esfuerzo mayor σ_1 , trend N334° y plunge 75°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N142° y plunge 14°, esfuerzo menor σ_3 , trend N233° y plunge 03°, producto de un esfuerzo de distensión de dirección NE-SW, actuando un régimen transformante.

Tabla 67. Datos estructurales de la estación F-23

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-23	9211847	772731	2952	N 320°	40° NE	68°	Nx
				N 337°	44° NE	70°	Nx

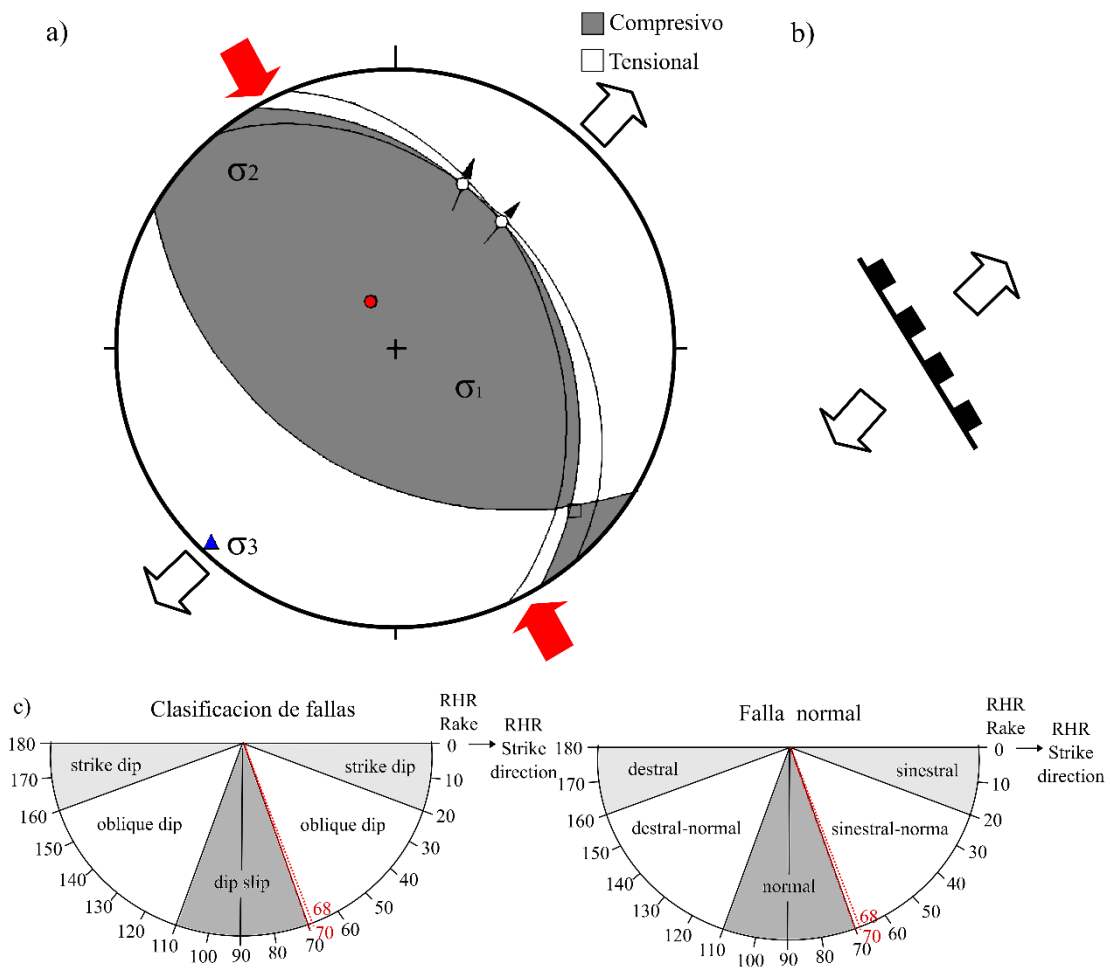
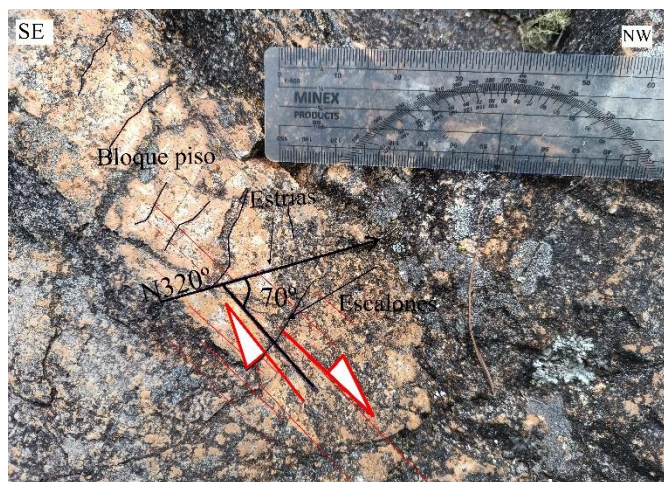


Figura 59. A) Proyección estereográfica de la estación F-23, b) Simbología de F-23. c) Clasificación de fallas.



Fotografía 73. Vista panorámica de F-23, N: 9212841, E: 773744, Cota: 2955 m.s.n.m.



Fotografía 74. Indicadores cinemáticos de F-23 N: 921184, E: 7772731, Cota: 2952 m.s.n.m.

Tabla 68. Datos lineales de los sigmas de la estación F-23

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.54	334°	75°	Vertical	Transformante
σ_2	0.34	142°	14°	Horizontal	
σ_3	0.12	233°	03°	Horizontal	

Estación F-24

Ubicada en la margen izquierda de quebrada del caserío Huambocancha baja, se encuentra desplazado a rocas arenisca de la Formación Farrat, se obtuvo lo siguientes datos: azimuth de N358°, buzamiento 81°NE, rake 67°. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N297° y plunge 45°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N175° y plunge 28°, esfuerzo menor σ_3 , trend N67° y plunge 32°, producto de compresión en la dirección WNW-ESE y un distensión de dirección ENE-WSW, actuando un régimen transformante.

Tabla 69. Datos estructurales de la estación F-24

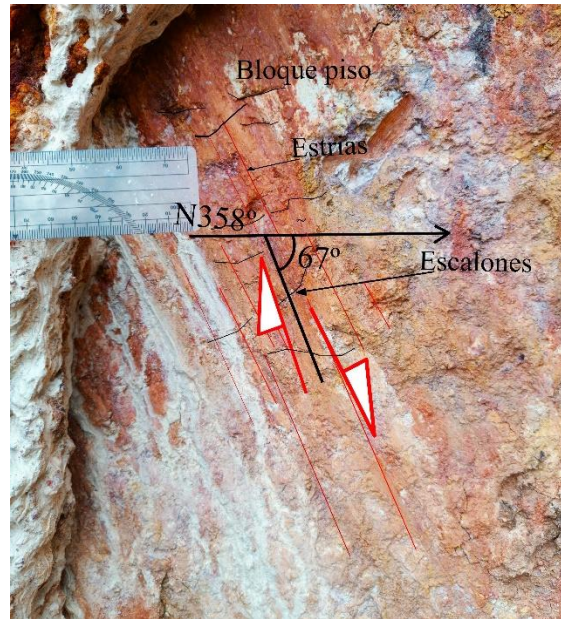
Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-24	9212415	772345	2964	N 358°	81°NE	67°	NxSx



Fotografía 75. Vista panorámica de la falla F-24, N: 9212378, E: 772427, Cota:2933 m.s.n.m.



Fotografía 76. Falla normal en Formación Farrat N: 9212415, E: 7772345, Cota: 2964 m.s.n.m.



Fotografía 77. Indicadores cinemáticos de F-24

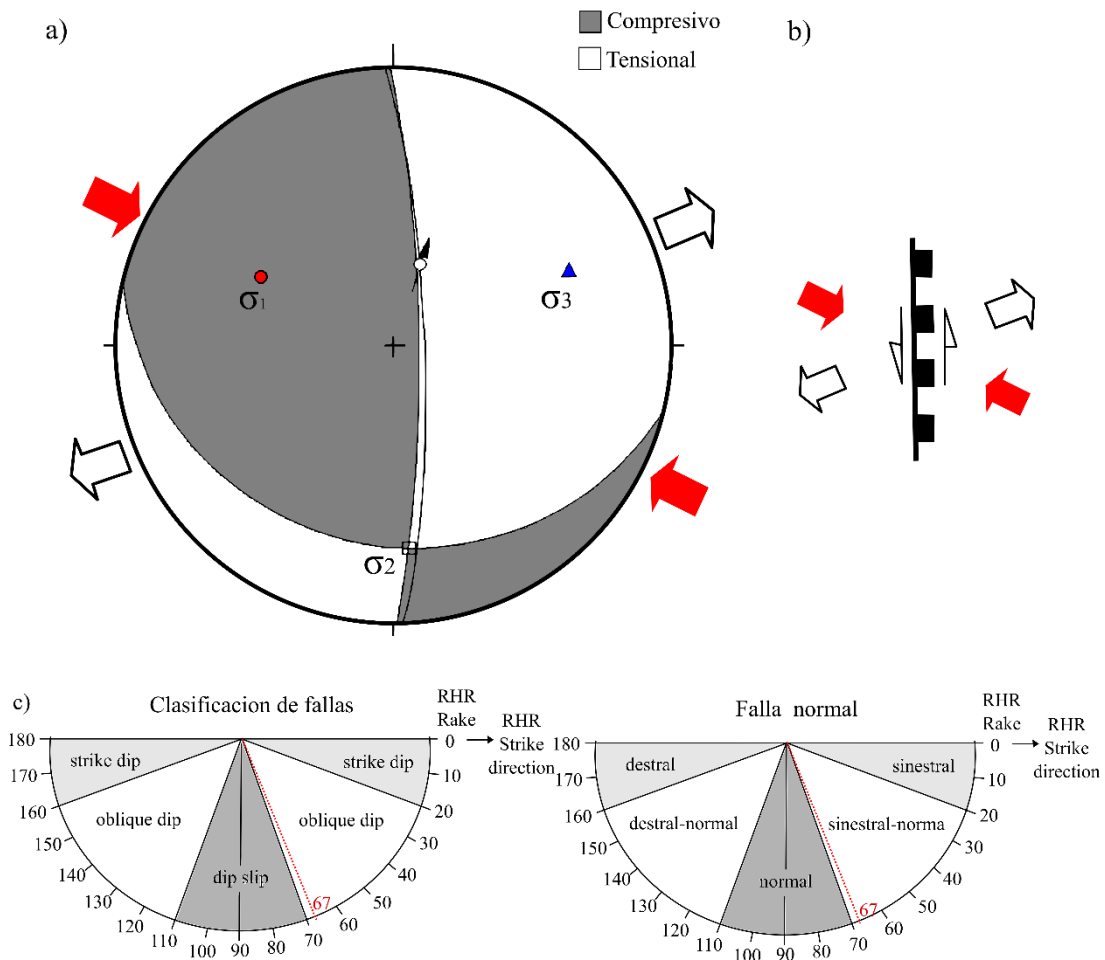


Figura 60. a) Proyección estereográfica de la estación F-24, b) Simbología de la falla F-24. c) Clasificación de fallas.

Tabla 70. Datos lineales de los sigmas de la estación F-24

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.54	297°	45°	Vertical	Transformante
σ_2	0.34	175°	28°	Horizontal	
σ_3	0.12	67°	32°	Horizontal	

Estación 25

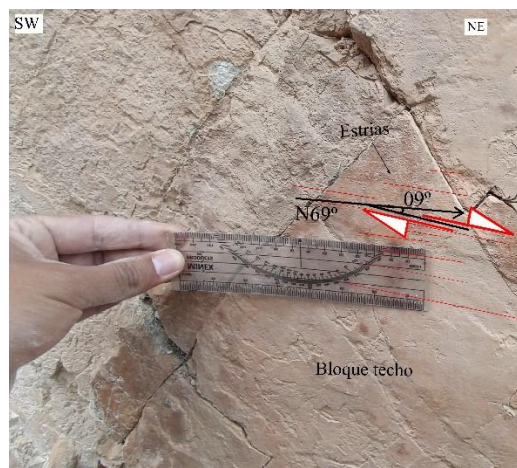
Localizada en la quebrada Tasilla, en el caserío Huambocancha Baja, en rocas de Formación Farrat. Se obtuvieron los siguientes datos: Azimut de N 69°, buzamiento 86° SE, rake 9°. Se clasifico como falla de deslizamiento de rumbo (strike slip) y según su nomenclatura es falla sinestral. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N24° y plunge 07°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N230° y plunge 82°, esfuerzo menor σ_3 , trend N114° y plunge 04°, producto de esfuerzo de compresión en la dirección NNE-SSW y un a distención de dirección WNW-ESE, actuando un régimen transformante.

Tabla 71. Datos estructurales de la estación F-25

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-25	9212350	772312	2961	N 69°	86°SE	9°	Sx



Fotografía 78. Vista panorámica de la falla F-25 , E:773646, N:9212951, Cota: 2937 m.s.n.m



Fotografía 79. Indicadores cinemáticos de F-25, N: 9212350, E: 772312, Cota: 2961 m.s.n.m.

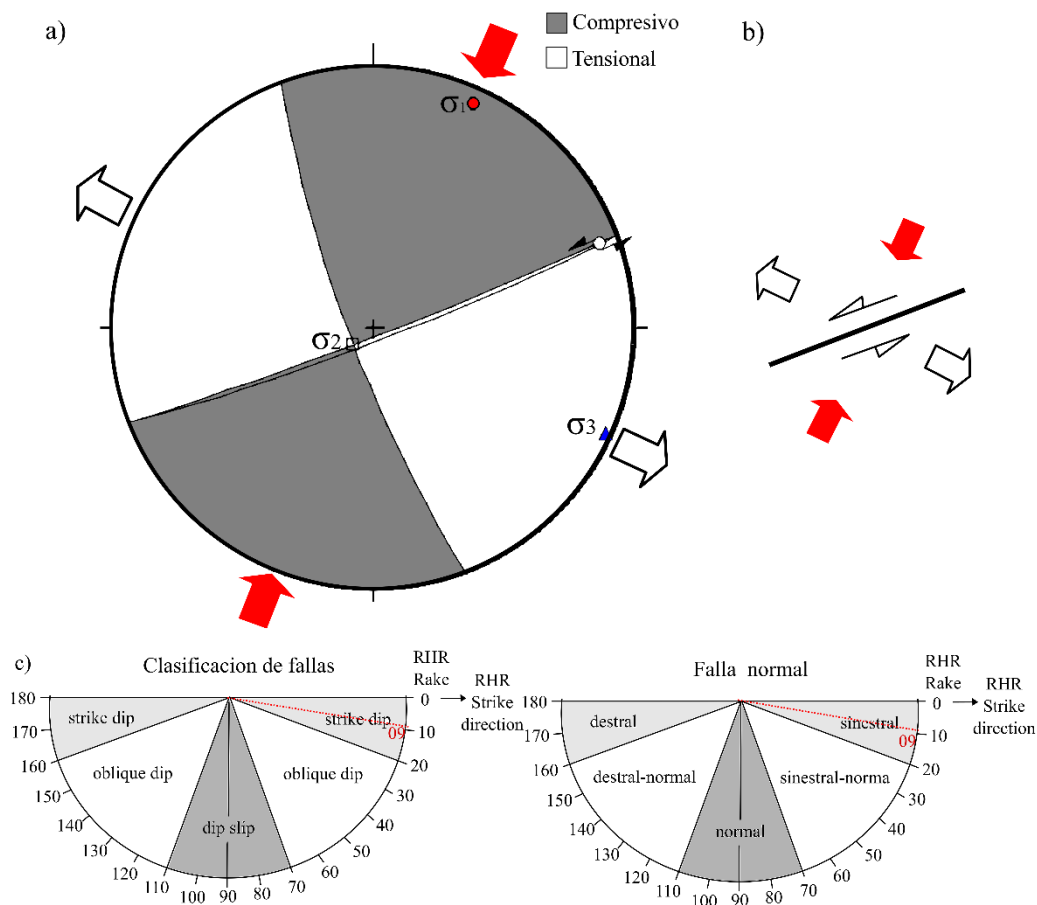


Figura 61. a) Proyección estereográfica de la estación F-25, b) Simbología de la falla F-25. c) Clasificación de fallas.

Tabla 72. Datos lineales de los sigmas de la estación F-25

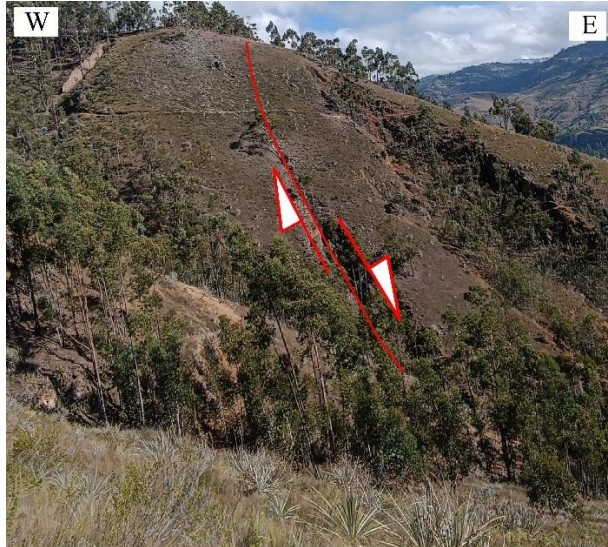
EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.56	24°	07°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.32	230°	82°	Vertical	
σ_3	0.12	114°	04°	Horizontal	

Estación F-26

Situado en rocas areniscas de Formación Farrat y rocas arcillitas de la Formación Carhuaz. Los datos de la falla son: Azimut N 350°, buzamiento 71° NE, rake 119°. Se clasifico como falla de deslizamiento oblicuo (oblique dip) y según su nomenclatura es falla normal-dextral. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N220° y plunge 51°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N359° y plunge 31°, esfuerzo menor σ_3 , trend N102° y plunge 21°, producto de esfuerzo de compresión en la dirección NE-SW y una distensión de dirección WNW-ESE, actuando un régimen transformante.

Tabla 73. Datos estructurales de la estación F-26

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-26	9212348	772285	2966	N 350°	71° NE	119°	NxSx



Fotografía 80. Vista panorámica de la falla F-26, N: 9212224, E: 772400, Cota:3034 m.s.n.m.



Fotografía 81. Indicadores cinemáticos F-26, N: 9212348, E: 772285, Cota: 2966 m.s.n.m.

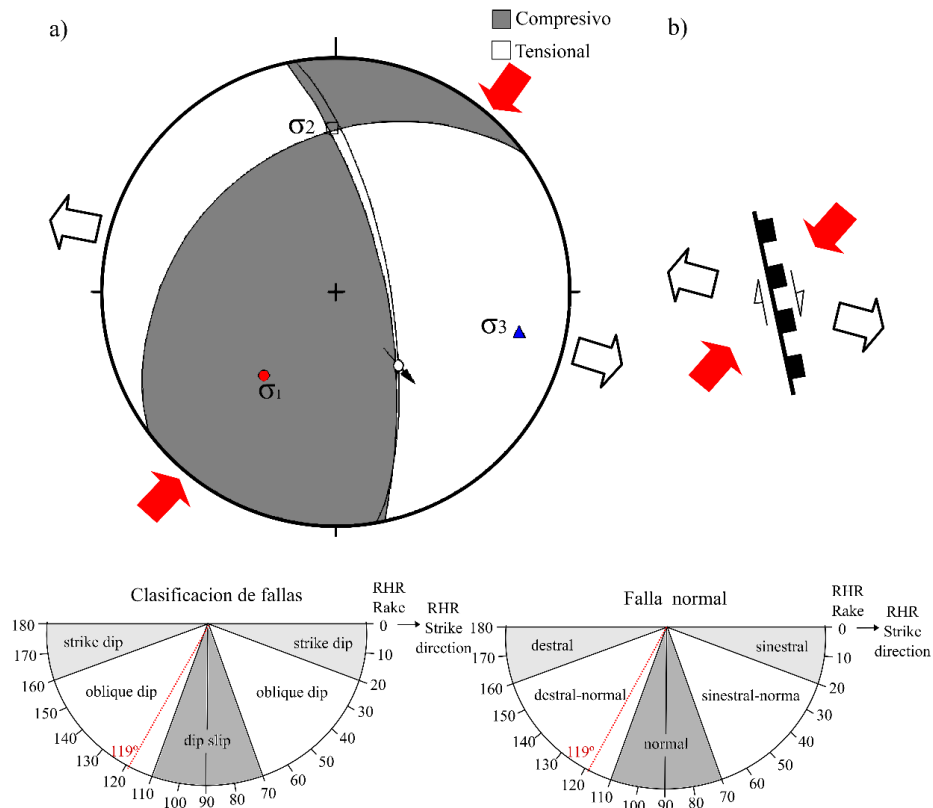


Figura 62. a) Proyección estereográfica de la estación F-26, b) Simbología de la falla F-26. c) Clasificación de fallas.

Tabla 74. Datos lineales de los sigmas de la estación F-26

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.54	220°	51°	Vertical	Transformante
σ_2	0.35	359°	31°	Horizontal	
σ_3	0.12	102°	21°	Horizontal	

Estación F-27

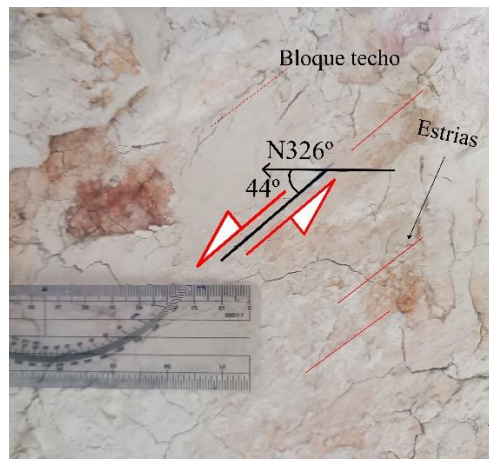
Ubicada en la margen derecha de la quebrada Tasilla, aflora rocas areniscas de Formación Farrat y arcillitas de la Formación Carhuaz. Se obtuvieron los siguientes datos: azimuth de N 326°, buzamiento 38°NE, rake 44°. Se clasifica como falla de deslizamiento oblicuo (oblique dip) y según su nomenclatura es falla sinestral-normal. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N318° y plunge 56°, esfuerzo intermedio σ_2 trend N106° y plunge 30°, esfuerzo menor σ_3 , trend N2205° y plunge 15°, producto de esfuerzo de compresión en la dirección NW-SE y una distensión de dirección NNE-SSW, actuando un régimen transformante.

Tabla 75. Datos estructurales de la estación F-27

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimuth	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-27	9212349	772303	2964	N 326°	38°NE	44°	SxNx



Fotografía 82. Falla sinestral-normal F-27, N: 9212349, E: 772301, Cota: 2964 m.s.n.m.



Fotografía 83. Indicadores cinemáticos de F-27, N: 9212349, E: 772303, Cota: 2964 m.s.n.m

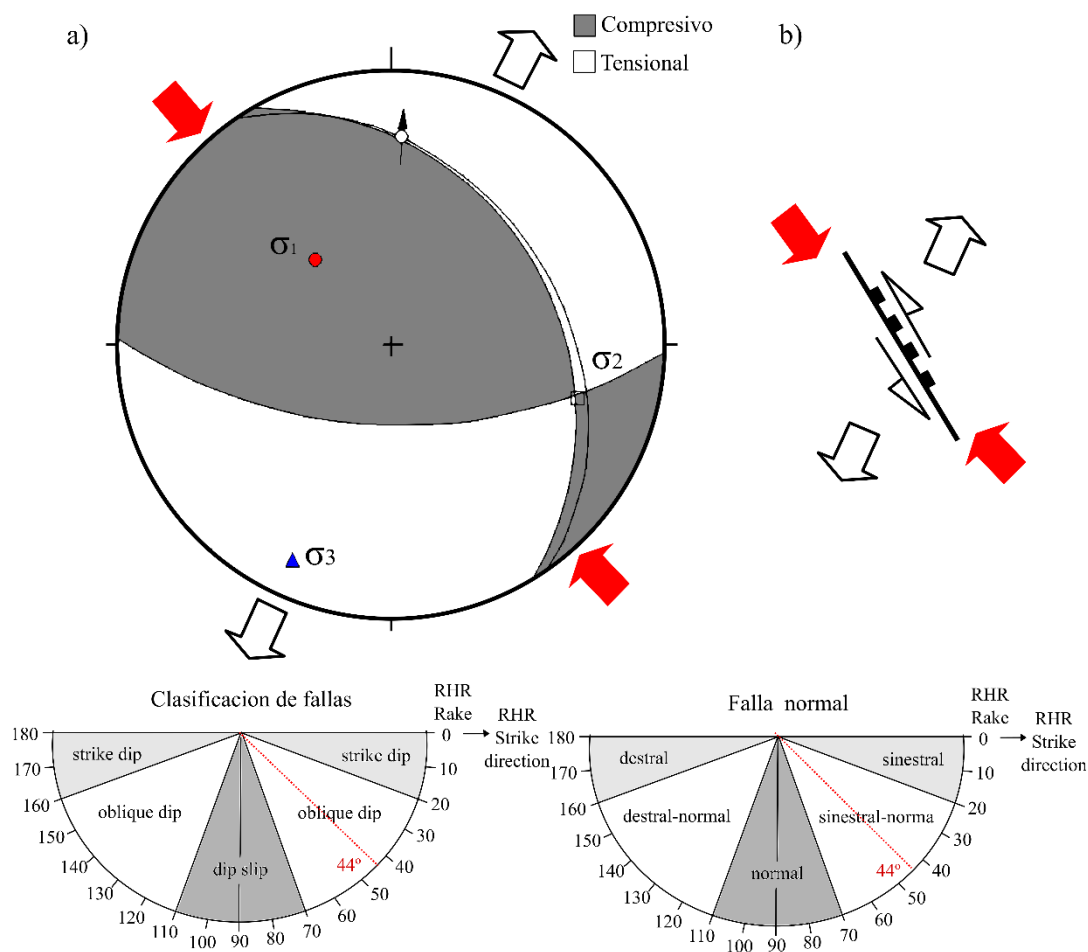


Figura 63. a) Proyección estereográfica de la estación F-27, b) Simbología de la falla F-27 . c) Clasificación de fallas.

Tabla 76. Datos lineales de los sigmas de la estación F-27

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.54	318°	56°	Vertical	Transformante
σ_2	0.34	106°	30°	Horizontal	
σ_3	0.12	205°	15°	Horizontal	

Estación F-28

Situada el cerro Shicuana, en rocas areniscas de Formación Farrat y arcillitas de la Formación Carhuaz y se proyecta hacia la quebrada sin nombre. Se tomaron siguientes datos: primero azimuth de N 272°, buzamiento 56° NE, rake 106°, segundo azimuth de N 272°, buzamiento 54° NE, rake 106°. Se clasifico como falla es de deslizamiento vertical (dip slip) y según su nomenclatura es falla normal. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N162° y plunge 72°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N278° y plunge 08°, esfuerzo menor σ_3 , trend N010° y plunge 16°, producto de una distención de dirección N-S, actuando un régimen Distensivo.

Tabla 77. Datos estructurales de la estación F-28

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-28	9212378	772473	2926	N 272°	56° NE	106°	Nx
				N 273°	54° NE	106°	Nx
				N 282°	74° NE	84°	Nx

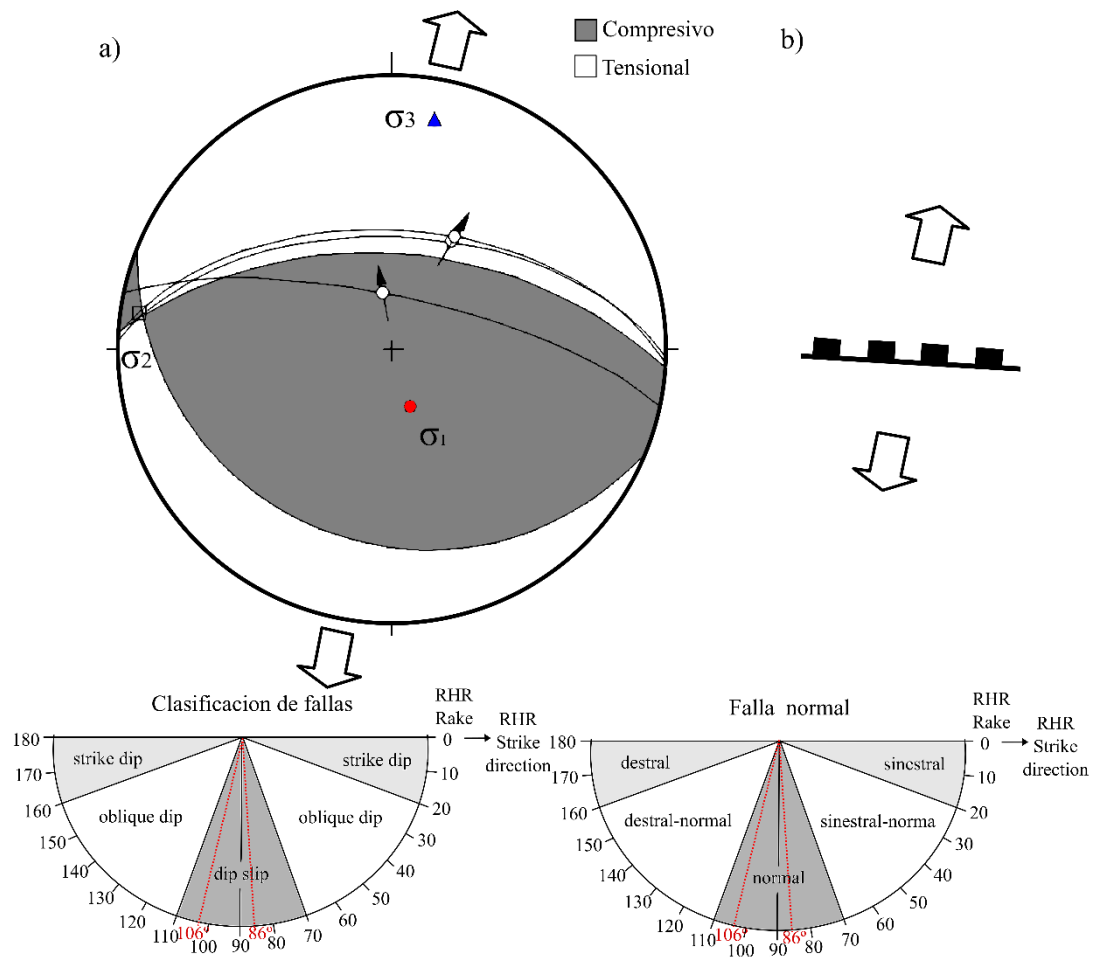
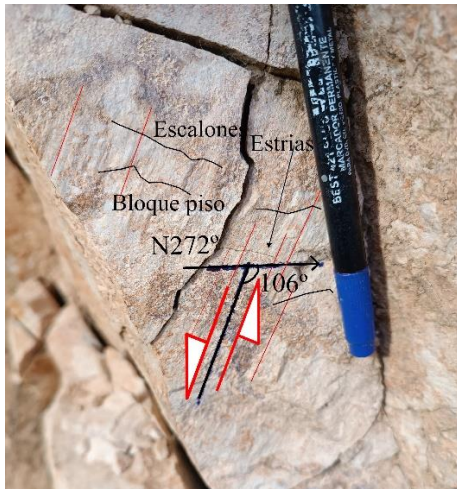


Figura 64. a) Proyección estereográfica de la estación F-28, b) Simbología de la falla F-28. c) Clasificación de fallas.



Fotografía 84. Indicadores cinemáticos de F-28 N: 9212378, E: 772473, Cota: 2926 m.s.n.m



Fotografía 85. Vista panorámica de la falla F-28, N:9212951, E:773646, Cota: 2937 m.s.n.m.

Tabla 78. Datos lineales de los sigmas de la estación F-28

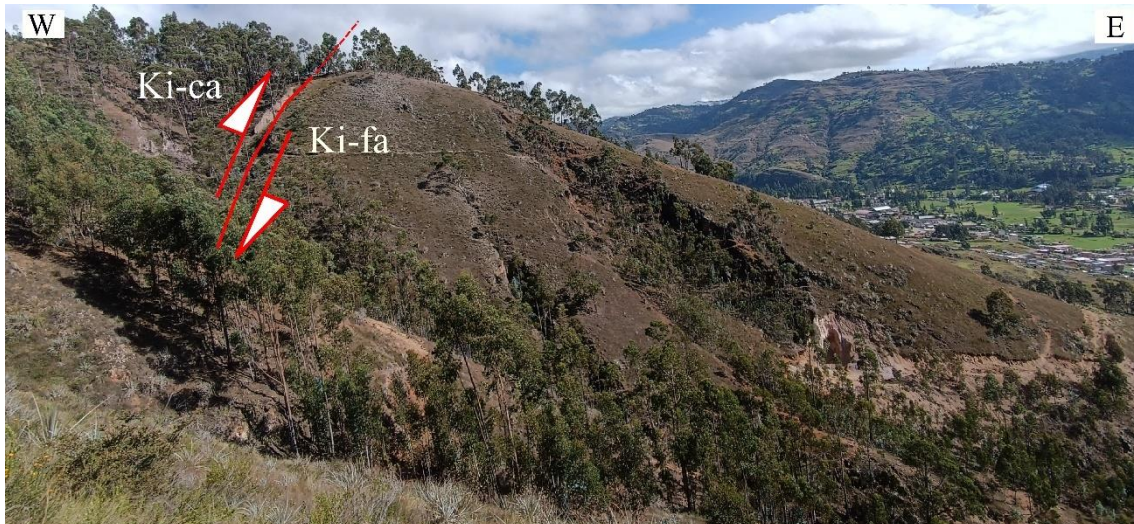
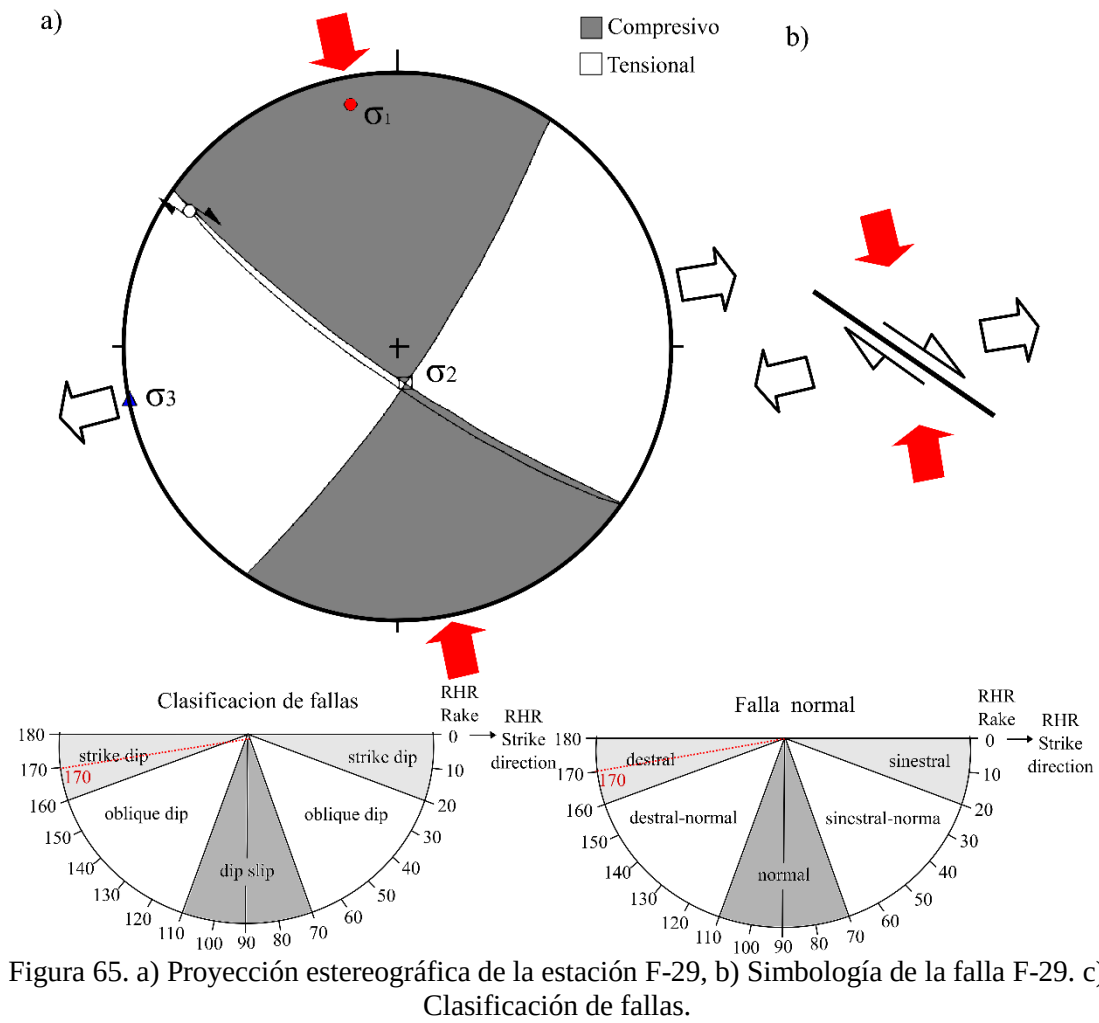
EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.53	162°	72°	Vertical	Distensivo
σ_2	0.34	278°	08°	Horizontal	
σ_3	0.13	010°	16°	Horizontal	

Estación 29

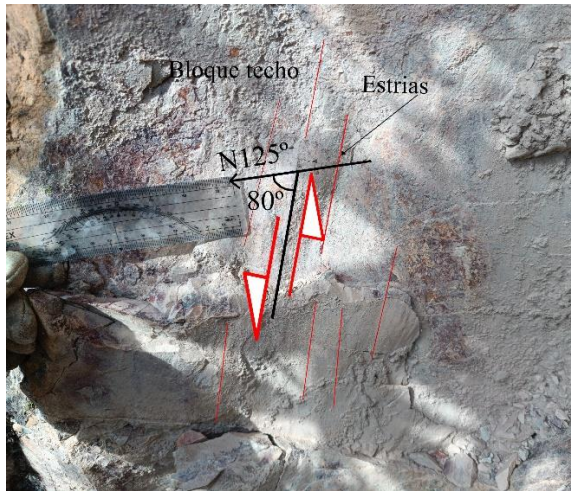
Situada en el cerro Shicuana caserío Huambocancha Baja, rocas arcillitas de la Formación Carhuaz y en areniscas de Formación Farrat. Se obtuvieron datos, azimuth de N 125°, buzamiento 80°SW, rake 77°. Se clasificó como falla es de deslizamiento vertical (dip slip) y según su nomenclatura es falla inversa, por lo que estratigráficamente la Formación Carhuaz esta suprayaciendo a la Formación Farrat. Con esfuerzo mayor σ_1 , trend N202° y plunge 31°, esfuerzo intermedio σ_2 , trend N301° y plunge 13°, esfuerzo menor σ_3 , trend N050° y plunge 59°, producto de esfuerzo de compresión en la dirección NNE-SSW, actuando un régimen compresivo.

Tabla 79. Datos estructurales de la estación F-29

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimet	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-29	9212344	772155	3051	N 125°	80° SW	77°	Ix



Fotografía 86. Vista panorámica de la falla F-29 N: 9212232, E: 772318, Cota:3035 m.s.n.m



Fotografía 87. Indicadores cinemáticos de F-19 en Formación Carhuaz N: 9212344, E: 772155, Cota:3051 m.s.n.m.



Fotografía 88. Proyección de F-29 en la quebrada Rosamayopata N: 9211038, E: 772623, Cota:2979 m.s.n.m

Tabla 80. Datos lineales de los sigmas de la estación F-29

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.54	202°	31°	Horizontal	Compresivo
σ_2	0.33	301°	13°	Horizontal	
σ_3	0.13	050°	56°	Vertical	

Estación F-30

Ubicada en caserío Huambocancha Baja, en rocas arcillitas de la Formación Carhuaz y rocas de Formación Farrat. Con azimuth de N125°, buzamiento 80°SW, rake 170°. se le identificó la falla con cinemática dextral. Se clasifico como falla es de deslizamiento de rumbo (strike slip) y según su nomenclatura es falla dextral. Esfuerzo mayor σ_1 , trend N349° y plunge 11°, esfuerzo intermedio σ_2 , dirección trend N168° y plunge 79°, esfuerzo menor σ_3 , trend N259° y plunge 00°, por lo que genera es un esfuerzo de compresión en la dirección NNW-SSE y una distensión de dirección WSW-ENE, actuando un régimen transformante.

Tabla 81. Datos estructurales de la estación F-30

Estación	Coordenadas UTM. Datum WGS84 Zona 17 S			Datos Estructurales			
	Norte	Este	Cota	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
F-30	9212372	772140	3056	N 125°	80° SW	170°	Dx

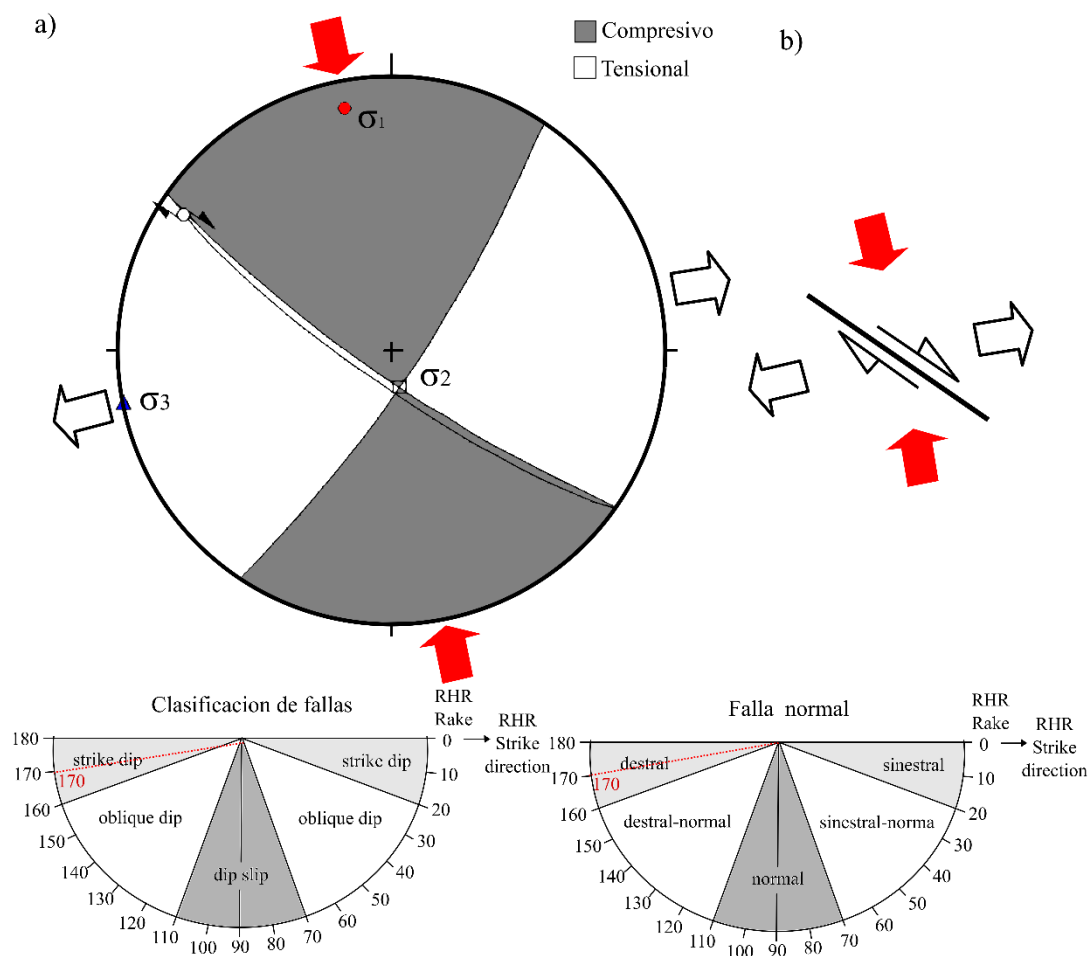
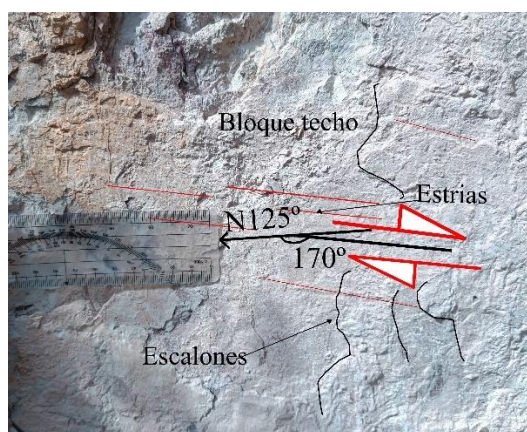


Figura 66. a) Proyección estereográfica de la estación F-30, b) Simbología de la falla F-30. c) Clasificación de fallas.



Fotografía 89. Falla dextral F-30, N: 9212232, E: 772318, Cota:3035 m.s.n.m.



Fotografía 90. Indicadores cinemáticos F-30, N: 9212372, E: 772140, Cota:3056 m.s.n.m.

Tabla 82. Datos lineales de los sigmas de la estación F-30

EJE	P. R	TREND	PLUNGE	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.55	349°	11°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.32	168°	79°	Vertical	
σ_3	0.12	259°	00°	Horizontal	

3.4.3 Fracturas

El análisis estereográfico de fracturas, se llevó a cabo mediante la observación de 184 datos, medidas en campo de azimuth y buzamiento de diaclasas. El procesamiento de la data se realizó mediante el software Dips V7 y consiguiendo los sucesivos resultados:

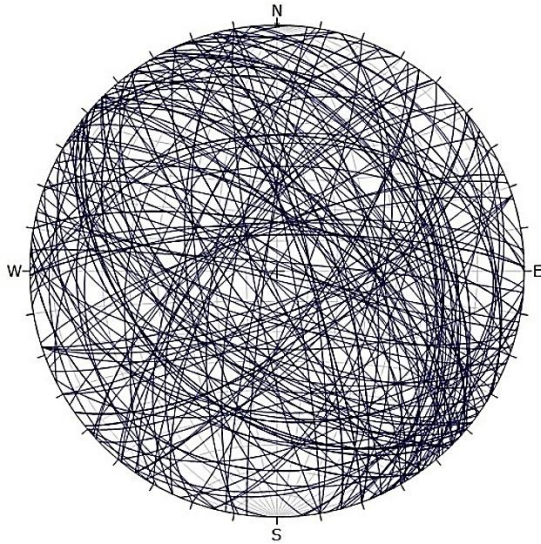


Figura 67. Planos de fracturas en proyección estereográfica.

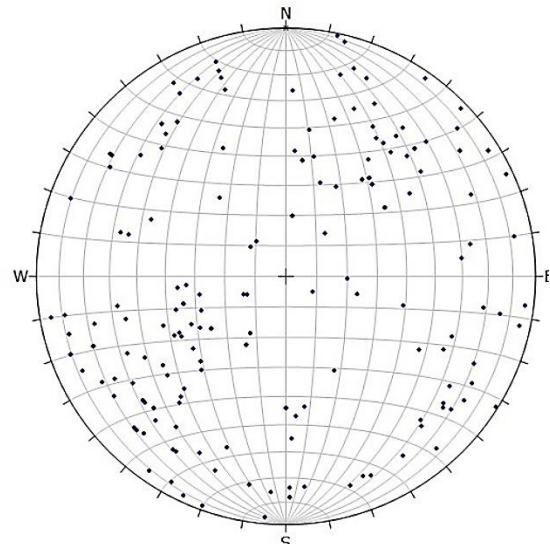


Figura 68. Polos de fractura

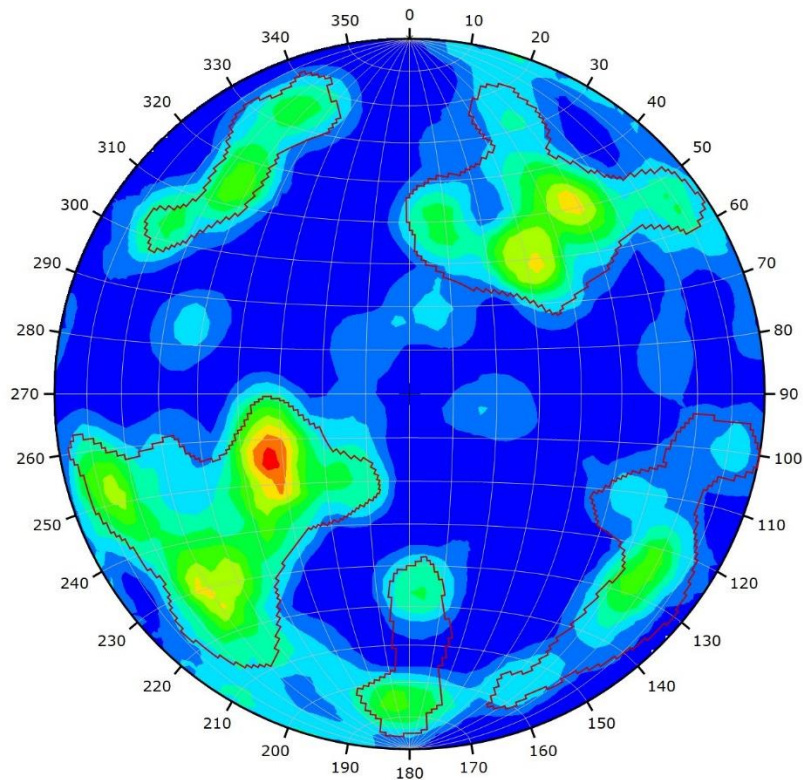


Figura 69. Concentración de Fisher de las fracturas.

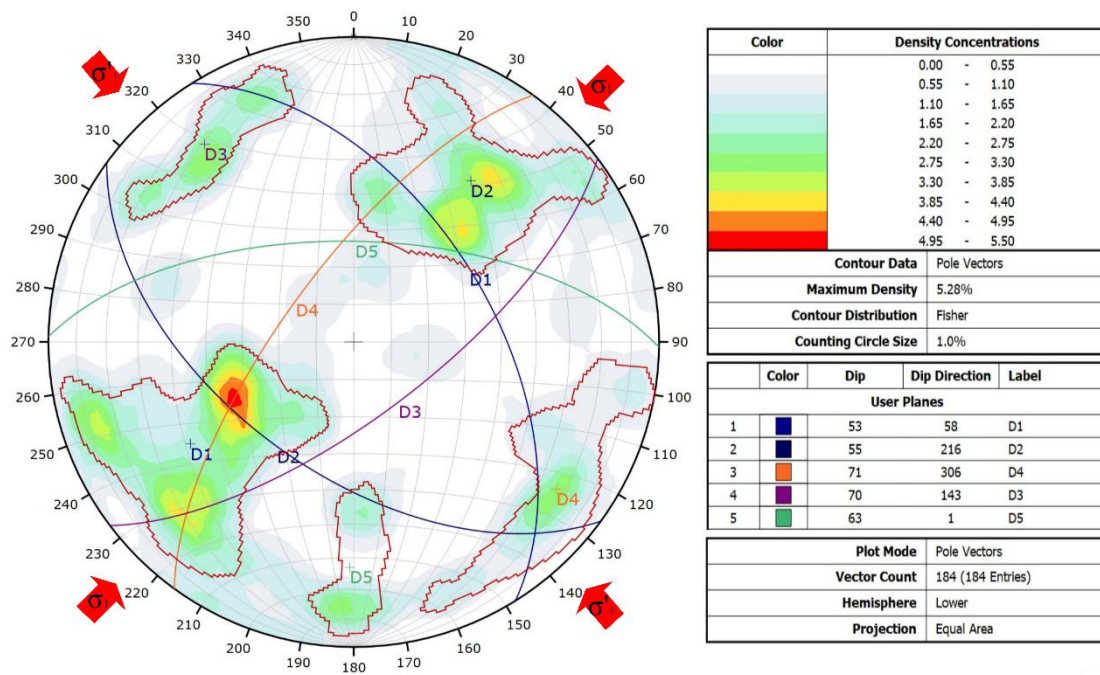


Figura 70. Diagrama de la concentración de Fisher con las principales familias de diaclasas

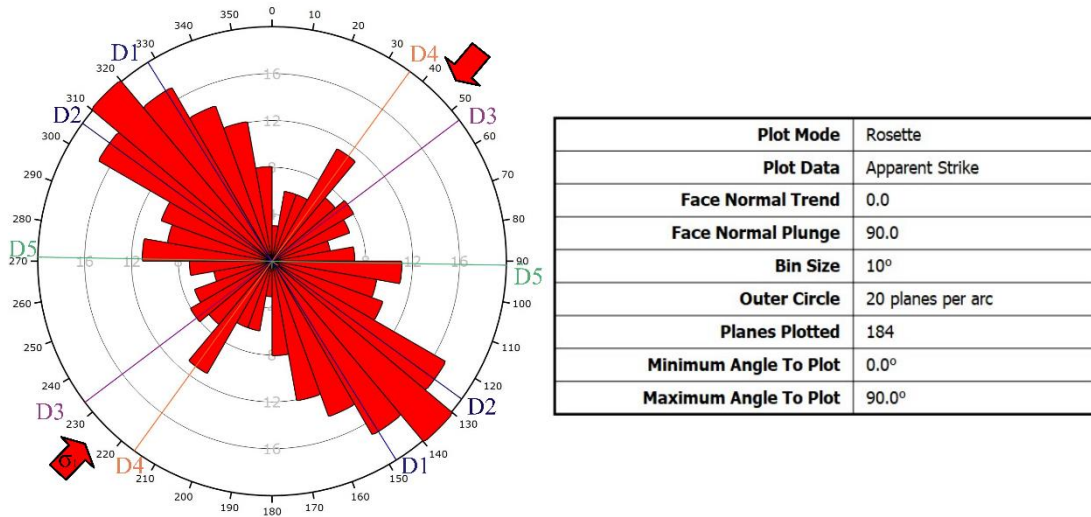


Figura 71. Diagrama de roseta

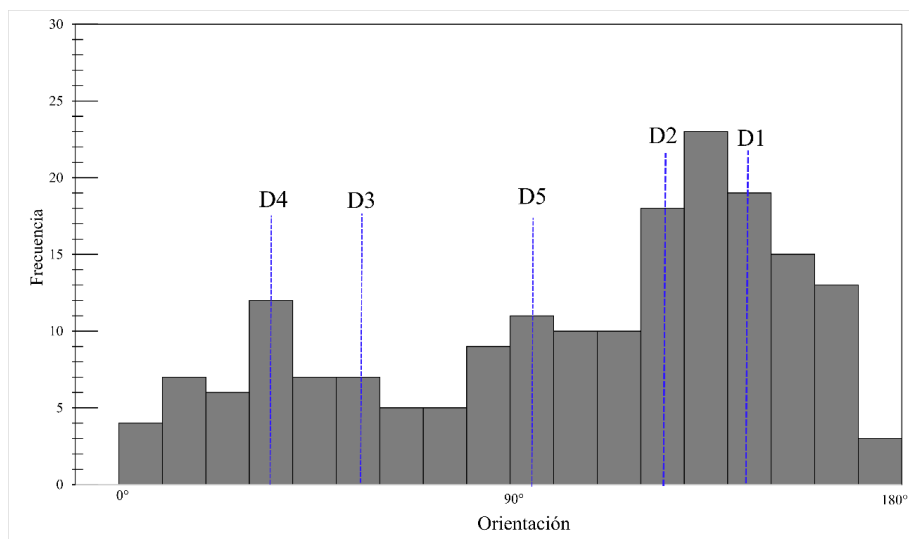


Gráfico 2. Histograma de planos, orientación vs frecuencia.

Atraves del análisis de los estereogramas, histogramas y grafico de rosetas se concluyó que existe un predominio de 5 conjuntos de fracturas. Las fracturas D3 y D4 son fracturas de cizalla conjugadas, son oblicuas al eje del pliegue y suelen formar entre ambos juegos un ángulo agudo, cuya bisectriz corresponde a la dirección NE- SW del máximo esfuerzo σ_1 generado por un régimen compresivo. Las fracturas D1 y D2 con dirección NW-SE, catalogadas como tipo ab, dispuestas paralelas al eje del pliegue y perpendiculares al plano de estratificación, en donde se observa apertura en dichas fracturas. Por ello esfuerzo máximo σ_1 se ubica perpendicular ala las fracturas D1 y D2 y producto de un régimen distensivo. La diaclasa D5 por su posición con respecto al juego E-W, pueden interpretarse como no conjugados.

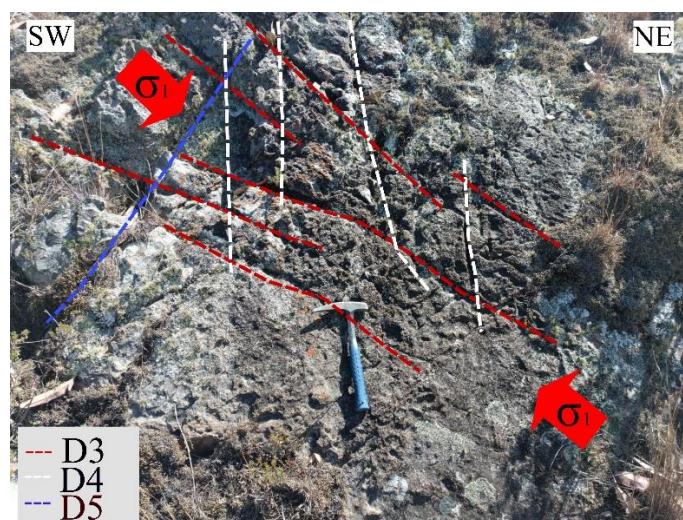


Figura 72. Principales fracturas de cizalla conjugada formados el flanco del NE de anticlinal de Huambocancha N: 9212687, E: 774222, Cota: 3070 m.s.n.m.

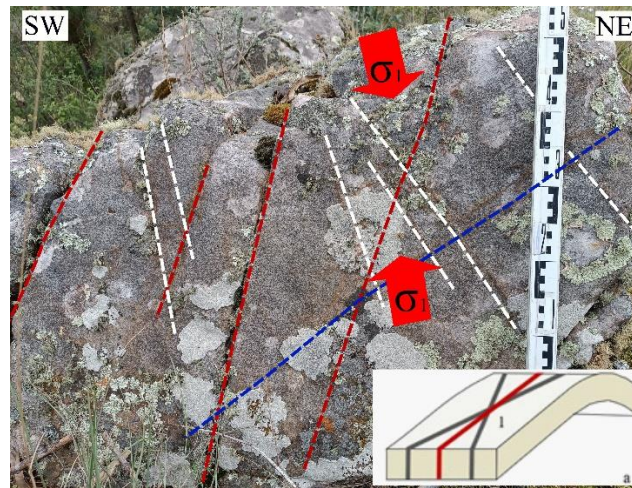


Figura 73. Fracturas en la Formación Farrat. N: 9213087, E: 773793, Cota: 3063 m.s.n.m.

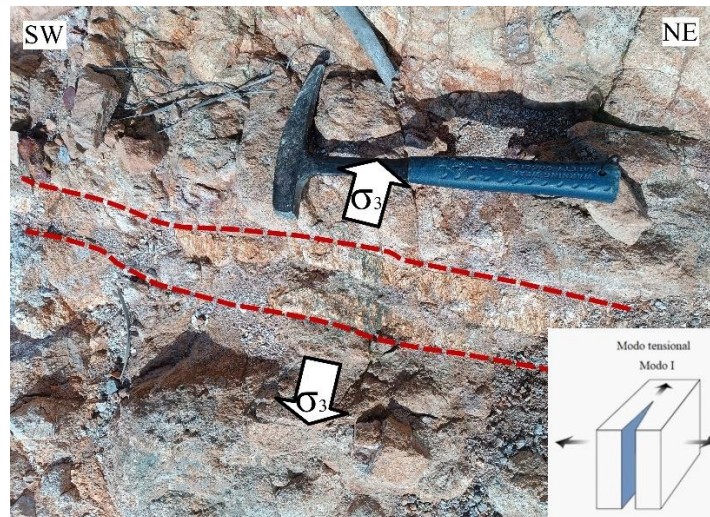


Figura 74. Fracturas de extensión en la Formación Carhuaz con relleno mineral N: 9212687, E: 774222, Cota: 3070 m.s.n.m



Figura 75. Fracturas en la rocas subvolcánicas, N: 9212590, E: 772406, Cota: 2918 m.s.n.m.

CAPÍTULO IV

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Análisis Cinemático

4.1.1 Análisis de pliegues

En la zona de investigación se identificó una variación de pliegues entre anticlinales y sinclinal, La clasificación: según el buzamiento del plano axial, en donde P1 y P2 son pliegues recto verticales y P3 es un pliegue fuertemente inclinado. Por su inmersión línea de chanela del pliegue, P1 es Pliegue no buzante, P2 y P3 son pliegue buzando suavemente. Además de sus medidas de ángulo Inter flanco en los cuales P1 y P3 son pliegues abiertos y P2 es pliegue cerrado. Dichos pliegues se catalogan como cilíndricos debido a la distribución de polos que presentan. La dirección de los ejes axiales va de NW-SE, lo que evidencia que la deformación fue generada por un evento compresión de dirección de NE-SW, la que se ajusta con la deformación andina.

4.1.2 Análisis de fallas

El centro poblado de Huambocancha baja, se encuentra dominada por fallas de orientación NW-SE (orientación típica Andina), fallas de dirección NE-SW, E-O, este sistema obedece a un complejo de compatibilidad geométrica cuyos regímenes de esfuerzos son compresivos de rumbo, y fallas dirección WNW-ESE las cuales están asociadas un régimen distensivo.

Se evaluó a 30 estaciones, de los cuales se obtuvo los datos esfuerzos máximo mínimo y medio de cada estación, acompañado del régimen dominante de acuerdo a la clasificación de Anderson, (1951). Se realizó la compatibilidad geométrica por medio del círculo de Mohr muestra una reacción de fallas preexistentes, formadas inicialmente con el ciclo andino.

Tabla 83. Resumen de estación, esfuerzos y régimen

Estación	Norte	Este	Cota	σ_1	σ_2	σ_3	Régimen
F-01	9213809	773843	2867	40	306	208	Compresivo
F-02	9213785	773875	2873	1	112	251	Transformante
F-03	9213754	773927	2885	197	306	47	Distensivo
F-04	9213729	773552	2820	84	325	179	Transformante
F-05	9213605	773512	2844	149	244	336	Distensivo
F-06	9213489	773350	2818	305	109	200	Distensivo
F-07	9213546	773465	2830	285	115	25	Distensivo
F-08	9212684	773736	2885	160	303	69	Transformante
F-09	9212255	774551	2894	140	237	46	Transformante
F-10	9212088	774355	2878	46	137	228	Distensivo
F-11	9211577	773899	2768	229	135	42	Distensivo
F-12	9211838	775143	2765	208	90	303	Transformante
F-13	9211439	775606	2769	144	242	47	Transformante
F-14	9212814	773362	2806	45	239	140	Transformante
F-15	9213130	772117	2867	342	230	84	Transformante
F-16	9212662	772454	2869	92	272	2	Distensivo
F-17	9211370	773151	2949	155	334	65	Transformante
F-18	9211478	773257	2893	227	319	134	Transformante
F-19	9211113	773350	2882	231	80	348	Transformante
F-20	9211115	773364	2768	220	72	316	Transformante
F-21	9211803	772780	2924	128	308	218	Transformante
F-22	9211807	772776	2929	9	244	117	Transformante
F-23	9211847	772731	2952	334	142	233	Transformante
F-24	9212415	772345	2964	297	175	67	Transformante
F-25	9212350	772312	2961	24	230	114	Transformante
F-26	9212348	772285	2966	220	359	102	Transformante
F-27	9212349	772303	2964	318	106	205	Transformante
F-28	9212378	772473	2926	162	278	10	Distensivo
F-29	9212344	772155	3051	202	301	50	Compresivo
F-30	9212372	772140	3056	349	168	259	Transformante

4.1.3 Análisis de fracturas

Las fracturas dispuestas en áreas, fueron dada: producto de la compresión NE- SW que dio lugar a deformación de los pliegues, los que a su vez dan como resultado por dos familias diaclasa D3 y D4, conjugadas entre si. Twiss y Moores 2007, las cataloga como fractura ab. en donde el plano de fractura que contiene (a) es paralelo al buzamiento en la estratificación y b (paralelo al rumbo del estrato) y según la clasificaron de (Ruiz, 2017). se etiquetan como fracturas: hk0 con ángulo agudo al eje a. Además, se las fracturas D1 y D2 se encasillas dentro del Modo I, las cuales son fracturas de tensión, abren muy levemente en la dirección perpendicular a la superficie de la fractura, las cuales se evidencia por el relleno mineralizado dispuesto en dichas fracturas, así mismo se forman paralelos al plano principal de tensión que es perpendicular a la dirección σ_3 . (Van der Pluijm y Marshak. 2004). Por ultimo se identifico una familia D5 la cual afectado a rocas andesíticas y tobas.

4.2 Evolución de Deformación

El área de investigación muestra diversas características estructurales, evidenciado en diferente evento tectónicos, las cuales han configurado la geomorfología actual. Y estas se describen a continuación.

4.2.1 Primer evento: Esfuerzo de compresión NE-SW

Este esfuerzo fue determinado a partir de las estructuras de pliegues P-01, P-02, P-03 y fracturas D3 y D4. Las cuales muestran un esfuerzo compresivo (σ_1) con dirección NE-SW. El cual posterior a la deposición, deforma el prisma sedimentario (Reyes, 1980). La compresión se acentúa en el Paleoceno y guarda relación con la fase tectónica Inca I Benavides (1999), que es caracterizada por un intenso plegamiento con dirección NW – SE en las rocas del Cretácicas, (Benavides, 1999)

Tabla 84. Resumen de datos estructurales del primer evento.

<i>Estación</i>	<i>Flanco</i>	<i>Datos Estructurales</i>	
		<i>Azimut</i>	<i>Buzamiento</i>
P-01	Noreste	N 324°	42°
	Suroeste	N 129°	41°
P-02	Noreste	N 309°	72°
	Suroeste	N 114°	62°
P-03	Noreste	N 118°	42°
	Suroeste	N 316°	67°
D3	-	N 53°	71°
D4	-	N 216°	70°

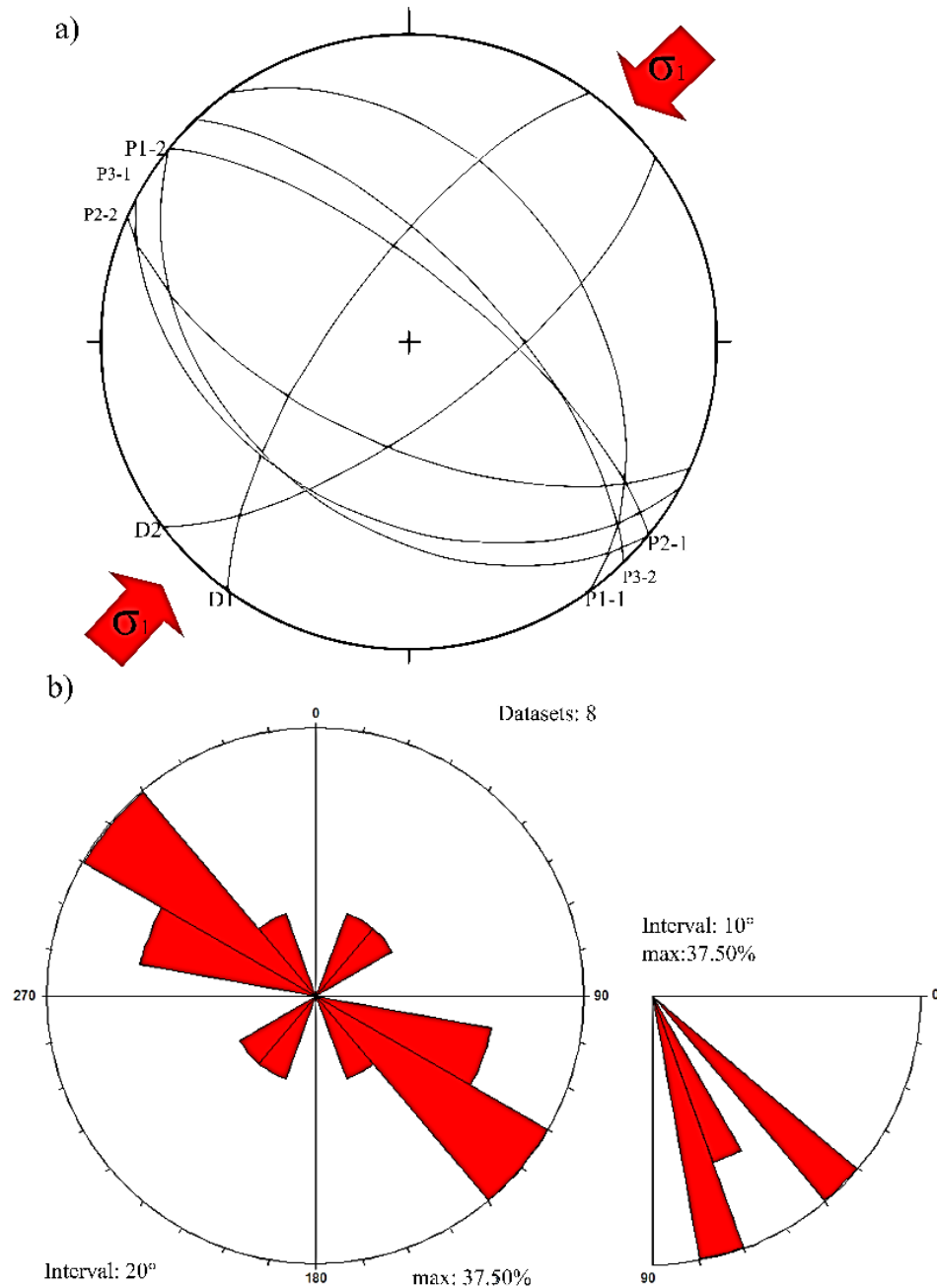


Figura 76. a). Asociación de estaciones P-01, P-02, P-03, D3y D4 acompañada de dirección máxima de compresión (σ_1). b) Diagrama de rosetas, con orientación predominante NW- SE (máximo 37%) y otra tendencia NE- SW.

4.2.2 Segundo evento: Esfuerzo de compresión NE-SW

Este evento engloba a las estaciones F-01, F-12, F-14, F-18, F-20, F-22, F-25 y F-29, las cuales indican esfuerzo compresivo (σ_1) de dirección NE-SW. Por medio del Circulo de Mohr resalta las fallas de dirección NW-SE, como fallas neoformadas y correspondiente

a las fallas inversas regiones: Tres molinos FTM mencionada por Lagos, et al (2012), y la falla denomina Vizcachas. La presencia de las dichas fallas da registro de acortamiento de los andes y un periodo de fuerte velocidad de convergencia en el Eocene inferior y medio, es decir correspondería a una subducción plana según Carloto y Cardenas (2006). Por tal razón se correlaciona con Fase tectónica Inca II descrita por Benavides (1999). Dichas fallas son parte del fallamiento en bloques estudiado por Bazan y Lagos (2018), en el cual menciona que existe un desacople cortical a nivel de las lutitas de la Formación Chicama, la zona es parte para el bloque Yanacocha limitado por la Falla tres molinos que es la proyección de la Falla Cajamarca y La Transformante Hualgayoc. Además, existe dos predominios de estructuras: uno de estructuras N-S se clasifico como son fallas de tipo R, y otras estructuras ENE-WSW, de tipo R₁ según el modelo de Riedel.

Tabla 85. Resumen de datos estructurales del segundo evento.

<i>N°</i>	<i>Azimut</i>	<i>Buzamiento</i>	<i>Rake</i>	<i>Cinematica</i>	<i>Estación</i>
1	N 304°	82°	95°	Ix	F-01
2	N 344°	64°	5°	Dx	F-12
3	N 191°	57°	152°	Dx	F-14
4	N 171°	62°	38°	DxIx	F-18
5	N 1°	60°	168°	Dx	F-20
6	N 62°	87°	48°	SxNx	F-22
7	N 69°	86°	9°	Sx	F-25
8	N 125°	80°	77°	Ix	F-29

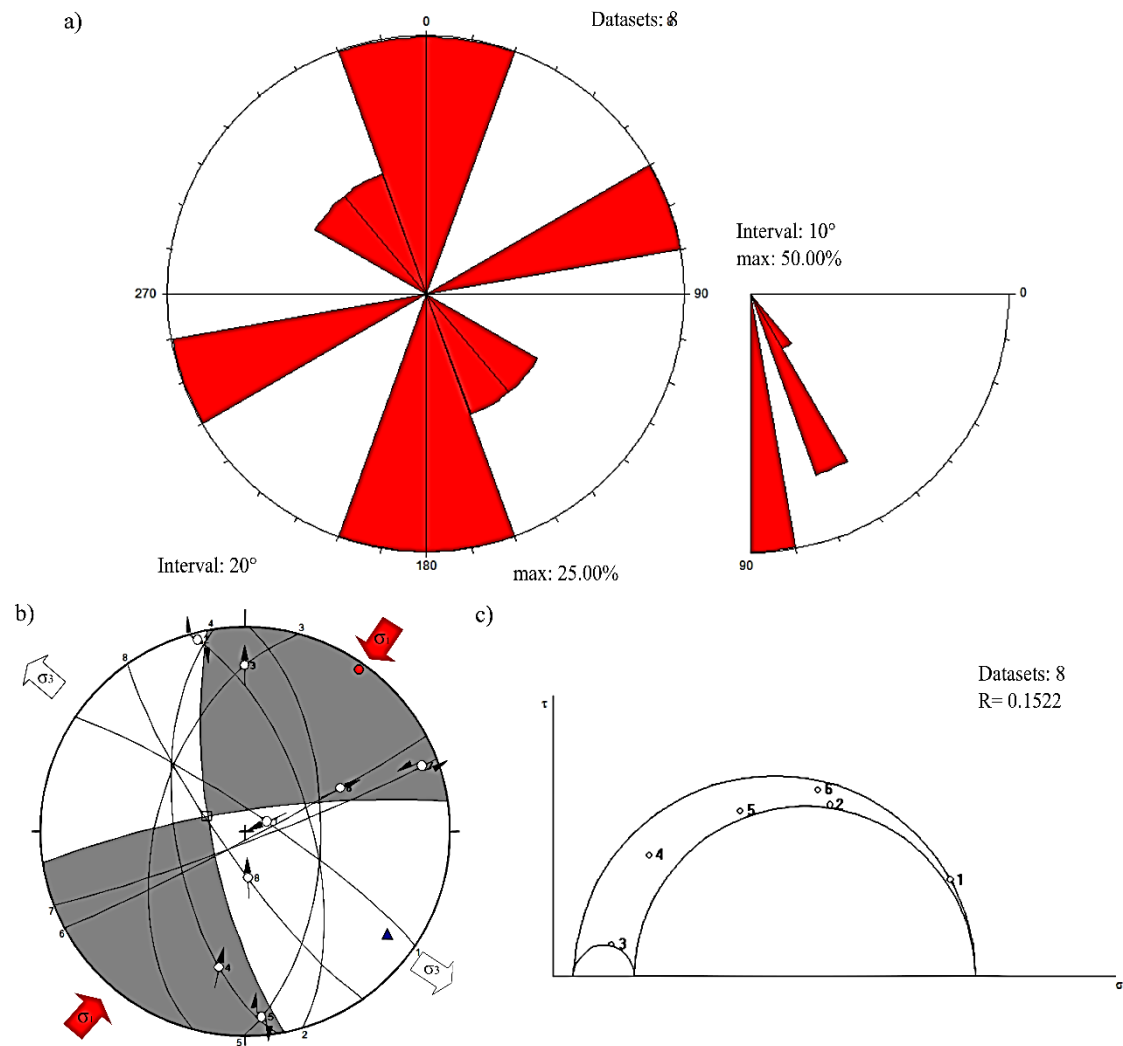


Figura 77. a). Diagrama de rosetas, con orientación predominante (máximo 50%) b) Diedros del segundo evento acompañada de dirección máxima de compresión (σ_1). c) Diagrama de círculo de Mohr

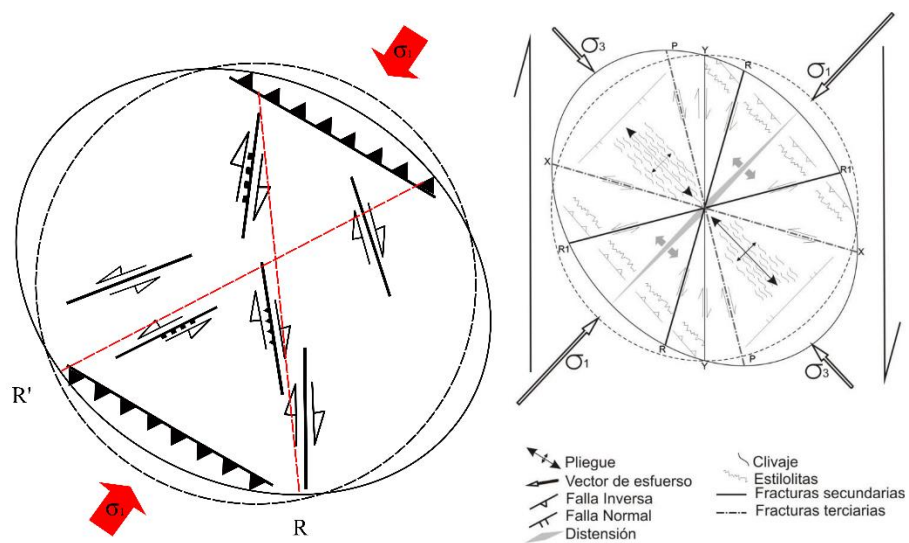


Figura 78. Modelo de Riedel para el segundo evento

Tabla 86. Datos de esfuerzo del segundo evento.

<i>EJE</i>	<i>P. R</i>	<i>DIRECCIÓN</i>	<i>CABECEO</i>	<i>P. ANDERSON</i>	<i>REGIMEN</i>
σ_1	0.49	035°	04°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.31	292°	74°	Vertical	
σ_3	0.20	126°	16°	Horizontal	

4.2.3 Tercer evento: Esfuerzo de transtensión NE-SW

Este evento está conformado por a las estaciones F-02, F-08, F-09, F-13, F-09, F-15, F-17, F-21, F-24, F-27 y F-30. Las que muestra un esfuerzo compresivo (σ_1) de dirección NW-SE, y distintivo NE-SW. Las estructuras preexistentes del segundo evento han sido reactivadas. Lagos, et al (2009) cataloga que la Falla Tres Molinos que se reactivó en el Paleógeno como falla direccional y forman parte de la estructura dilatacional. Las que dieron cabida para magmatismo en la zona. Dicho evento se vincula a la Fase Tecnica Inca IV, Benavides, (1999). Según Bazán, (2018) manifiesta que esta fase se caracteriza por un compresion con componente cizallante, lo que ratifica lo mencionado. Asimismo se identifico la neoformación de fallas (fallas ploteadas dentro del círculo de Mohr) producto del tercer evento. El diagrama de rosetas muestras una orientación predominante NNE- SSW (máximo 40%). Otra tendencia NE- SW de menor importancia conjugada, otra de dirección E- W.

Tabla 87. Resumen de datos estructurales del tercer evento.

<i>N°</i>	<i>Azimet</i>	<i>Buz</i>	<i>Rake</i>	<i>Cinematica</i>	<i>Estación</i>
1	N 304°	82°	42°	DxIx	F-02
2	N 205°	77°	2°	Sx	F-08
3	N 207°	85°	2°	Sx	F-08
4	N 206°	86°	3°	Sx	F-08
5	N 199°	75°	2°	Sx	F-08
6	N 190°	60°	157°	Sx	F-09
7	N 195°	54°	155°	SxIx	F-13
8	N 216°	87°	139°	SxIx	F-15
9	N 214°	75°	138°	SxIx	F-15
10	N 295°	68°	155°	DxNx	F-17
11	N 276°	65°	145°	Dx	F-21
12	N 270°	54°	140°	Dx	F-21
13	N 358°	81°	67°	NxSx	F-24
14	N 326°	38°	44°	SxNx	F-27
15	N 125°	80°	170°	Dx	F-30

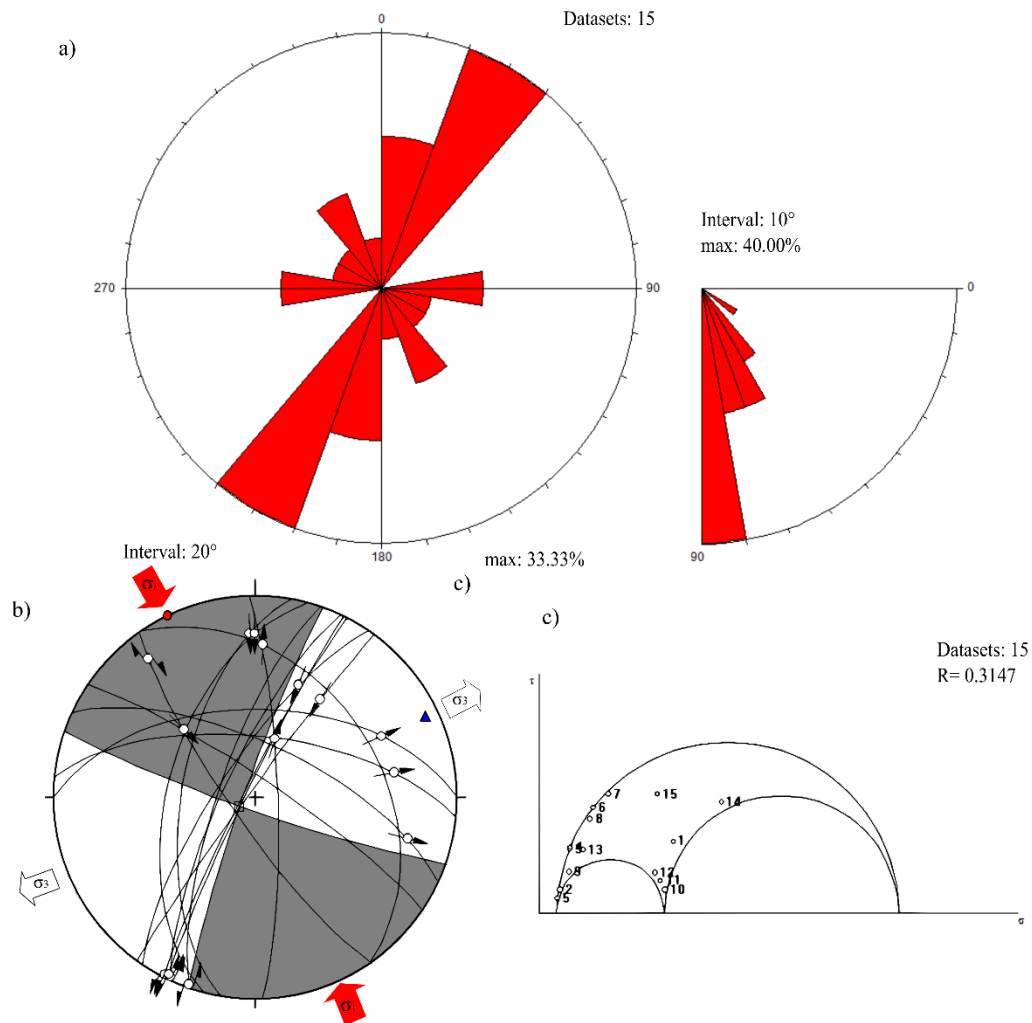


Figura 79. a). Diagrama de rosetas, con orientación predominante (máximo 40%) b) Diedros del tercer evento acompañada de dirección máxima de compresión (σ_1). c) Diagrama de círculo de Mohr

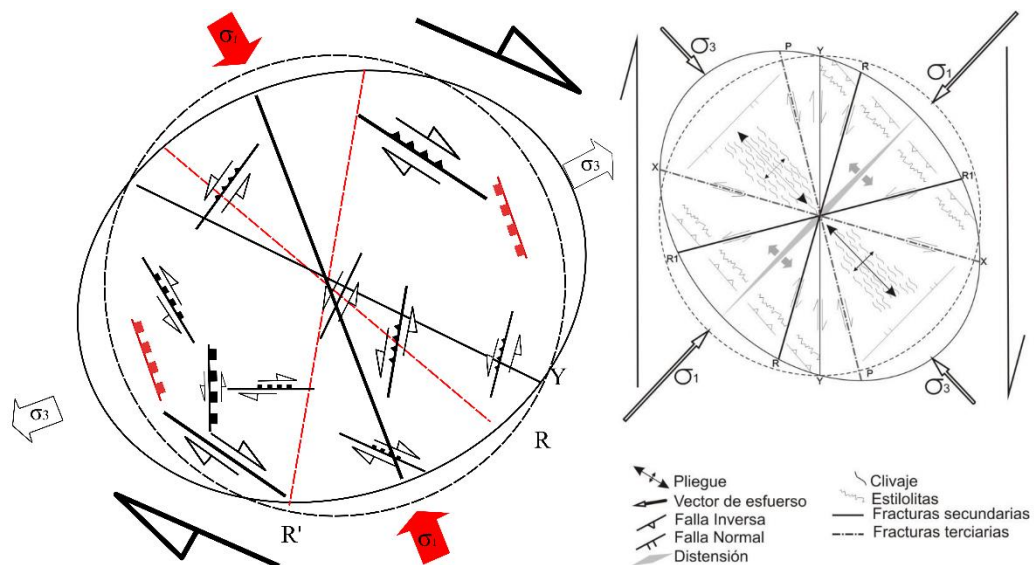


Figura 80. Modelo de Riedel para el segundo evento

Tabla 88. Datos de esfuerzo del tercer evento.

<i>EJE</i>	<i>P. R</i>	<i>DIRECCIÓN</i>	<i>CABECEO</i>	<i>P. ANDERSON</i>	<i>REGIMEN</i>
σ_1	0.48	334°	00°	Horizontal	Transformante
σ_2	0.33	241°	84°	Vertical	
σ_3	0.19	064°	07°	Horizontal	

4.2.4 Cuarto evento: Esfuerzo de distensivo N-S

Las estaciones F-04, F-05, F-16, F-19 y F-28, son la que conforman el cuarto evento en su mayoría son fallas normales, muestra una distensión N-S. Requelme (2021), registra un evento similar de fallamiento normal en la que se exhiben un componte dextral, El diagrama en rosetas, muestra una orientación predominante WSW- ENE (máximo 28.57%). La distribución de las fallas en el círculo de Mohr muestra una dispersión de los puntos mostrando fallas reactivadas de las etapas previas. Asimismo, este dejo como resultado un Horts paralelo a la dirección la extensión N-S generando control estructural para la depositacion de la secuencia volcánica Tual-Puruay. Además, que se produjo una erosión que antecede la deposición de las tobas de la Secuencia Volcánica San José (Volcánico Huambos) Navarro, (2012) reporta una edad Ar-Ar de 11.45 ± 0.12 Ma. Por lo que el evento se correlaciona con la fase tectónica Quechua I (Benavides, 1999).

Tabla 89. Resumen de datos estructurales del cuarto evento.

<i>N°</i>	<i>Azimet</i>	<i>Buzamiento</i>	<i>Rake</i>	<i>Cinematica</i>	<i>Estación</i>
1	N 220°	64°	5°	Dx	F-04
2	N 243°	74°	93°	Nx	F-05
3	N 257°	47°	110°	Nx	F-16
4	N 60°	39°	115°	NxDx	F-19
5	N 272°	56°	106°	Nx	F-28
6	N 273°	54°	106°	Nx	F-28
7	N 282°	74°	84°	Nx	F-28

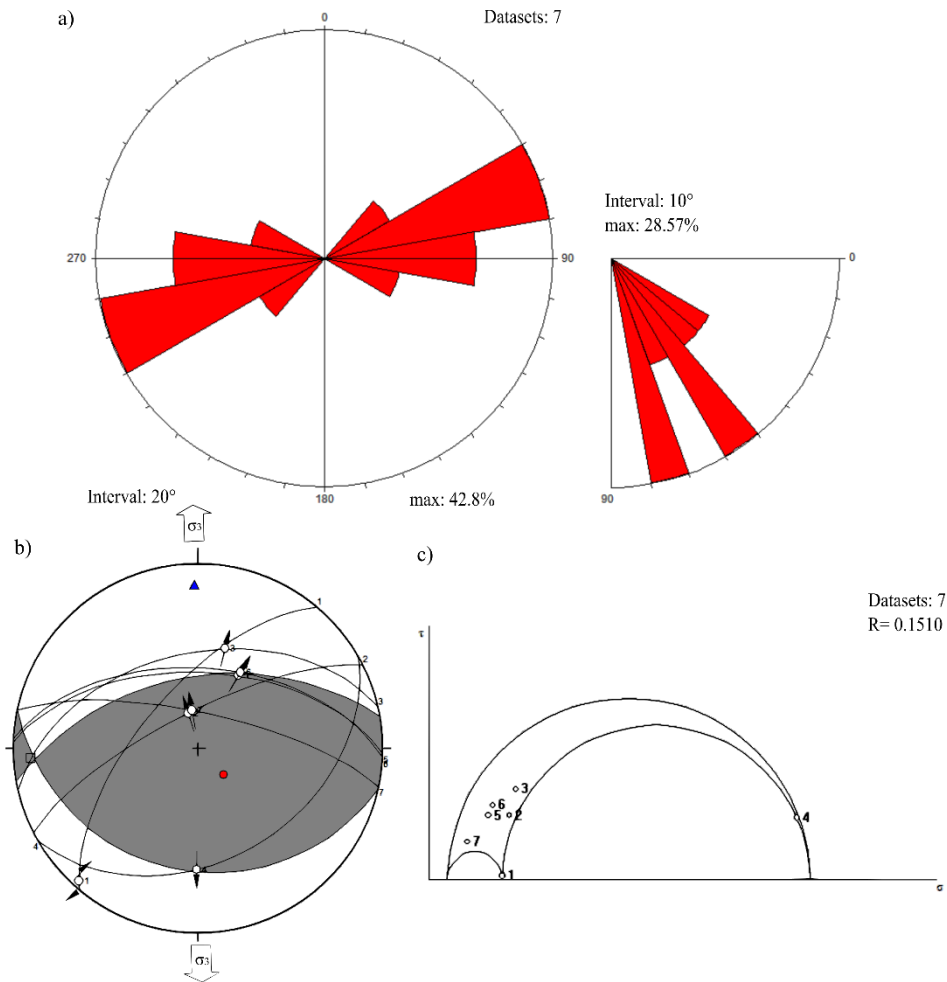


Figura 81. a). Diagrama de rosetas, con orientación predominante (máximo 28.57%) b) Diedros del cuarto evento acompañada de dirección de extensión (σ_3). c) Diagrama de círculo de Mohr

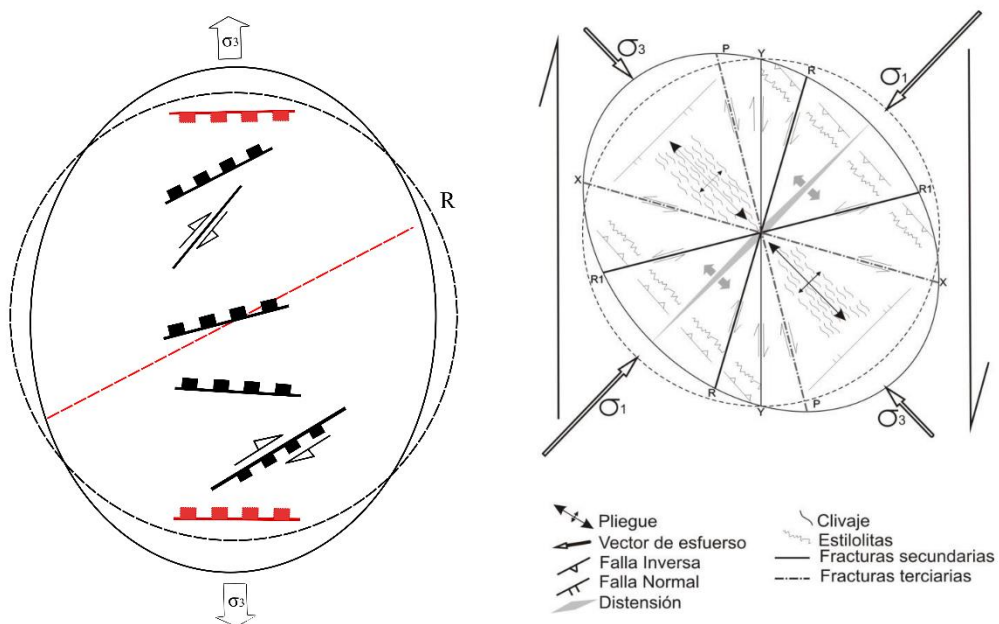


Figura 82. Modelo de Riedel para el cuarto evento

Tabla 90. Datos de esfuerzo del cuarto evento.

<i>EJE</i>	<i>P. R</i>	<i>DIRECCIÓN</i>	<i>CABECEO</i>	<i>P. ANDERSON</i>	<i>REGIMEN</i>
σ_1	0.49	137°	74°	Vertical	Distensivo
σ_2	0.36	266°	10°	Horizontal	
σ_3	0.15	359°	12°	Horizontal	

4.2.5 Quinto evento: Esfuerzo de distensivo NE-SW

Este evento está establecido por a las estaciones F-03, F-06, F-07, F-10, F-11, F-23, F-26. Las que muestra un esfuerzo distintivo (σ_3) con orientación NE-SW. y asimismo se observó que son fallas reactivadas (fallas ploteadas dentro del círculo de Mohr) producto de evento anteriores. El diagrama de rosetas muestras una orientación predominante NW-SE (máximo 50%). Otra tendencia menor ENE- WSW. Las fallas normales de dicho evento, actuaron como graben, erosionando la charnela del pliegue de Huambocancha, y siendo parte de la cuenca intramotañosa de Cajamarca (sector norte). La cual se formó aproximadamente a los 7.2 Ma en la Fase Tectonica Quechua II (Benavides, 1999). Por lo argumentados anteriormente este evento se correlaciona dicha fase.

Tabla 91. Resumen de datos estructurales del Quinto evento.

<i>N°</i>	<i>Azimut</i>	<i>Buzamiento</i>	<i>Rake</i>	<i>Cx</i>	<i>Estación</i>
1	N 304°	82°	102°	Nx	F-03
2	N 303°	43°	72°	Nx	F-06
3	N 105°	43°	104°	Nx	F-07
4	N 137°	86°	92°	Nx	F-10
5	N 315°	87°	88°	Nx	F-11
6	N 320°	40°	68°	Nx	F-23
7	N 337°	44°	70°	Nx	F-23
8	N 350°	71°	119°	NxSx	F-26

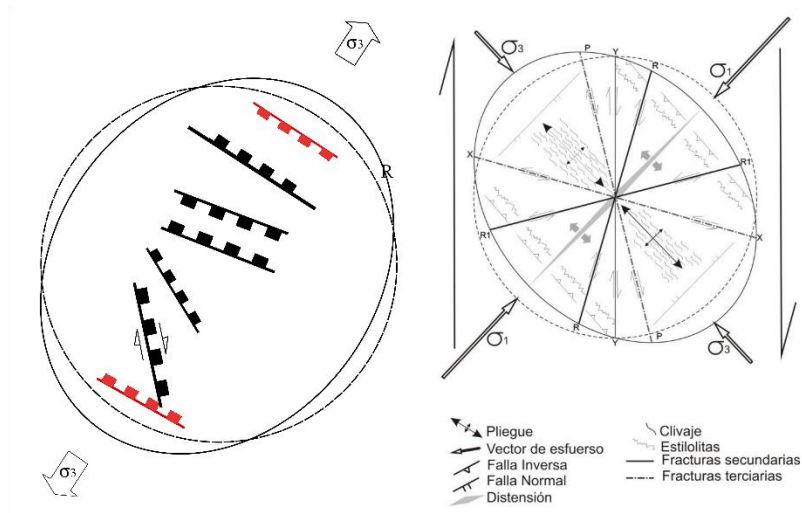


Figura 83. Modelo de Riedel para el quinto evento

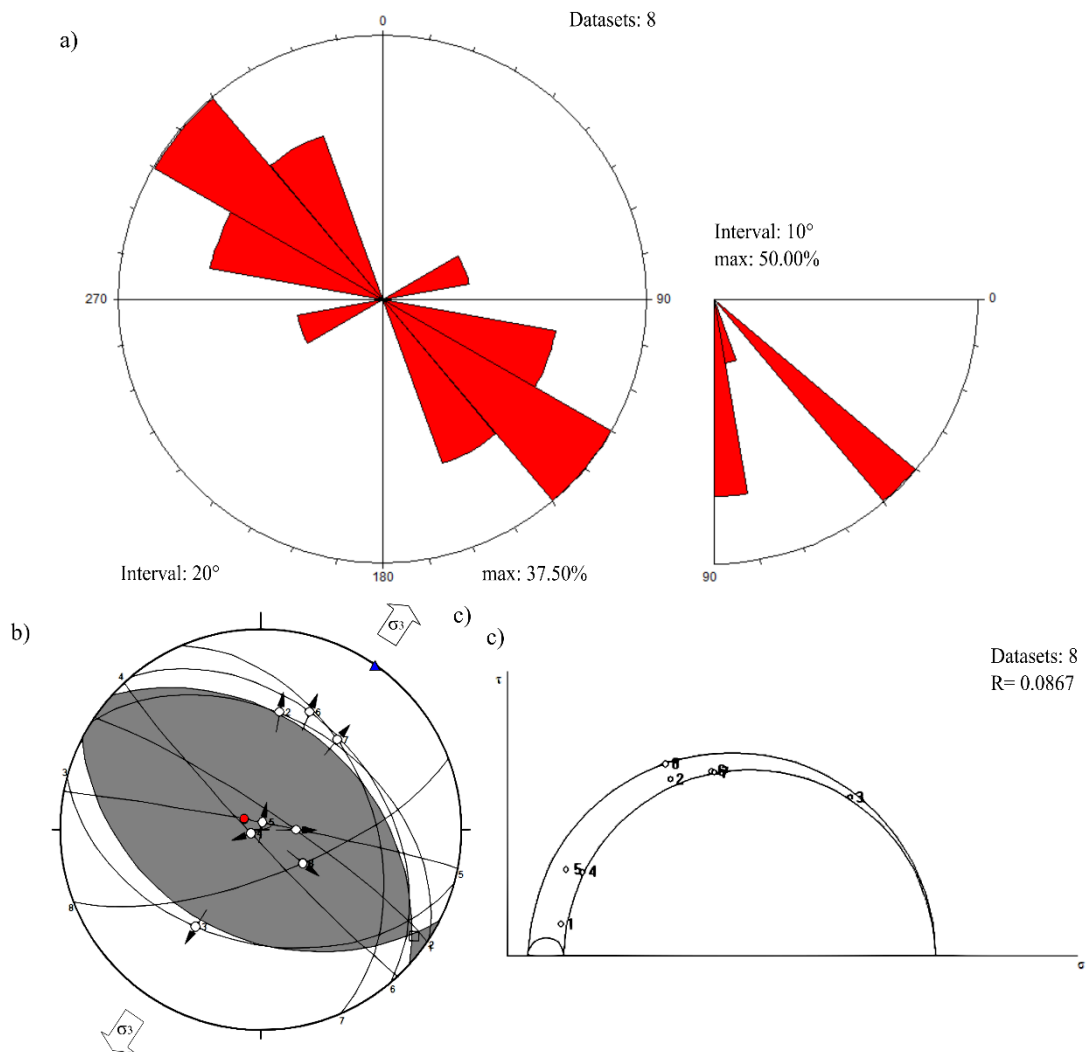


Figura 84. a). Diagrama de rosetas, con orientación predominante (máximo 50%) b) Diedros del quinto evento acompañada de dirección de extensión (σ_3). c) Diagrama de círculo de Mohr

Tabla 92. Datos de esfuerzo del quinto evento.

EJE	P. R	DIRECCIÓN	CABECEO	P. ANDERSON	REGIMEN
σ_1	0.46	303	82	Vertical	Distensivo
σ_2	0.32	125	08	Horizontal	
σ_3	0.22	035	00	Horizontal	

4.2.6 Evolución de régimen

A partir de las magnitudes de los esfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), ayudo a pronosticar los regímenes, por medio del análisis del valor R (Ratio de esfuerzo principales) que varían con el acontecer de lo diversos eventos descritos anteriormente. Inicialmente $R_1=0.1522$ que corresponde al segundo evento, está inmerso en un régimen compresivo producto de compresión uniaxial. Segundo ratio $R_2=0.3147$ que corresponde al tercer evento, está sumergido en un régimen transformante producto de compresión y extensión uniaxial. Para el tercer $R_3=0.1510$ y cuarto ratio $R_4=0.0867$ se catalogan como de régimen extensional con una extensión radial.

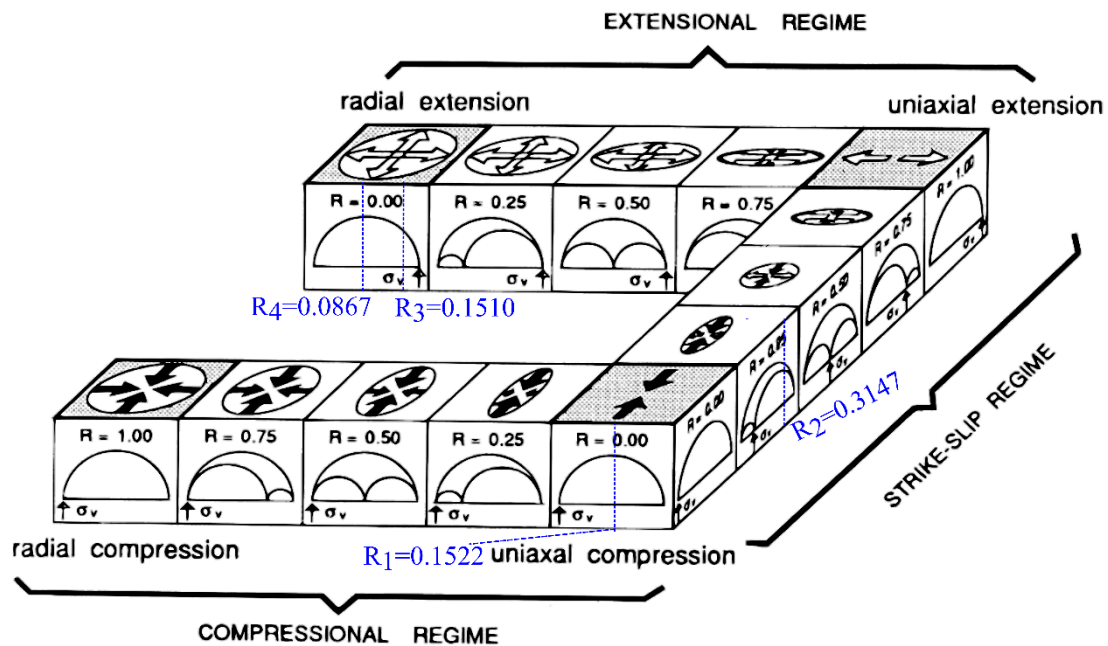


Figura 85. Clasificación de lo diferentes tipos de regímenes

4.3 Contrastación de la Hipótesis

Se pudo aseverar el comportamiento estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja, presentan indicadores cinemáticos que muestran a las estructuras geológicas influenciadas por los paleoesfuerzos que siguieron la dirección SW-NE en el primer y segundo evento compresivos formando diaclasas, fallas y pliegues, Además, que se evidencio eventos de régimen transformantes haciendo un acomodo de las fallas existentes, por último, un régimen extensiones, todo ello propio de las orogenia andina, la que concuerda con la subducción de la placa de nazca debajo de la sudamericana.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se identificaron 34 estaciones y se clasificaron en las siguientes estructuras: 3 pliegues, 30 fallas, y fracturas.

Los pliegues por su forma son denominados como: El anticlinal Huambocancha (P-01), anticlinal Llushcapampa (P-02) y Sinclinal Llagamarca (P-03); asimismo de acuerdo al buzamiento del plano axial, P-01 y P-02 son pliegues recto verticales y P-03 es un pliegue fuertemente inclinado. Además, por la inmersión de la línea de chanela, P-01 es Pliegue no buzante, P-02 y P-03 son pliegue buzando suavemente. Finalmente, de acuerdo al ángulo inter flanco los P-01 y P-03 son pliegues abiertos y P-02 es pliegue cerrado.

Las fallas inversas NW-SE generaron fallas de rumbo tipo riedel y antiriedel, asociadas a un acortamiento horizontal. Se reactivaron las fallas en direccionales dextrales con orientación NNE-SSW. Las fallas normales con orientación E-W formaron un horst, y las de dirección NW-SE creó un graben que originó el sector norte de la cuenca intramontañosa de Cajamarca

En las fracturas se identificaron: planos de estratificación, paralelo al buzamiento y conjugadas. Las fracturas muestran una cizalla conjugadas de orientación NE-SW y extensionales NW-SE.

El comportamiento estructural muestra 5 eventos de deformación: Primer evento: compresión NE-SW, responsable del plegamiento de la secuencia cretácica, relacionada a la Fase Tectónica Inca I. Segundo evento: compresión NE-SW, asociada a la Fase Tectónica Inca II. Tercer evento: transtensión NE-SW, asociada a la Fase Tectónica Inca IV. Cuarto evento: distensión N-S, asociado Fase Tectónica Quechua I. Por último, un quinto evento: distensión NE-SW, se asocia a la Fase Tectónica quechua II.

La clasificación de regímenes, fueron dados por valor R (Ratio de esfuerzo principales) son: $R_1=0.1522$ que corresponde al segundo evento, está inmerso en un régimen compresivo producto de compresión uniaxial. $R_2=0.3147$ forma un régimen transformante producto de compresión y extensión uniaxial. $R_3=0.1510$ y $R_4=0.0867$ son de régimen extensional con una extensión radial.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda a los estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (EPIG), realizar un análisis microestructural en secciones delgadas. Para tener un mejor panorama del comportamiento de las estructuras aledañas a la zona de estudio.

Se recomienda a los investigadores realizar un estudio geofísico (sísmico) en el valle de Huambocancha, y así entender la evolución de cuenca intramontañosa de Cajamarca en el sector norte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaya, L. 2021. Influencia de la tectónica cenozoica del antearco peruano en el mecanismo de deformación del Morro Solar mediante el análisis estructural. Tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con Mención en Tectónica y Geología Regional. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Arellano, J.; De la Llata, R.; Carreón, M.; Villarreal, J.; Morales, W. 2002. Ejercicios de geología estructural. Ciudad de Mexico, Mexico, Facultad de Ingeniería, UNAM. 89, 90p.
- Bazan, O.; Lagos, A. 2018. Fallamiento en bloques y desacople cortical en la deflexión de Cajamarca durante la tectónica andina. Lima: Sociedad Geologica del Perú
- Bazan, O. 2013. Tectónica andina y su componente cizallante Alusivo al norte del Perú. Cajamarca, Peru.
- Becerra, I. 2017. Caracterización Estructural De La Cuenca Mesozoica Arequipa En Pachía (36v) Y Palca (36x) Mediante Análisis Microtectónico E Integración Con Información Sísmica Del Subsuelo. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Geólogo. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Benavente, C.; Delgado, F. 2012. Falla Amaru: Tectónica activa y paleoesfuerzos en el altiplano sur peruano. Lima: INGEMMET.
- Benavides, V. 1956. Cretaceous system in northern Peru. New York: American Museum of natural History Bulletin.
- Benavides, V. 1999. Orogenic Evolution of the Peruvian Andes: The Andean Cycle. Lima: Society of Economic Geologists.
- Burg, J. 2020. Script to Structural Geology. Zürich, Alemania, ETH Zurich. 97, 106p.
- Casas, A; Gil, I; Simón, J. 1990. Los metodos de analisis de paleoesfuerzos a partir de poblaciones de fallas: sistematica y tecnicas de aplicación. Zaragoza, España, Editorial CSIC. 386, 387p.
- Carlotto, V, Cárdenas, J. 2006. ¿El evento tectónico compresivo del Eoceno en el Perú: resultado de un proceso de subducción plana?. Lima, Sociedad Geológica del Perú.
- Cerdan, J. 2018. Modelamiento geoestructural del sinclinal Otuzco basado en análisis tenso - deformacional de rocas calcáreas del cretáceo superior. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Geólogo. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.

- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico. Lima: INGEMMET.
- De Vicente, G; Muñoz, A. 2010. Análisis de esfuerzos Tectónicos. Madrid, España, Reduca (Geología). 54-57, 65.
- Echeverry, S; Cárdenas, A; Ordóñez, O; Muñoz, O. 2009. Aspectos Estructurales Y Relaciones De Algunos Sistemas Vetiformes Del Distrito Minero Segovia-Remedios. Medellin: Researchgate.
- Espaza, E.; Maryorga, J. 2022. Estratigrafía y petrografía de la secuencia volcánica Tual–Puruay Traverse Puruay–Lluscapampa (sur de Yanacocha) Cajamarca - Perú. Lima: Rev. Inst. investig. Fac. minas metal. cienc. geogr. vol 25 n° 49.
- Fernández, C; Díaz, M; Díaz, J. 2013. Las zonas de cizalla dúctil como recurso didáctico para entender la deformación de las rocas. El ejemplo de la zona de cizalla Sudibérica (Macizo Ibérico suroccidental). Madrid, España, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 16-26. 20p.
- Fleuty, M. 1964. The Description of Folds. London, Inglaterra, Proc. Geolog. Assoc. 470p.
- Forero-Ortega A; Velandia, F; Barragán-Coy, E. 2020. Estilos estructurales y tensores de esfuerzos hacia el suroriente del Macizo de Santander (Colombia). Santander, Colombia, Boletín de Geología.
- Fossen, H. 2010. Stuctural geology. Cambridge, Inglaterra, Cambridge University Press. 232, 233.
- Fossen, H. 2016. Structural Geology. Cambridge, Inglaterra, Cambridge University Press. 18,19.
- Frías-Saba, R; Sánchez, N; Turienzo, M; Lebinson, F. 2021. Análisis geométrico y cinemático del anticlinal Chos Malal, provincia del Neuquén. Bahía Blanca, Argentina, Revista de la Asociación Geológica Argentina 78, 594-612.
- Garcia , H; Jiménez, G. 2015. Análisis estructural del Anticlinal de Zipaquirá. Bucaramanga, Colombia, Boletin de ciencia de la tierra.
- Garcia, M. 2012. Geología estructural. Esfuerzos y deformaciones de las rocas. Madrid, España, ResearchGate.7p
- González, L. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid, España, Pearson Educación. 142, 178.
- Google Maps . (2023). Ruta de Google Maps de Plaza de armas, Cajamarca, a Huambocancacha Baja, Cajamarca.Consultado 24 feb. 2023. Disponible en <https://www.google.com/maps/dir/Plaza+de+Armas+de+Cajamarca,+RFVJ%2B5X>

- W,+Del+Bat%C3%A1n,+Cajamarca+06001/-7.1123989,-78.5319733/@-7.1348654,78.5325693,14z/data=!4m15!4m14!1m10!1m1!1s0x91b25af91f263ceb:0xd69ad6c71bdf9075!2m2!1d-78.517553!2d-7.157005!3m4!1
- Gumiel, P; Monteserín, V; Ferrero, A; Bellido, F; Baltuille, J; Vivar, V. 2006. Aplicación del análisis geométrico de fracturas a la determinación de bloques en las canteras de granito de o Porriño, Pontevedra (no España). Madrid, España, Revista de la Sociedad Geológica de España. 8p.
- Hatcher, R; Bailey, C. 2020. Structural Geology Principles, Concepts, and Problems. New York, EEUU, Oxford University Press. 115, 359p
- Hoyos, F. 2012. Geotecnia diccionario básico. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 115p
- Lagos, A. 2012. Caracterización litológica y estructural de la secuencia cretácea en la zona de Urubamba. Cajamarca- Perú. Lima.
- Lagos, A; Quispe, Z; Rodas, J. 2009. Modelamiento Estructural De Las Areas De Cajamarca, San Marcos Y Bolivar. Lima: PERUMIN.
- Lagos, A; Quispe, Z; Jacay, J; Rodriguez, R. 2012. Análisis poblacional de fallas. zona dilatante Chetilla-Chamis y Colpayoc. Cajamarca - Perú. Cajamarca: INGEMMET.
- Lillo, J; Oyarzun, R. 2013. Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera. Madrid, España, Ediciones GEMM - Aula2pontonet. 19, 27,28p
- Lin, A; Yamashita, K. 2013. Spatial variations in damage zone width along strike-slip faults: An example from active faults in southwest Japan. Kyoto, Japan, Journal of Structural Geology, 1-15. 2p.
- Lisle, R; Leyshon, P. 2004. Stereographic Projection Techniques for Geologists and Civil Engineers. Cambridge: Cambridge. 50,58,59p.
- Longo, A. 2005. Evolution of Volcanism and Hydrothermal Activity in the Yanacocha Mining District, Northern Perú . Oregon.
- Martínez, J. 2003. Geología Estructural Y Dinámica Global. Salamanca, España, Universidad de Salamanca. 2p.
- Mc Laughlin, D. 1925. Notas sobre la geología y fisiografía de los Andes Peruanos en los departamentos de Lima y Junín (Trad. G.D. Zevallos). Inf. Mem. Soc. Ing. Peru,.
- McClay, K. 1987. The Mapping of Geological Structures. Londres, Inglaterra, Geological Society of London Handbook. 84p.

- Muñoz, A; De Vicente, G. 2006. Análisis del estado de esfuerzos activos en la corteza. Madrid, España, E-prints complutense. 17p.
- Nabavi, S; Fossen, H. 2021. Fold geometry and folding – a review. Bergen, Noruega, Earth-Science Reviews. 1-18. 2, 10, 13, 28p.
- Narravo, P. 2007. Mapa del cuadrangulo de cajamarca (15-f) hoja 15-f-I. Lima: INGEMMET.
- Navarro, P. 2012. Nuevas dataciones en el segmento sur de Cajamarca. Lima: INGEMMET.
- Nelson, E. 2011. Application of Structural Geology in Mineral Exploration and Production. Lima, Perú, Colorado School of Mines. 16,17p.
- Niemeyer, H. 1999. Apuntes De Geología Estructural. Antofagasta, Chile. 129p
- Padilla, R. 2021. Geología Estructural Métodos Modernos. Ciudad de Mexico, Mexico: UNAM. 93p.
- Pardo-Casas, F.; Molnar, P. 1987. Relative motion of the Nazca (farallon) and South American plates since late Cretaceous time . Cambridge: TECTONICS.
- Pisconte, M. 2014. Facies sedimentarias de la Formación Inca en relación al eustatismo Albiano en la cuenca de Cajamarca. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Geólogo. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Requelme, J. 2021. Caracterización estructural del sinclinal de Llullapuquio y su relación en la intrusión del Pórfido Colpayoc, Cajamarca. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Geólogo. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Reyes, L. 1980. Geologia de los cuadrangulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. Lima: INGEMMET.
- Rodríguez, R. 2016. Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo-Corisorgona Cajamarca – Perú. Tesis para optar el grado academico de magister en geología – mención geotecnia. Lima, Peru, Universidad Nacional Mayor De San Marcos. 72p.
- Ruiz, S. 2017. Análisis geométrico y cinemático de pliegues relacionados a fallas que representan análogos de trampas de hidrocarburos en el golfo de México. Tesis para obtener el grado de maestría en ciencias geológicas. Nuevo León, Mexico, Universidad Autónoma De Nuevo León. 21, 25p.

- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2023. Consultado 23 feb. 2023. Disponible en <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=06&localidad=0011>
- Sousa, L. 2016. Caracterización litológica y estructural de los Volcánicos Huambos en las localidades de Lluscapampa y Los Alisos-Cajamarca. Cajamarca. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Geólogo. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Stappenbeck, R. 1929. Geologie des Chicamatales in Nordperú und seiner Anthrazitlagerstätten. Geol.Paleont.
- Supo, J. 2014. Seminario de Investigacion Cientifica. Arequipa, Perú: Bioestadístico EIRL.
- Tafur, I. 1950. Nota Preliminar de la Geología de Cajamarca. Lima: Tesis Doctoral. Universidad Mayor de San Marcos. .
- Tremlett, W. 1976. The definition of isoclinal folds. Amsterdam, Países bajos, Tectonophysics 32. 1,2p.
- Twiss, R; Moores, E. 2007. Structural Geology. New York. EEUU, W. H. Freeman. 57, 58p.
- Van der Pluijm, B; Marshak, S. 2004. Earth Structure Introduction to Structural Geology and Tectonics. New York, EEUU, Norton & Company. 122, 169, 170p.
- Van Gent, H; Back, S; Urai, J; Kukla, P; Reicherter, K. 2008. Paleostresses of the Groningen area, the Netherlands—Results of a seismic based structural reconstruction. Aachen, Germany, Tectonophysics. 1p.
- Woodcock, N; Mort, K. 2008. Classification of fault breccias and related fault rocks. Cambridge, Inglaterra, Geol. Mag. 435–440. 435, 437, 438p
- Woodcock, N; Omma, J; Dickson, J. 2006. Chaotic breccia along the Dent Fault, NW England: implosion or collapse of a fault void?. Cambridge, Inglaterra, Journal of the Geological Society, 431–446.

ANEXOS

Anexo N°1. Datos estructurales

Anexo N°2. Planos

- ✓ Plano de ubicación (P-1)
- ✓ Plano modelo digital de elevaciones- topográfico (P-2)
- ✓ Plano de geomorfológico (P-3)
- ✓ Mapa geológico (P-4)
- ✓ Mapa estructural (P-5)

Anexos N°3. Secciones geológicas

- ✓ Sección geológico A-A' (P-A)
- ✓ Sección geológico B-B' (P-B)
- ✓ Sección geológico C-C' (P-C)

Anexo N°4. Modelo de evolución tectónica (L-01)

Anexo N°1. Datos estructurales

DATOS DE LAS ESTRUCTURAS																	
PUNTOS DE CONTROL	COORDENADAS		COTA	UNIDAD GEOLOGICA	ESTRATO		FRACTURAS						FALLAS				Estación
	UTM WGS84						D1		D2		D3		PLANO		RAKE	Cx	
	NORTE	ESTE			Az	Bz	Az	Bz	Az	Bz	Az	Bz	Az	Bz			
1	9213809	773843	2867	Ki-fa/Ki-sa									304	82	95	Ix	F-01
2	9213785	773875	2873	Ki-fa									304	82	42	DxIx	F-02
3	9213754	773927	2885	Ki-fa									304	82	102	NX	F-03
4	9213700	773535	2821	Ki-fa	314	75	306	72									
5	9213729	773552	2820	Ki-fa	324	51							220	64	5	Dx	F-04
6	9213760	773565	2816	Ki-fa	315	75	136	79									
6	9213795	773595	2826	Ki-fa			312	63									
7	9213751	773722	2886	Ki-fa	303	72	80	85									
8	9213785	773759	2875	Ki-fa			302	85									
							290	85									
9	9213779	773736	2874	Ki-fa			70	50									
10	9213816	773749	2861	Ki-fa	306	64	224	40									
11	9213762	773910	2856	Ki-ca	311	54	25	84									
12	9213738	774042	2877	Ki-in			298	86									
13	9211465	773512	2759	Ki-ca	132	19	319	65									
14	9213605	773512	2844	Ki-fa	94	42							243	74	93	Nx	F-05
15	9213646	773538	2814	Ki-fa			314	74									
16	9213379	773293	2822	Ki-fa	312	42	315	60									
17	9213489	773350	2818	Ki-fa	312	67							303	43	72	Nx	F-06
18	9213496	773359	2818	Ki-fa			64	48									
19	9213526	773448	2828	Ki-fa	305	85	340	61									
							132	83									
20	9213546	773465	2830	Ki-fa	94	42							105	43	104	Nx	F-07
21	9212164	772451	3008	Subvolcanico			350	85									
22	9213252	772842	2792	Nm-tp			25	37	270	79	107	87	340	86			
							40	35	269	87							
									295	63							
23	9213127	773192	2791	Nm-tp			40	65	318	65	92	64	227	68			
							46	61	329	69	112	62	214	68			
24	9213133	773212	2793	Nm-tp			350	58									
25	9213281	773260	2824	Ki-ca	335	79	72	68									
26	9212481	773598	2801	Ki-ca	348	29	155	87	220	71	117	67					
							156	70	219	74	105	73					
27	9212601	773685	2829	Ki-ca	320	52	66	76	120	59	209	51					
							72	76	135	58	205	59					
28	9212603	773684	2829	Dique	329	33											
29	9212658	773726	2858	Ki-fa	355	33	104	87	32	72							

30	9212684	773736	2885	Ki-fa	345	35							205	77	2	Sx	F-08
													207	85	3	Sx	
													206	86	3	Sx	
													199	75	2	Sx	
31	9212680	773755	2886	Ki-fa	354	36	228	70	136	67							
							219	70	108	77							
32	9212555	773828	2890	Ki-fa			93	81									
							99	67									
33	9212255	774551	2894	Ki-fa									190	60	157	SxIx	F-09
34	9214051	773404	2824	Ki-fa	296	68											
35	9214067	773418	2820	Ki-fa	290	72	198	67	22	36	396	57					
							195	71									
							197	62									
36	9214020	773460	2819	Ki-fa	249	75	50	64	5	47	300	65					
37	9212088	774355	2878	Nm-Vh									137	86	92	Nx	F-10
38	9211798	774331	2832	Nm-Vh			275	87									
							290	88									
							295	87									
39	9211577	773899	2768	Nm-Vh									315	87	88	Nx	F-11
40	9211539	773894	2766	Nm-Vh			136	87	212	89	187	86					
							102	89	237	75	192	85					
							139	78									
41	9213923	773561	2818	Ki-fa	299	84	200	60	15	55							
42	9213959	773588	2808	Ki-fa	125	87	243	35	23	49							
43	9213361	773667	2998	Ki-fa	15	58											
44	9213191	772114	2859	Ki-ca	315	40	184	84									
45	9212910	772216	2910	Ki-fa	50	34											
46	9212755	772208	2921	Ki-fa			332	64									
47	9212888	771932	2977	Ki-ca	40	15											
48	9212880	771885	2977	Ki-fa			305	81									
49	9214071	773405	2844	Ki-fa			229	81	13	21							
50	9213868	773734	2841	Ki-fa			330	74									
51	9213821	773800	2862	Ki-fa			211	65									
							212	72									
							202	72									
52	9213809	773843	2867	Ki-ca	312	74	195	43	122	79	243	87					
							205	87									
							205	87									
53	9212730	774217	3074	Ki-fa	332	42	194	40	99	50							
					330	40											
54	9212694	774225	3075	Ki-fa	332	40	269	74	130	55	72	73					

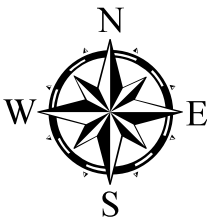
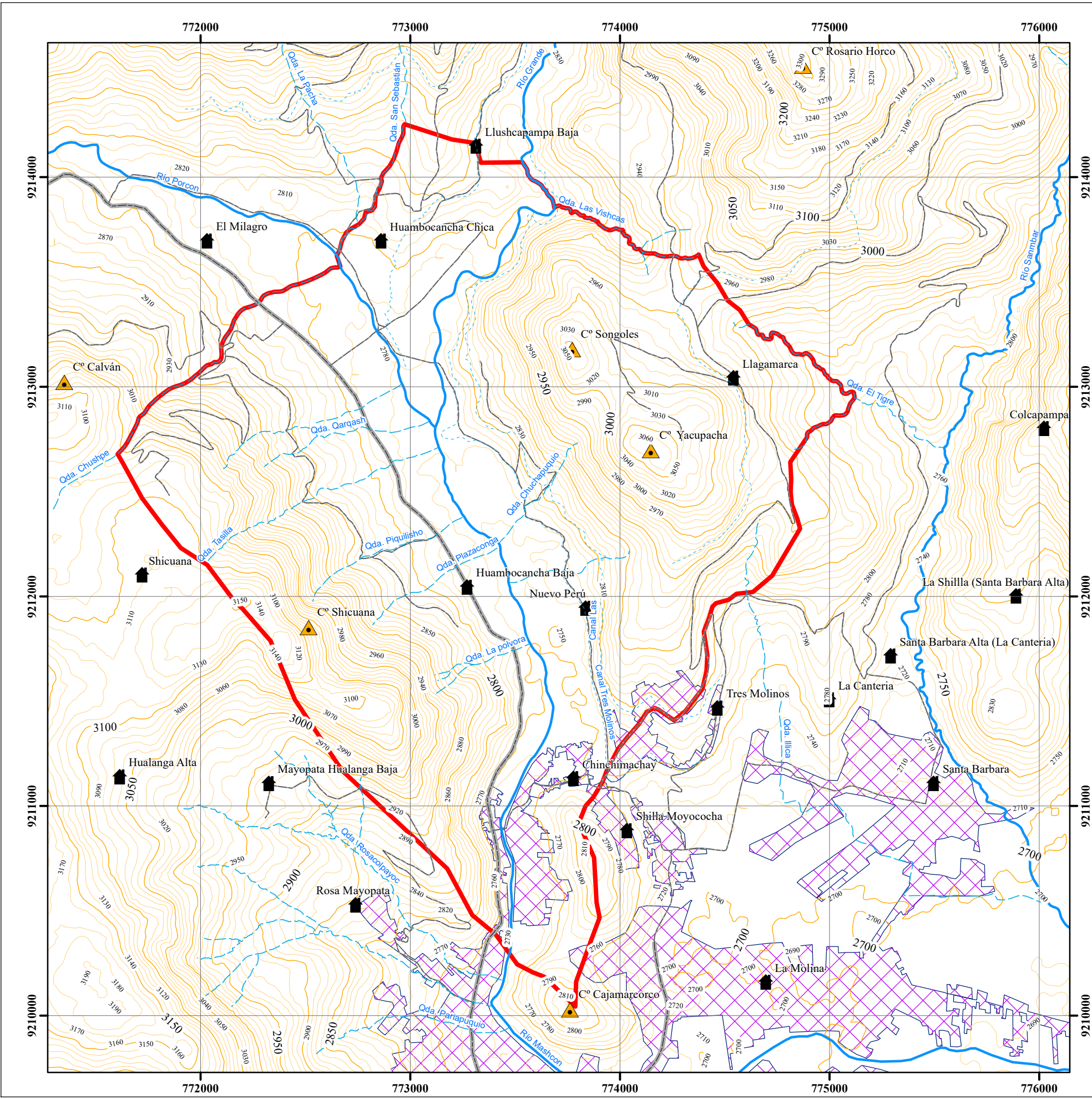
							265	74	107	56	210	75					
							253	77	112	75							
55	9212618	774094	3074	Ki-fa	333	35	170	64	126	56							
							174	60									
56	9212653	774064	3064	Ki-fa			240	76	190	40							
57	9212662	774025	3063	Ki-fa	335	14											
58	9212650	774030	3051	Ki-fa	337		103	41									
59	9211838	775143	2765	Ki-ca	345	56							344	64	5	Dx	F-12
60	9211824	775136	2768	Ki-ca	325	64	231	44									
61	9212264	775348	2770	Ki-fa	343	38											
62	9212274	775353	2771	Ki-fa	325	73											
63	9212436	775442	2777	Ki-fa	123	56											
64	9212484	775448	2786	Ki-fa	334	60											
65	9212485	775447	2786	Ki-fa	110	33	291	86									
66	9213048	774433	2966	Ki-in	315	64											
67	9213044	774440	2969	Ki-in/Ki-chu	315	64	60	79									
68	9212896	774619	2939	Ki-chu	310	56											
69	9212266	774555	2883	Ki-fa	322	39											
70	9212203	774501	2888	Ki-fa	338	44											
71	9211439	775606	2769	Ki-ca	338	30							195	54	155	Sx	F-13
72	9212814	773362	2806	Ki-fa									191	57	152	DxNx	F-14
73	9212801	773374	2808	Ki-fa	325	30	128	84	191	57	160	85					
74	9213130	772117	2867	Ki-fa	312	51							214	75	138	SxIx	F-15
													216	87	139	SxIx	
75	9213001	772153	2902	Ki-fa	50	15											
76	9212436	772413	2856	Subvolcanico			133	42	274	76	340	71					
							145	40	269	78							
									280	74							
77	9212662	772454	2668	Ki-ca	96	20							257	47	110	Nx	F-16
78	9212624	772533	3872	Ki-ca			269	38									
79	9212617	772535	2868	Subvolcanico			272	85	138	48							
80	9212466	772493	2872	Ki-fa			340	81	300	26	10	77					
							345	79	302	22							
90	9212436	772618	2873	Ki-fa			144	75	51	68							
							148	85	55	65							
91	9211370	773151	2946	Ki-fa	98	39							295	68	155	DxNx	F-17
92	9211478	773257	2893	Ki-fa	130	43							171	62	38	DxIx	F-18
93	9211230	773214	2919	Ki-fa	128	41											
94	9211281	773241	2881	Ki-fa	128	65	270	44	35	74							
95	9211113	773350	2782	Ki-fa	135	62							60	39	115	NxDx	F-19

96	9211115	773364	2768	Ki-fa									1	60	168	Dx	F-20
97	9212813	772515	2815	Ki-ca	325	30	191	57									
98	9212049	772845	2859	Subvolcanico			276	65	142	58							
							270	54									
99	9211803	772780	2924	Subvolcanico									276	65	145	Dx	F-21
													270	54	140	Dx	
100	9211772	772882	2951	Ki-ca			170	82	35	75	300	80					
											290	35					
101	9211807	772776	2929	Subvolcanico									242	87	132	SxNx	F-22
102	9211830	772785	2900				337	44									
103	9212631	772515	2873	Ki-ca	268	55											
					289	62											
104	9211847	772731	2952	Subvolcanico			119	34	190	76	60	74	320	40	68	Nx	F-23
									205	72	20	81					
									189	69							
									215	76							
105	9212598	772393	2883	Ki-ca			262	44	330	55							
106	9212596	772403	2925	Ki-ca			195	41	166	65							
							195	41									
107	9212529	772404	2934	Ki-ca	146	50											
108	9212415	772345	2964	Ki-fa									358	81	67	NxSx	F-24
109	9212350	772312	2961	Ki-fa									69	86	9	Sx	F-25
110	9212343	772291	2966	Ki-fa			69	86									
111	9212348	772285	2966	Ki-fa									350	71	119	Nx	F-26
112	9212349	772303	2964	Ki-fa/Ki-ca									326	38	136	Nx	F-27
113	9212316	772218	3022	Ki-ca			100	62									
114	9212628	772522	2885	Ki-ca	266	47	120	79									
							120	56									
115	9212565	772449	2905	Ki-ca	210	10	346	68									
116	9212592	772404	2916	Subvolcanico			350	79									
				Subvolcanico			72	80									
117	9212554	772411	29299	Ki-ca/Ki-fa			309	84									
118	9212380	772571	2927	Ki-ca	182	20	26	32									
119	9212378	772473	2926	Ki-fa	194	24							272	56	106	Nx	F-28
													273	54	106	Nx	
													282	74	84	Nx	
120	9212344	772155	3051	Ki-ca									125	80	77	Ix	F-29
121	9212372	772140	3056	KI-ca									125	80	170	Dx	F-30

Abreviaturas: Az: Azimut, Bz: Buzamiento, D: Diaclasa, Cx: Cinematica, Nx: Normal, Ix: Inversa, Dx: Dextral, Sx: Sinistral

Datos utilizados para la interpretación cinemática de fallas.

Anexo N°2. Planos



Legenda

Caserios

Cerros

Hidrologia

Canal de regadio

Quebrada

Río

Carreteras

Afirmado

Asfaltado

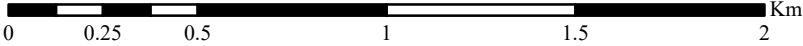
Curvas mayores

Curvas menores

Casco urbano

Centro poblado de Huambocancha Baja

Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM
Datum Horizontal: WGS 1984
Zona u Huso Horario: 17sur



Tesis:
Análisis estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja, Cajamarca.

Plano: Modelo Digitales de Elevación [MDE] - Topográfico

Tesisista: Bach. Héctor Eduardo Chilón Calua

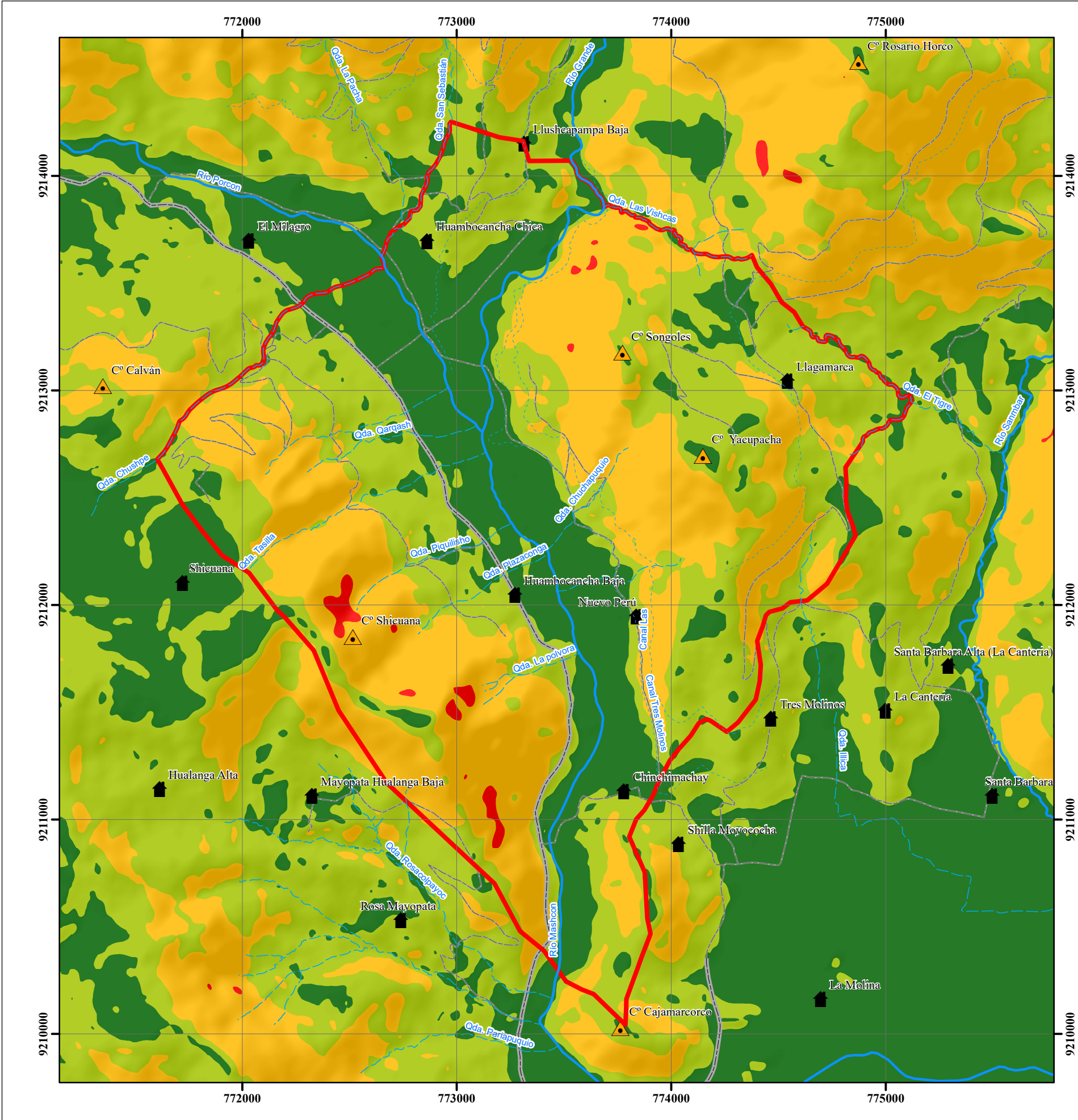
Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

Escala: 1:20,000

Fecha: Diciembre 2024

Plano N°

P-2



Leyenda

Caserios

Cerros

Hidrologia

Canal de regadio

Quebrada

Río

Carreteras

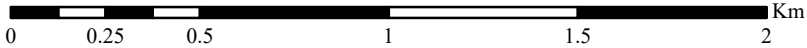
Afirmado

Asfaltado

Centro poblado de Huambocancha Baja

Unidad Morfogenética	Simbología	Rango pendiente	Áreas (km)	Porcentaje (%)
Planicies		0° - 8°	1.90	25.98
Lomadas		8° - 20°	2.64	36.03
Laderas		20° - 50°	2.72	37.12
Escarpes		> 50°	0.06	0.87
Total			7.32	100

Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM
Datum Horizontal: WGS 1984
Zona u Huso Horario: 17sur



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Academico Profesional De Ingeniería Geológica

Tesis:

Plan:

Tesista:

Asesor:

Escala:

Análisis estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja, Cajamarca.

Geomorfológico

Bach. Héctor Eduardo Chilón Calua

Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

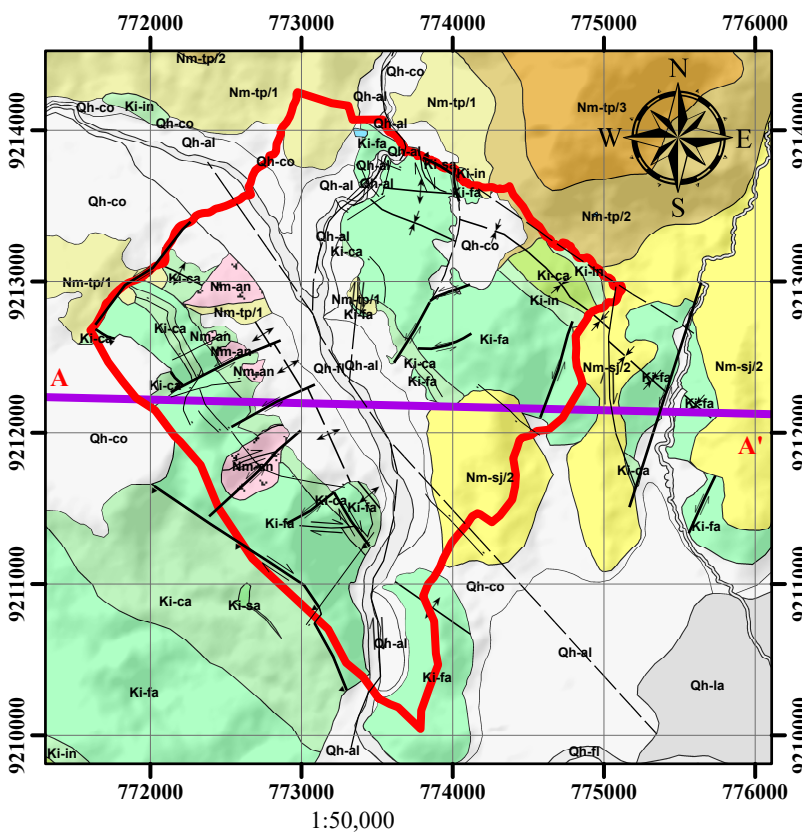
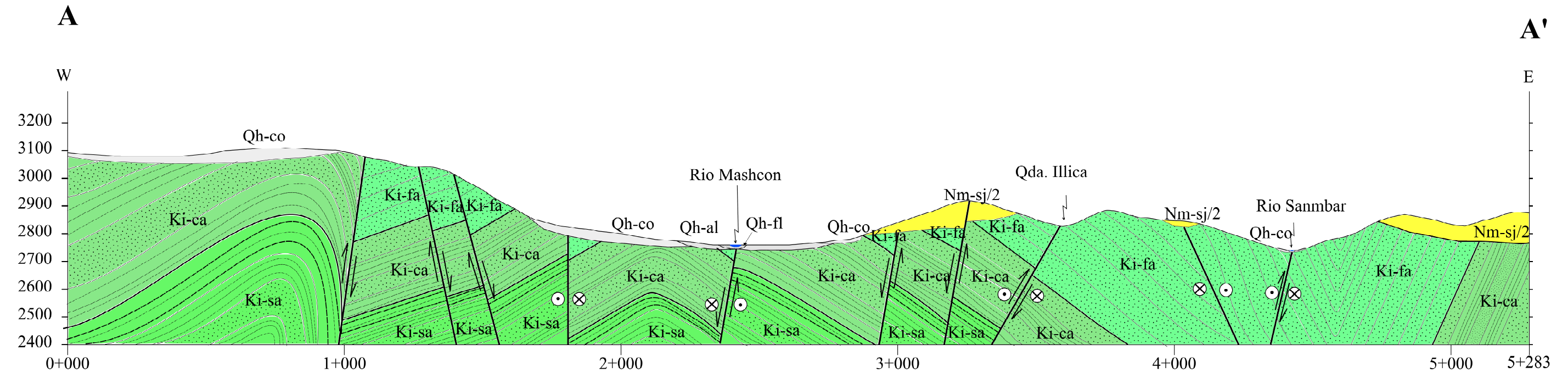
1:20,000

Plano N°

P-3

Fecha: Diciembre 2024

Anexos N°3. Secciones geológicas



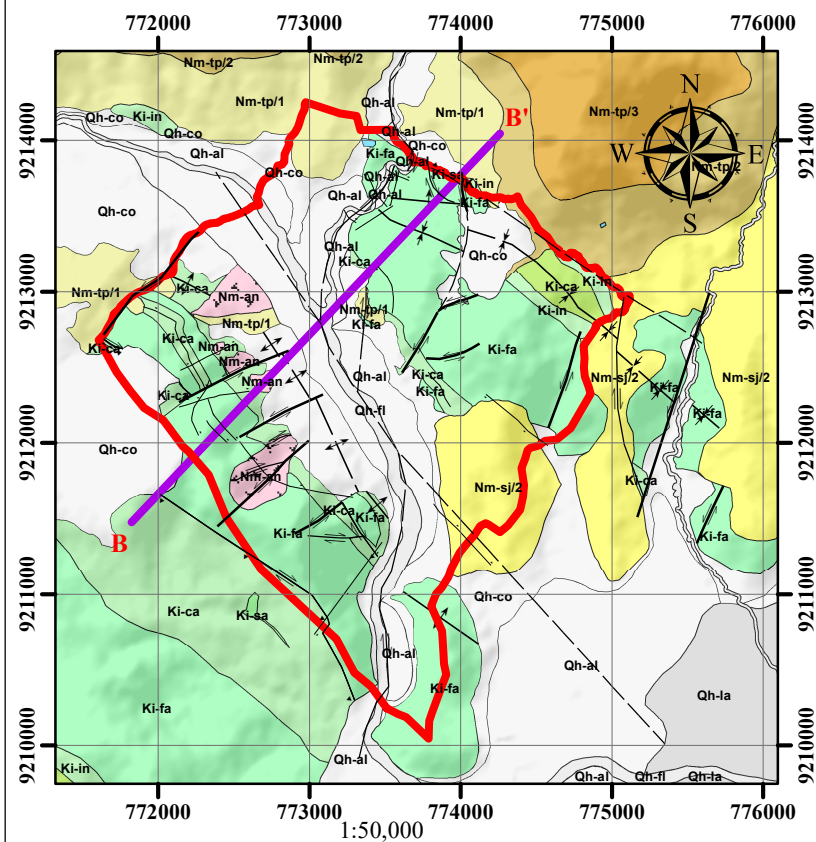
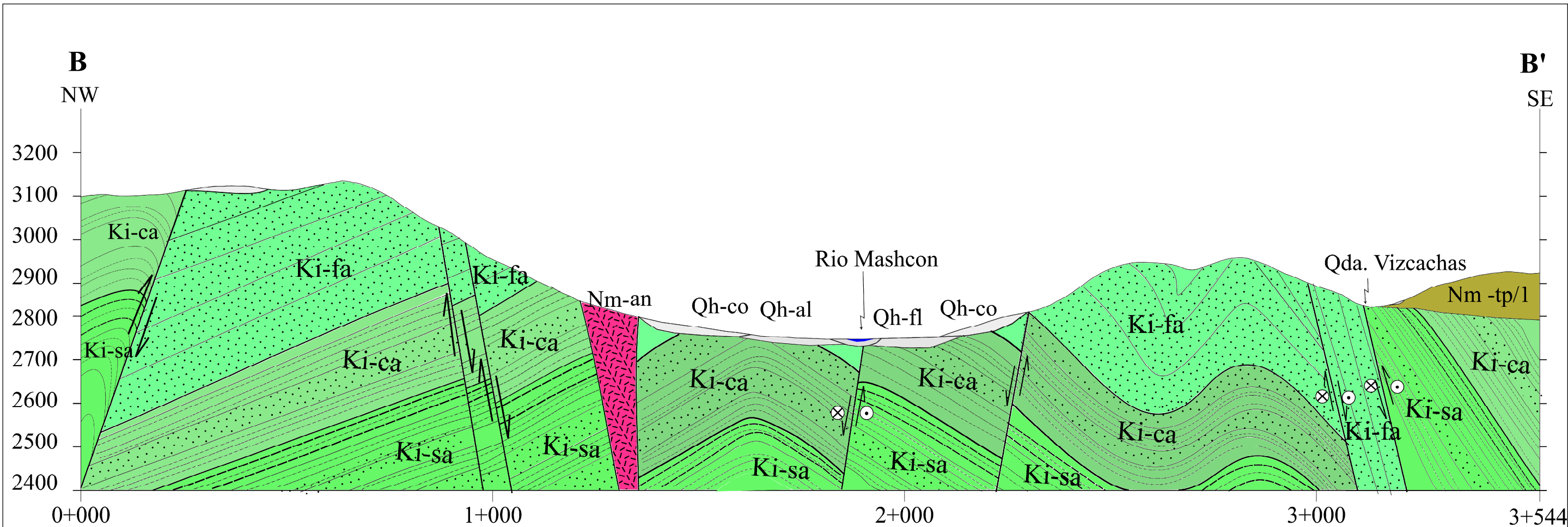
ERA	SISTEMA	SERIE	SIMBOLOGÍA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Qh-fl	DEPÓSITOS FLUVIALES	Gravas, arenas y limos en los cauces de ríos.
			Qh-al	DEPÓSITOS ALUVIALES	Acumulaciones de arenas y limos depositados en terrazas recientes.
			Qh-co	DEPÓSITO COLUVIAL	Bloques angulosos de roca areniscas, con diámetro promedio: 0.05 m. a 0.40 m.
	NEOGENO	MIOCENO	Nm-sj	SUBVOLCANICO ANDESITICO	Cuerpos igneo subvolcanico de composición andesítica
			Nm-sj/2	VOLCANICO HUAMBOS (SECUENCIA VOLCÁNICA SAN JOSÉ)	Flujos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinas, ricos en cristales, de composición riolítica.
			Nm-tp/3	NEÓGENO MIOCENO	Bloques y ceniza de color gris blanquecinos y verdosos, fragmentos líticos andesíticos – dacíticos polimícticos
			Nm-tp/2	SECUENCIA VOLCÁNICA TUAL-PURUAY	Flujos piroclásticos de pómez y cenizas de tonalidades gris blanquecinas, ristas de composición riolítica, fragmentos líticos
MESOZOICO	CRETÁCICO	INFERIOR	Nm-tp/1	SECUENCIA VOLCÁNICA TUAL-PURUAY	Flujos de lava de composición porfirítica, flujos de bloques y cenizas de color gris blanquecinos porfiríticos
			Ki-chu	FORMACIÓN CHULEC	Alternancia de calizas nodulares grises a pardas y lutitas calcáreas gris oscura.
			Ki-in	FORMACIÓN INCA	Intercalaciones de limoarcillitas rojo amarillenta a pardas con areniscas de grano fino.
			Ki-fa	FORMACIÓN FARRAT	Areniscas cuarzosas gris blanquecinas de grano medio a grueso intercaladas con limoarcillitas pardo amarillentas
			Ki-ca	FORMACIÓN CARHUAZ	Alternancia de areniscas gris rojizas con lutitas grises violáceas.
			Ki-sa	FORMACIÓN SANTA	Intercalaciones de lutitas con areniscas grises.

Leyenda		
Hidrología	Fallas	Pliegue
Canal de regadío	Dextral	Anticlinal
Quebrada	Sinistral	Anticlinal inferido
Río	Inversa	Sinclinal
Afirmado	Normal	Sinclinal inferido
Asfaltado	Inferido	
Centro poblado	Dextral	
	Sinistral	

Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM
Datum Horizontal: WGS 1984
Zona u Huso Horario: 17sur

0 0.5 1 2 3 4 Km

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA		
Escuela Profesional De Ingeniería Geológica		
	Tesis:	Análisis estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja, Cajamarca.
	Plano:	Sección A-A'
	Tesista:	Bach. Héctor Eduardo Chilón Calua
	Asesor:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani
	Escala:	1:15,000
	Fecha:	Diciembre 2024
	Perfil N°	P-A



ERA	SISTEMA	SERIE	SIMBOLOGÍA		DESCRIPCIÓN		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS				
				DEPÓSITOS FLUVIALES	Gravas, arenas y limos en los cauces de ríos.		
				DEPÓSITOS ALUVIALES	Acumulaciones de arenas y limos depositados en terrazas recientes.		
				DEPÓSITO COLUVIAL	Bloques angulosos de roca areniscas, con diámetro promedio: 0.05 m. a 0.40 m.		
	NEOGENO	MIOCENA		SUBVOLCANICO ANDESITICO	Cuerpos igneo subvolcanico de composición andesítica		
				VOLCANICO HUAMBOS (SECUENCIA VOLCÁNICA SAN JOSÉ)		Flujos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinas, ricos en cristales, de composición riolítica.	
				NEÓGENO MIOCENO SECUENCIA VOLCÁNICA TUAL - PURUAY	Nm-tp/3	Bloques y ceniza de color gris blanquecinos y verdosos, fragmentos líticos andesíticos – dacíticos polimícticos	
					Nm-tp/2	Flujos piroclásticos de pómez y cenizas de tonalidades gris blanquecinas, ristales de composición riolítica, fragmentos líticos	
					Nm-tp/1	Flujos de lava de composición porfíritica, flujos de bloques y cenizas de color gris blanquecinos porfíriticos	
MESOZOICO	CRETÁCICO	INFERIOR		FORMACIÓN CHULEC		Alternancia de calizas nodulares grises a pardas y lutitas calcáreas gris oscura.	
				FORMACIÓN INCA		Intercalaciones de limoarcillitas rojo amarillenta a pardas con areniscas de grano fino.	
				GRUPO GOYLLARISQUIZGA	FORMACIÓN FARRAT		Areniscas cuarzosas gris blanquecinas de grano medio a grueso intercaladas con limoarcillitas pardo amarillentas
					FORMACIÓN CARHUAZ		Alternancia de areniscas gris rojizas con lutitas grises violáceas.
					FORMACIÓN SANTA		Intercalaciones de lutitas con areniscas grises.

Leyenda

Hidrología

- Canal de regadío
- Quebrada
- Río

Carreteras

- Afirmado
- Asfaltado
- Centro poblado

Fallas

- Dextral
- Sinistral
- Inversa
- Normal
- Inferido

Pliegue

- Anticlinal
- Anticlinal inferido
- Sinclinal
- Sinclinal inferido

Sistema de Coordenadas

Proyectadas UTM

Datum Horizontal: WGS 1984

Zona u Huso Horario: 17sur

0 0.5 1 2 3 4 Km

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional De Ingeniería Geológica

Tesis: **Análisis estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja, Cajamarca.**

Plano: Sección B-B'

Tesista: Bach. Héctor Eduardo Chilón Calua

Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

Escala: 1:10,000

Fecha: Diciembre 2024

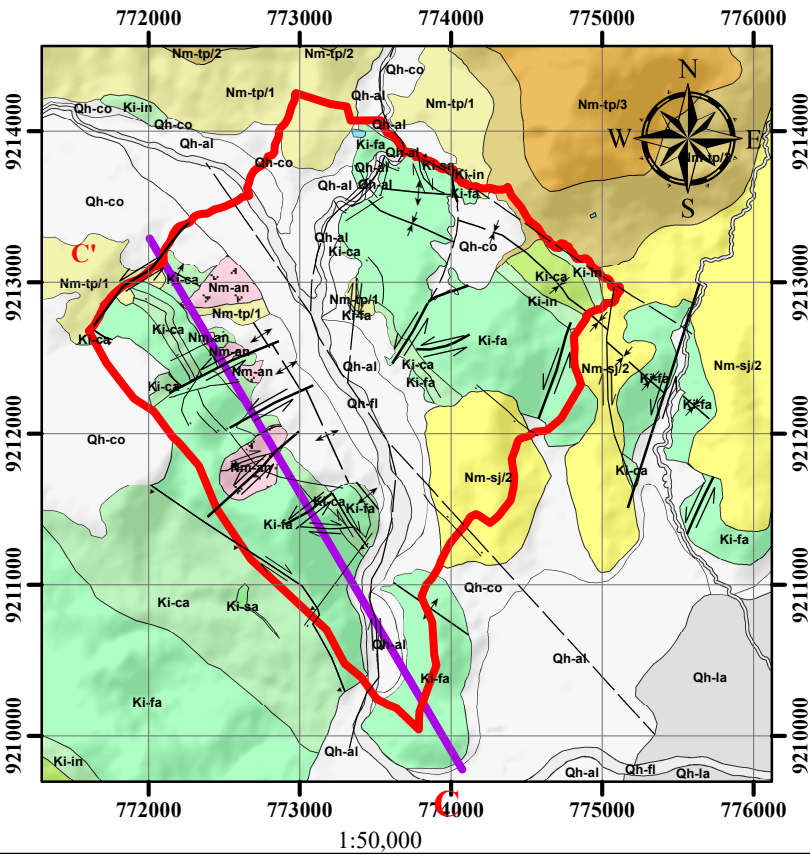
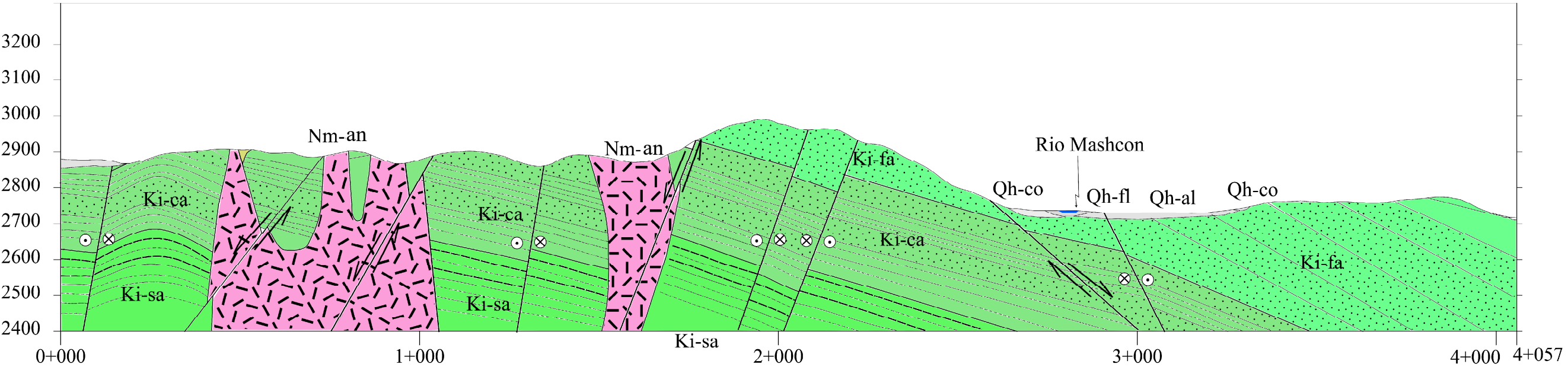
Perfil N° **P-B**

C

NE

C'

SW



ERA	SISTEMA	SERIE	SIMBOLOGÍA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO		DEPÓSITOS FLUVIALES	Gravas, arenas y limos en los cauces de ríos.
				DEPÓSITOS ALUVIALES	Acumulaciones de arenas y limos depositados en terrazas recientes.
				DEPÓSITO COLUVIAL	Bloques angulosos de roca areniscas, con diámetro promedio: 0.05 m. a 0.40 m.
	NEOGENO	MIOCENO		SUBVOLCANICO ANDESITICO	Cuerpos igneo subvolcanico de composición andesítica
				VOLCANICO HUAMBOS (SECUENCIA VOLCÁNICA SAN JOSÉ)	Flujos piroclásticos de pómez y cenizas, gris blanquecinas, ricos en cristales, de composición riolítica.
				NEÓGENO MIOCENO SECUENCIA VOLCÁNICA TUAL - PURUAY	Bloques y ceniza de color gris blanquecinos y verdosos, fragmentos líticos andesíticos - dacíticos polimícticos
					Flujos piroclásticos de pómez y cenizas de tonalidades gris blanquecinas, ristasles de composición riolítica, fragmentos líticos
MESOZOICO	CRETÁCICO	INTERIOR		FORMACIÓN CHULEC	Flujos de lava de composición porfirítica, flujos de bloques y cenizas de color gris blanquecinos porfiríticos
				FORMACIÓN INCA	Alternancia de calizas nodulares grises a pardas y lutitas calcáreas gris oscura.
				FORMACIÓN FARRAT	Intercalaciones de limoarcillitas rojo amarillenta a pardas con areniscas de grano fino.
				FORMACIÓN CARHUAZ	Areniscas cuarzosas gris blanquecinas de grano medio a grueso intercaladas con limoarcillitas pardo amarillentas
				FORMACIÓN SANTA	Alternancia de areniscas gris rojizas con lutitas grises violáceas. Intercalaciones de lutitas con areniscas grises.

Leyenda

HidrologíaCanal de regadioQuebradaRío

CarreterasAfirmadoAsfaltadoCentro poblado

FallasDextralSinistralInversaNormalInferidoDextralSinistral

PliegueAnticlinalAnticlinal inferidoSinclinalSinclinal inferido

Sistema de Coordenadas Proyectadas UTM

Datum Horizontal: WGS 1984

Zona u Huso Horario: 17sur

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional De Ingeniería Geológica

Tesis:

Análisis estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja, Cajamarca.

Plano:

Sección C-C'

Tesista:

Bach. Héctor Eduardo Chilón Calua

Asesor:

Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani

Escala:

1:12,500

Fecha:

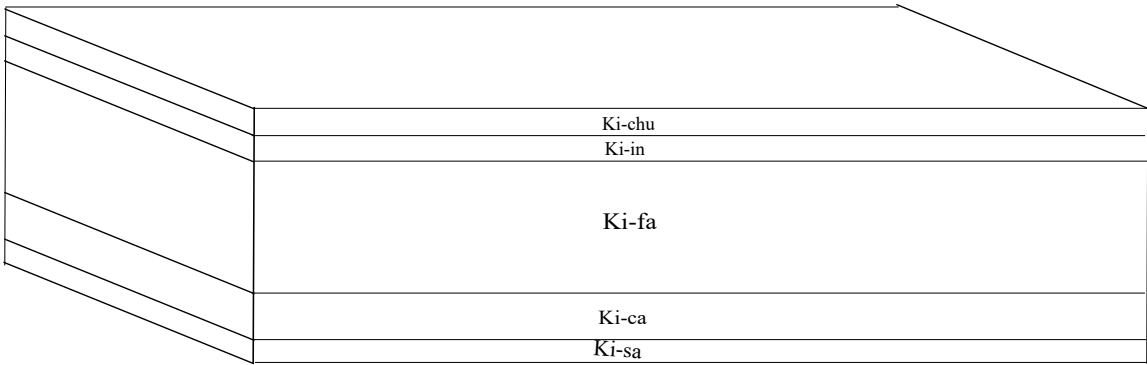
Diciembre 2024

Perfil Nº

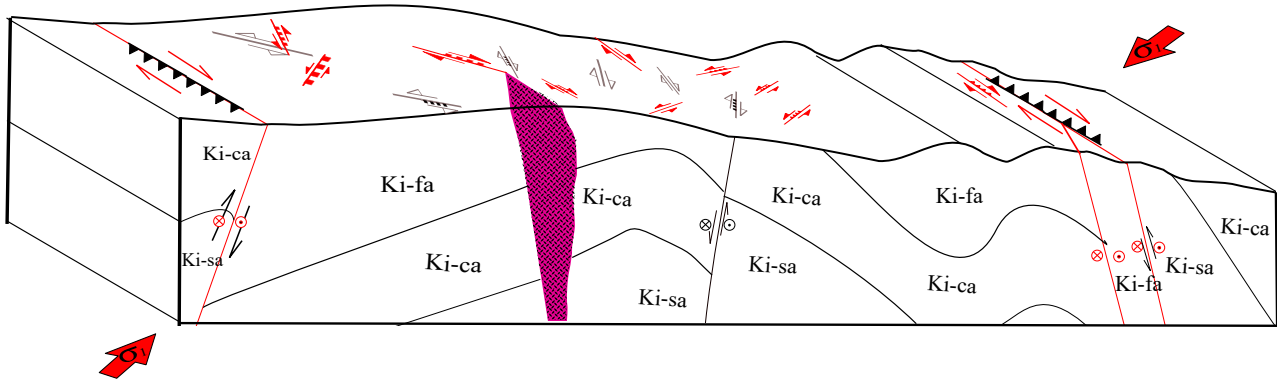
P-C

Anexo N°4. Modelo de evolución tectónica

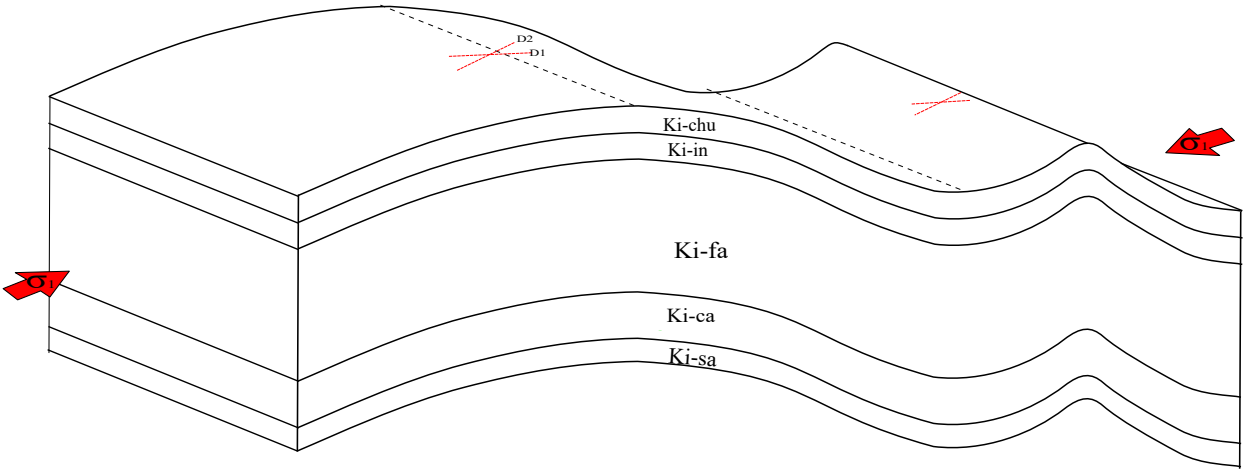
Deposición de las secuencias cretácicas



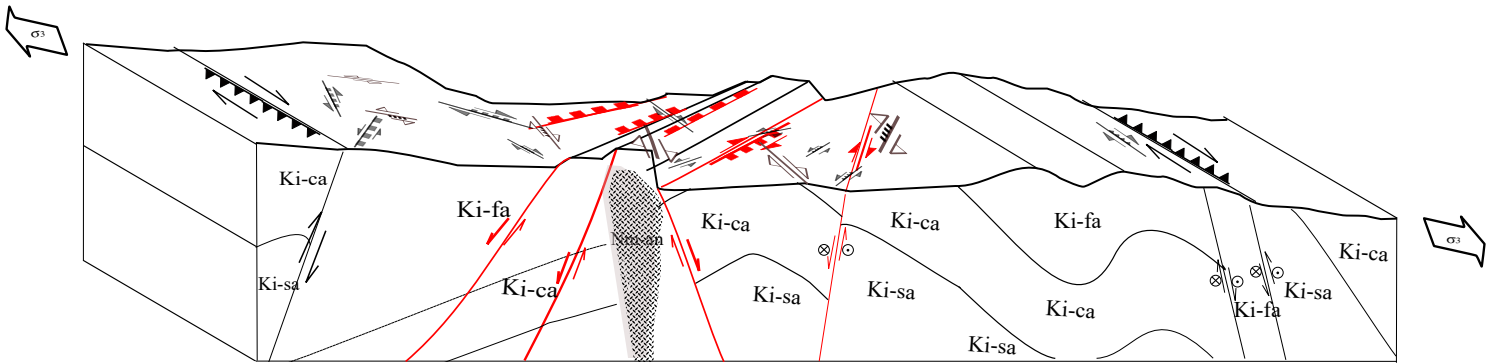
Tercer evento: Esfuerzo de transtensión NE-SW



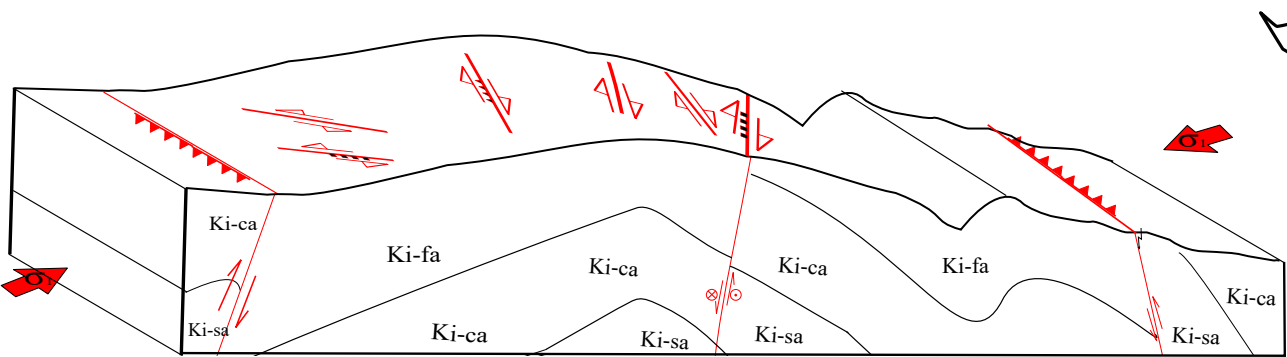
Primer evento: Esfuerzo de compresión NE-SW



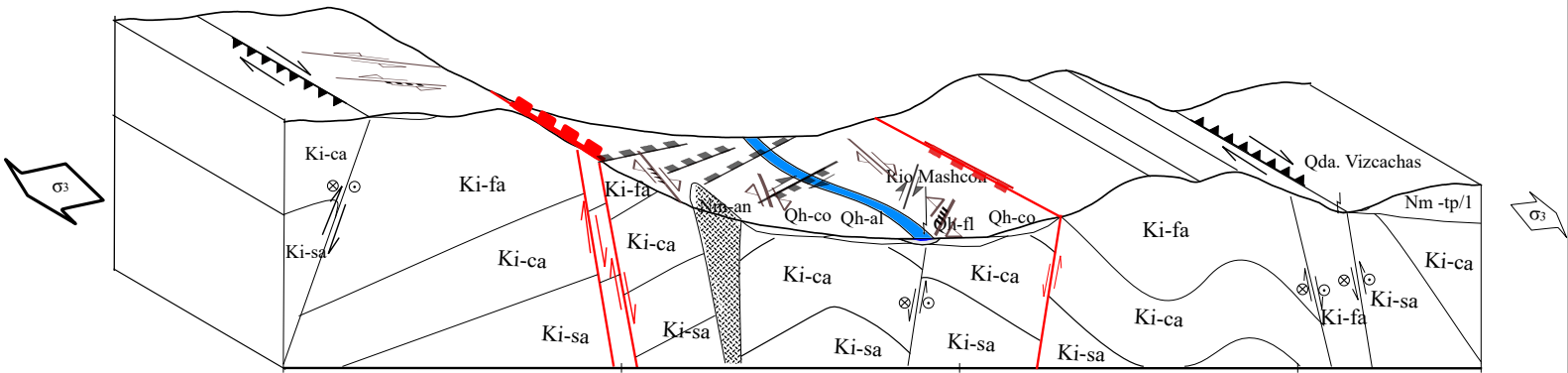
Cuarto evento: Esfuerzo de distensivo N-S



Segundo evento: Esfuerzo de compresión NE-SW



Quinto evento: Esfuerzo de distensivo NE-SW



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
Escuela Profesional De Ingeniería Geológica		
	Tesis:	Análisis estructural en el centro poblado de Huambocancha Baja, Cajamarca.
	Plano:	Evolución tectónica
	Tesista:	Bach. Héctor Eduardo Chilón Calua
	Asesor:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani
Fecha:		Diciembre 2024
		Lam. N°
		L-01