

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA,
CAJAMARCA**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Autor:

Bach. DE LA CRUZ CHUQUIMANGO FRANCARLOS JHOEL

Asesor:

Dr. QUISPE MAMANI CRISPÍN ZENÓN

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : Francarlos Jhoel de La Cruz Chuquimango
2. DNI : 71720031
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: ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA.

2. Fecha de evaluación : 04 de enero 2025

3. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

4. Porcentaje de Informe de Similitud : 5%

5. Código Documento : Oid: 3117:419334755

6. Resultado de la Evaluación de Similitud:

- APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión : 05 de enero 2025

 <hr/> <p>FIRMA DEL ASESOR Nombres y Apellidos: Crispín Zenón Quispe Mamani DNI : 29243825</p>	 <p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 05/01/2025 14:53:18-0500</p> <hr/> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>
---	---

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA"

ASESOR : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0071-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 23 de enero de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **cuatro días del mes de febrero de 2025**, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
- Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique
- Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA", presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica **FRANCARLOS JHOEL DE LA CRUZ CHUQUIMANGO**, asesorado por el Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA : 5 PTS.
 EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.
 EVALUACIÓN FINAL : 16 PTS DIECISEIS (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de DIECISEIS acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 11:00 am horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

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

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: *FRANCARLOS JHOEL DE LA CRUZ CHUQUIMANGO.*

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	3
2.2. Dominio del tema	3
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	3
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	2
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	11

Cajamarca, 04 de febrero de 2025

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

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

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: FRANCARLOS JHOEL DE LA CRUZ CHUQUIMANGO.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	5
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	11
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	16
EN LETRAS (A + B)	DIECISEIS
- Excelente 20 - 19	BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 04 de febrero de 2025

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

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

Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Asesor

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Leonardo De La Cruz Zambrano y Petronila Chuquimango Castrejón, por sus sabios consejos, apoyo, esfuerzo, dedicación y perseverancia, para poder salir adelante y superar los obstáculos; a mis hermanos, Franklin, Kevin y Camila, por su constante apoyo.

A mi esposa Sonia y a mi amado hijo Liam André, que son mi fuerza e inspiración para salir a delante.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera profesional, a mis padres y hermanos por su apoyo constante. A mi alma mater, Universidad Nacional De Cajamarca, y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, quienes compartieron sus conocimientos y ayudaron en mi formación profesional. Gracias por sus enseñanzas.

A mi asesor Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani, por su asesoramiento, orientación y sugerencias; y al jurado calificador por su contribución final en la culminación de esta tesis profesional.

Finalmente, un agradecimiento especial a mis amigos, por el apoyo y soporte brindado en los trabajos de campo.

ÍNDICE

	pág.
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XX
RESUMEN	XXI
ABSTRACT.....	XXII

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1.	ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1.	Cuencas Intramontañosas.....	5
2.2.2.	Estilo estructural	7
2.2.3.	Fallas	9
2.2.3.1.	Componentes de una falla.....	9
2.2.4.	Geometría y desplazamiento de las fallas.....	10
2.2.5.	Clasificación de una zona de falla	12
2.2.5.1.	Núcleo de falla	12
2.2.5.2.	Zona de Daño.....	13
2.2.6.	Evolucion de Fallas normales y rampas de relevo.....	16
2.2.7.	Cinemática de las estructuras tectónicas	18
2.2.7.1.	Indicadores cinemáticos.....	18
2.2.7.2.	Modelo dinámico de fallas de Anderson	21
2.2.8.	Compatibilidad de estructuras tectónicas	23
2.2.9.	Método de los diedros rectos.....	24
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	27

**CAPÍTULO III.
MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1.	UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.1.1.	Ubicación geográfica	28
3.1.2.	Ubicación política.....	28
3.1.3.	Accesibilidad	29
3.2.	PROCEDIMIENTOS.....	30
3.2.1.	Etapas de gabinete:.....	30
3.2.2.	Etapas de campo	31
3.2.3.	Etapas de procesamiento de información	32
3.2.4.	Metodología	32
3.2.5.	Población de estudio	33
3.2.6.	Muestra.....	33
3.2.7.	Unidad de análisis	33
3.2.8.	Definición de variables	34
3.3.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	34
3.4.	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	34
3.5.	CONTEXTO GEOLÓGICO	35
3.5.1.	Geología local.....	35
3.5.1.1.	Grupo Goyllarisquizga	36
3.5.1.1.1.	Formación Chimú (Ki-chi).....	36
3.5.1.1.2.	Formación Santa (Ki-sa)	36
3.5.1.1.3.	Formación Carhuaz (Ki-ca).....	37
3.5.1.1.4.	Formación Farrat (Ki-fa).....	38
3.5.1.1.5.	Formación Inca (Ki-in).....	39
3.5.1.2.	Grupo Crisnejas.....	40
3.5.1.2.1.	Formación Chúlec (Ki-chu).....	40
3.5.1.3.	Mioceno.....	42
3.5.1.3.1.	Formación Condebamba (N-con)	42
3.5.1.4.	Cuaternario	44
3.5.1.4.1.	Depósito Aluvial (Qh-al).....	45

	pág.
3.5.1.4.2. Deposito Coluvial (Qh-co)	45
3.5.1.4.3. Deposito Lacustre (Qh-la).....	46
3.5.2. Geomorfología.....	47
3.5.2.1. Planicies.....	47
3.5.2.2. Lomadas.....	48
3.5.2.3. Laderas.....	48
3.6. CONTEXTO TECTÓNICO ESTRUCTURAL DE LA CUENCA NAMORA	49
3.7. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	53
3.7.1. Fallas en secuencias Cretácicas.....	53
3.7.1.1. Estación (K-01): Falla Cajamarca.....	53
3.7.1.2. Estación (K-02)	55
3.7.1.3. Estación (K-03)	56
3.7.1.4. Estación (K-04)	58
3.7.1.5. Estación (K-05)	60
3.7.1.6. Estación (K-06): Falla Cajamarca.....	61
3.7.1.7. Estación (K-07)	62
3.7.1.8. Estación (K-08): Falla Sapitos	64
3.7.1.9. Estación (K-09)	65
3.7.1.10. Estación (K-10)	67
3.7.1.11. Estación (K-11)	69
3.7.1.12. Estación (K-12): Falla Chocta.....	70
3.7.1.13. Estación (K-13)	72
3.7.1.14. Estación (K-14)	73
3.7.1.15. Estación (K-15)	75
3.7.1.16. Estación (K-16): Falla Las Lomas	77
3.7.1.17. Estación (K-17): Falla Tuyorco.....	79
3.7.1.18. Estación (K-18): Falla Sulluscocha	80
3.7.2. Fallas en secuencias del Mioceno	82
3.7.2.1. Estación (M-01).....	82
3.7.2.2. Estación (M-02).....	83
3.7.2.3. Estación (M-03).....	85

	pág.
3.7.2.3.1. Estación (M-04).....	86
3.7.2.4. Estación (M-05).....	88
3.7.2.5. Estación (M-06).....	89
3.7.2.6. Estación (M-07).....	91
3.7.2.7. Estación (M-08).....	92
3.7.2.8. Estación (M-09).....	94
3.7.2.9. Estación (M-10).....	95
3.7.2.10. Estación (M-11).....	97
3.7.3. Análisis de Fracturas.....	98
3.7.3.1. Fracturas en secuencias Cretácicas.....	98
3.7.3.2. Fracturas en secuencias del Mioceno	100

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS EVENTOS DE DEFORMACIÓN	102
4.1.1. Primer evento de deformación: Compresión NNE-SSO.....	102
4.1.2. Segundo evento de Deformación: Compresión NE-SO	102
4.1.3. Tercer evento de Deformación: Compresión NO-SE.....	103
4.1.4. Cuarto evento de deformación: Extensión NNE-SSO	103
4.1.5. Quinto evento de deformación: Extensión ONO-ESE	104
4.1.6. Sexto evento de deformación: Extensión NE-SO	104
4.1.7. Séptimo evento de deformación: Extensión NNE-SSO.....	105
4.2. ESTILO ESTRUCTURAL.....	107
4.2.1. Estilos extensionales	107
4.2.1.1. Estructuras extensionales ONO-ESE/NO-SE	108
4.2.1.2. Estructuras Extensionales NNE-S/NE-SO	110
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	113

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.....	114
------------------------	-----

	pág.
5.2. RECOMENDACIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXOS	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Vértices en coordenadas UTM - WGS 84 que delimitan la Zona de estudio.....	28
Tabla 2.	Vías de acceso a la zona de estudio.....	29
Tabla 3.	Clasificación de la investigación.....	33
Tabla 4.	Identificación de variables.....	34
Tabla 5.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-01. ...	53
Tabla 6.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-02. ...	55
Tabla 7.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-03. ...	56
Tabla 8.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-04. ...	58
Tabla 9.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-05. ...	60
Tabla 10.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-06. ...	62
Tabla 11.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-07. ...	63
Tabla 12.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-08. ...	65
Tabla 13.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-09. ...	66
Tabla 14.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-10. ...	68
Tabla 15.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-11. ...	70
Tabla 16.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-12. ...	71
Tabla 17.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-13. ...	73
Tabla 18.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-14. ...	74
Tabla 19.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-15. ...	75
Tabla 20.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-16. ...	77
Tabla 21.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-17. ...	79
Tabla 22.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-18. ...	80
Tabla 23.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-01....	83
Tabla 24.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-02....	84
Tabla 25.	Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-03....	86

	pág.
Tabla 26. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-04....	87
Tabla 27. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-05....	88
Tabla 28. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-06....	89
Tabla 29. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-07....	91
Tabla 30. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-08....	92
Tabla 31. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-09....	94
Tabla 32. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-10....	95
Tabla 33. Datos del plano de falla de la estación M-11.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las cuencas Intramontañosas en un cinturón orogénico de tipo andino (Modificado de Marocco, et al. 1995, Scherrenberg, et al. 2014).....	6
Figura 2. Modelo conceptual del estilo estructural y la secuencia de deformación de fallas normales, las fallas inversas tienen lugar por compensación tectónica cerca de reologías dúctiles (Jackson et al., 2006).....	8
Figura 3. Estilo estructural de fallas inversas y pliegues (Van Der Pluijm y Marshak 2004).	8
Figura 4. Arquitectura tectónica de fallas de rumbo en la que coexisten fallas normales (por transtensión) e inversas (por transpresión) (Cunningham y Mann, 2007).	8
Figura 5. Elementos estructurales de una falla geológica (Van Der Pluijm y Marshak 2004).....	10
Figura 6. Clasificación de fallas utilizando secciones longitudinales (vista perpendicular al plano de falla). A. Clasificación general de las fallas mostrando los ángulos de inclinación, los diagramas de bloques muestran ejemplos de cada tipo de falla. B. Diagrama para fallas con componente de deslizamiento normal. C. Diagrama para fallas con componente de deslizamiento inverso. D. Diagrama mostrando un ejemplo de falla oblicua. E. Stereonet mostrando ejemplo de falla y rake (Nelson, 2011).	11

	pág.
Figura 7. Clasificación de las fallas (Van Der Pluijm & Marshak, 2004)	11
Figura 8. Modelo esquemático del núcleo de falla y zona de daño asociado dentro de una falla con cinemática dextral (Lin & Yamashita, 2013).	13
Figura 9. Diagrama que muestra las diferentes zonas de daño alrededor de una zona de falla (Kim et al., 2003, 2004).	14
Figura 10. Diagrama que muestra las estructuras que suelen aparecer en las zonas de daños y alrededor de las fallas de rumbo (Kim et al., 2004).	16
Figura 11. Desarrollo de rampas de relevo. A. Vista de mapa de las etapas de desarrollo de la estructura de relevos. B. Expresión 3D de las etapas de desarrollo de la estructura de relevos (Plenderleith et al., 2021).	17
Figura 12. Esquema experimental sobre el impacto de las rampas de relevo en el relleno de cuencas: (A) con afluencia perpendicular a la rampa; (B) con afluencia oblicua e inclinación de la rampa hacia la cuenca; y (C) con afluencia oblicua, inclinación de la rampa hacia cuenca y un canal en la rampa (línea negra discontinua) (Athmer et al., 2010).	18
Figura 13. Indicadores cinemáticos y microlineamientos tectónicos. Allmendinger (1987), Doblas (1998). Modificado de Ayala, (2021).	20
Figura 14. A. Modelo de Anderson para fallas conjugadas; D: ángulo diedro. Las tensiones principales son σ_1 , σ_2 y σ_3 ; R y L: plano de falla. B. Cinemáticas de estructuras tectónicas asociadas a estados de esfuerzos según el modelo dinámico de fallas de Anderson....	22
Figura 15. A. Conjuntos de estructuras que son cinemáticamente compatibles con el deslizamiento de una falla dextral. B. La relación de las mismas estructuras con la elipse de deformación que representa el deslizamiento (Holcombe, 2016)	24

	pág.
Figura 16. A: Método de los Diedros Rectos empleado para el análisis estructural dinámico de fallas. B: Las mejores interpretaciones se obtienen utilizando los modelos de Anderson (1905 y 1951) y de Ramsay (1967). Allmendinger (1987).....	26
Figura 17. Ubicación política del área de estudio.....	29
Figura 18. Imagen satelital, que muestra la accesibilidad al distrito de Namora.....	30
Figura 19. Bloque-diagrama de los datos estructurales y estereografía de los tomados en una estación estructural. Modificado de Fossen, (2016).....	32
Figura 20. Secuencias de areniscas cuarzosas de la Formación Chimú, observado en la quebrada Huacamayo. N. 9203421, E. 792870 y Z. 2833.	36
Figura 21. A. Afloramiento de las arcillitas carbonosas de la Formación santa, observado en la Quebrada Huacamayo, en contacto discordante con Diatomitas de la cuenca. N. 9203305, E. 792650, Z. 2831. B. Arcillitas carbonosas de la Formación Santa observado al oeste del caserío Bellavista. N. 9203864, E. 791564, Z. 2884.	37
Figura 22. Estratos de areniscas con tonalidad rojizas, intercaladas con arcillitas. Observado en el caserío Sulluscocha. N. 9203379, E. 791428, Z. 2950.	38
Figura 23. A. Afloramiento de areniscas blanquecinas, con estructuras segadas de la Fm. Farrat, observado en el borde norte de la cuenca. B. Afloramiento de areniscas blanquecinas, con delgados niveles de arcillitas; borde Sur de la Cuenca.	39
Figura 24. Afloramiento de areniscas, arcillitas y limolitas de la Formación Inca; observado en la Quebrada Huacamayo, borde Sur de la Cuenca, N. 9202772, E. 791856, Z. 2949.	40
Figura 25. A. Afloramiento de calizas fosilíferas, en el borde Sur de la Cuenca, N. 9202317, E. 791732, Z. 3030. B. discordancia entre las calizas y Diatomitas, observado en la Quebrada Huacamayo, N. 9202488, E. 791675, Z. 2998.	41

	pág.
Figura 26. A. Vista panorámica de los niveles de conglomerados y arenas que muestran la influencia de un medio Fluvial, como base de la Formación, N. 9203812, E. 792458, Z. 2850. B. Vista panorámica de las secuencias de arcillitas y diatomitas que muestran un ambiente lacustre, como techo de la Formación, N. 9203640, E. 792404, Z. 2852.....	43
Figura 27. Columna estratigráfica de la Formación Condebamba. Modificado de Bellier, et al., 1988.	44
Figura 28. Depósito aluvial en el margen izquierdo de la quebrada Adacucho, compuesto por cantos, gravas dentro de una matriz limo arenosa, N. 9204755, E. 793375, Z. 2846.....	45
Figura 29. Deposito Coluvial, constituido por bloques angulosos de areniscas, en una matriz limo arcillosa. N. 9203504, E. 791262, E. 2962.....	46
Figura 30. Deposito lagunar constituido por limos y arcillas. N. 9204007, E. 790748, E. 2998.	46
Figura 31. Vista panorámica de planicies, con pendientes promedio de 6°. N. 9203049, E. 791657, E. 2981.	47
Figura 32. Lomadas con pendiente promedio de 18°, situada en las litologías de la Formación Inca y Chúlec. N. 9202611, E. 791665, E. 2984.....	48
Figura 33. Vista panorámica de laderas en el borde norte de la cuenca, en las areniscas de la Formación Farrat. N. 9203768, E. 793457, Z. 2812.	49
Figura 34. Cuadro geocronológico y tectónico de la región Cajamarca, con énfasis en la formación de las cuencas Intramontañosas. Datos extraídos de Pardo Casas y Molnar, (1987); Reyes, (1980); Benavides, (1999); Bellier, et al., (1989); Bazán, (2013).....	51
Figura 35. Mapa geológico regional de Cajamarca y las Cuencas Intramontañosas de Cajamarca, Namora, San Marcos y Cajabamba; el recuadro de color rojo corresponde al área de estudio.....	52

	pág.
Figura 36. Vista panorámica de la falla Cajamarca. A. detalle del plano de falla, que afecta a la Formación Farrat. B. detalle de los indicadores cinemáticos.	54
Figura 37. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión σ_3 de orientación NNE-SSO.	54
Figura 38. Falla normal y conjunto de fracturas conjugadas (línea discontinua amarilla) afectando a secuencias de areniscas blanquecinas de la Formación Farrat. A y B. Detalles de los planos de falla, mostrando los indicadores cinemáticos.	55
Figura 39. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NE-SO.	56
Figura 40. A. Vista panorámica del plano de falla normal, controlando la depositación de diatomitas. B. Detalle del plano, mostrando los indicadores cinemáticos. C. Vista panorámica del plano de falla, afectando a la Formación Chulec. D. Detalle del plano de falla. ...	57
Figura 41. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NNE-SSO.	58
Figura 42. Falla normal, afectando a las areniscas de la Formación inca. A. Detalle del plano de falla, con sus indicadores cinemáticos.	59
Figura 43. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NNE-SSO.	59
Figura 44. Falla normal observado en el caserío Sulluscocha, que afecta a las areniscas de la Formación Carhuaz. A. Detalle del plano de falla, con sus indicadores cinemáticos.	60
Figura 45. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NNE-SSO.	61
Figura 46. Falla Cajamarca, que muestra el contacto entre la Formación Farrat y Santa. Mayor zona de daño en la Formación Santa. B. Detalle del plano de falla.	61
Figura 47. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión NNE-SSO.	62

	pág.
Figura 48. Falla normal en areniscas de la Formación Farrat, al este de los Sapitos. A. Detalle del plano de falla con su indicador cinemático.	63
Figura 49. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación N-S.....	64
Figura 50. Falla de cinemática normal, con intenso fracturamiento de las areniscas de la Formación Farrat. A. detalle del plano de falla mostrando la estría de movimiento.	64
Figura 51. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.....	65
Figura 52. Plano de falla con oxidación que presenta dos movimientos. A. Detalle primer movimiento normal. B. Detalle segundo movimiento sinistral.....	66
Figura 53. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación ONO-ESE.	67
Figura 54. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) N-S y una extensión (σ_3) de orientación NE-SO.	67
Figura 55. Falla normal y fracturas conjugadas (línea discontinua amarilla) afectando a las areniscas de la Formación Farrat (Línea discontinua blanca). A. Detalle del plano de falla mostrando el indicador cinemático.....	68
Figura 56. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.....	69
Figura 57. Plano de falla mostrando la cinemática normal en las areniscas de la Formación Farrat.	69
Figura 58. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.....	70
Figura 59. A. Primer plano de falla normal y fracturas conjugadas (línea discontinua amarilla). B. Detalle del plano de Falla, mostrando la cinemática. C. Segundo plano de Falla sinistral. D. Detalle del plano, mostrando la cinemática.	71

	pág.
Figura 60. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NO-SE y una extensión (σ_3) de orientación ENE-OSO.....	72
Figura 61. Plano de falla mostrando una cinemática sinistral normal, en areniscas de la Formación Farrat.....	72
Figura 62. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NE-SO y una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.	73
Figura 63. Areniscas intensamente fracturado por fallas normales de borde de cuenca. A. Detalle del indicador cinemático.....	74
Figura 64. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NE-SO y una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.	75
Figura 65. Falla normal, mostrando un conjunto de fracturas conjugadas (línea discontinua amarilla), le sobreyacen en forma de discordancia angular las secuencias de diatomitas A. Detalle del plano mostrando la cinemática.....	76
Figura 66. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NO-SE y una extensión (σ_3) de orientación ENE-OSO.....	77
Figura 67. A. Vista satelital de la falla mostrando el desplazamiento de las Formaciones, Farrat, Inca y Chulec. B. Detalle del plano de falla de cinemática dextral.	78
Figura 68. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) ENE-OSO y una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.....	78
Figura 69. Vista panorámica de la falla que controla la depositación de la secuencia proximal hacia el sureste de la cuenca. A. Detalle del plano de falla.	79
Figura 70. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NE-SO y una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.	80

	pág.
Figura 71. A.Vista panorámica de la falla normal, observado en el borde oeste de la cuenca. B y C. Detalles de los planos de falla mostrando el indicador cinemático.	81
Figura 72. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación ONO-ESE.	81
Figura 73. Falla Normal que desplaza secuencias de limoarenitas y diatomitas (línea discontinua azul) y plano conjugado (línea discontinua azul). A. detalle del plano de los indicadores cinemáticos.	82
Figura 74. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NE-SO.....	83
Figura 75. Vista panorámica de las fallas normales (líneas blancas) y fallas conjugadas (líneas amarillas), que afectan a secuencias de diatomitas y areniscas. A. detalle de los planos de fallas. B. Detalle del desplazamiento de arcillitas violáceas y diatomita.	84
Figura 76. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación E-O.....	85
Figura 77. Plano de falla que afecta a secuencias de diatomitas y arcillitas en la parte superior. A. detalle del plano de falla mostrando los indicadores cinemáticos.	85
Figura 78. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación N-S.....	86
Figura 79. Plano de falla, relleno de aragonito que afecta a secuencias de diatomitas. A. Detalle del plano de falla.	87
Figura 80. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.....	87
Figura 81. Vista panorámica de la falla norma, que desplaza secuencias de conglomerados, arcillitas y diatomitas. A. Detalle de la falla mostrando la cinemática.....	88
Figura 82. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NO-SE y una extensión (σ_3) de orientación ENE-OSO.....	89

	pág.
Figura 83. Sistema de fallas inversas, mostrando desplazamiento estratigráfico de las secuencias de diatomitas y arcillitas. A. Detalle del plano de falla, con el indicador cinemático.	90
Figura 84. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) E-O y una extensión (σ_3) de orientación N-S.....	90
Figura 85. Vista panorámica de las secuencias de diatomitas, que sobreyacen en discordancia angular a la Formación Santa. A. detalle del contacto discordante de la Formación Santa y las diatomitas. B. Detalle del plano de Falla.	91
Figura 86. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.....	92
Figura 87. Falla normal que muestra pliegue de arrastre en las arcillitas, y la diferencia de espesores de las diatomitas. A. detalle del plano de falla con el indicador cinemático. B. Esquema idealizado de fallas sinsedimentrias mostrando la diferencia de espesores (Fossen, 2016).	93
Figura 88. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.....	93
Figura 89. Fallas normales (líneas discontinuas blancas), mostrándolo desplazamiento estratigráfico de secuencias de arcillitas y arenas (línea discontinua amarilla). A. Detalle del plano de falla mostrando desplazamiento normal.	94
Figura 90. Análisis estereográfico de los planos de fallas conjugados, que indican una extensión (σ_3) de orientación E-O.	95
Figura 91. Falla normal, asociado una zona de daño de 2 metros, fracturas conjugadas (línea discontinua azul). A. detalle del plano de falla con su indicador cinemático.	96
Figura 92. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación E-O.....	96

	pág.
Figura 93. A. Falla sinsedimentaria, que muestra la variación de espesor de las capas de gravas en ambos lados del plano de falla (línea discontinua blanca). B. Esquema idealizado de fallas sinsedimentarias mostrando la diferencia de espesores (Fossen, 2016).	97
Figura 94. Diagrama de la red estereográfica con el ploteo del plano y el polo de la falla y la ubicación interpretada del tensor esfuerzo de extensión (σ_3) de orientación ONO-ESE.	98
Figura 95. A. Representación de planos en estereograma de Schmidt. B. Ploteo de polos.....	99
Figura 96. A. Diagrama de contornos, mostrando la concentración de polos. B. Diagrama de rosetas, mostrando las principales tendencias estructurales y la orientación interpretada de los paleoesfuerzos.	99
Figura 97. A. Representación de planos en estereograma de Schmidt. B. Ploteo de polos.....	101
Figura 98. A. Diagrama de contornos, mostrando la concentración de polos. B. Diagrama de rosetas, mostrando una extensión radial con un componente principal de extensión NNE-SSO, rotando en sentido horario (línea discontinua roja.)	101
Figura 99. Correlación entre los eventos tectónicos durante el Mioceno hasta el Holoceno, las letras a, b, c, d, e, f, g, h, i corresponden a los estereogramas de la figura 99.	105
Figura 100. Resumen de los eventos de deformación asociado al área de estudio.....	106
Figura 101. Diagrama de rosetas mostrando las principales tendencias estructurales. A. en secuencias Cretácicas. B. En el relleno de la cuenca.....	107
Figura 102. Modelo geológico, mostrando la orientación de la falla Cajamarca y las estructuras asociadas creando un semi graben de Namora.....	108

	pág.
Figura 103. A. modelo Geológico mostrando el desplazamiento de las secuencias proximales (arenas y conglomerados) y distales (diatomitas y arcillitas). B. Diagrama esquemático de fallas menores asociadas a una falla maestra (Jackson, et al., 2006), C. Fotografía de campo, mostrando la estructura.	110
Figura 104. Modelo Geológico con vista E-O, mostrando las estructuras NNE-SSO, que contienen relleno de la cuenca.....	112
Figura 105. A. Modelo geológico del desplazamiento normal de las secuencias de conglomerados y diatomitas. B. vista panorámica de la falla. C. Diagrama esquemático de fallas menores asociadas a una falla maestra (Jackson, et al., 2006),.....	113

LISTA DE ABREVIATURAS

Az	: Azimut
Buz	: Buzamiento
e1	: Esfuerzo principal mayor
e2	: Esfuerzo principal intermedio
e3	: Esfuerzo principal menor
Fm	: Formación
GPS	: Global Positioning System
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú
Ki-ca	: Formación Carhuaz
Ki-chu	: Formación Chúlec
Ki-fa	: Formación Farrat
Ki-in	: Formación Inca
Km	: Kilómetro
Msnm	: Metros sobre el nivel del mar
N	: Norte
NE	: Noreste
NW	: Noroeste
Pág.	: Página
S	: Sur
SE	: Sureste
SW	: Suroeste
UTM	: Universal Transversal de Mercator
W	: Oeste
WGS-84	: World Geodetic System 1984

RESUMEN

La Cuenca de Namora forma parte del sistema de Cuencas Intracordilleranas de los Andes Noroccidentales del Perú, siendo estudiada por los años 80 y 90; pero en la actualidad la literatura relacionada al tema de investigación es muy reducida y lo que se pretende es ampliar el conocimiento; de ahí la importancia de realizar el estudio del estilo estructural. Los estudios corresponden al Noroeste de esta cuenca. Para ello se ha realizado el cartografiado geológico-estructural y el análisis de la geometría y cinemática de las estructuras con el objetivo de definir el Estilo Estructural. Del análisis realizado se concluye que: Las fallas de primer orden en general son normales de alto ángulo de dirección ONO-ESE y están asociados a fallas de orientación NNE-SSO, que obedecen al mismo evento tectónico de extensión (NNE-SSO). Estas estructuras muestran un estilo estructural extensional y corresponde al estado de extensión del Mioceno tardío que reactivó a la falla Cajamarca. Para la formación y evolución de la cuenca se ha definido siete eventos de deformación: El primero una compresión NNE-SSO (Fase Inca I), deformando los estratos del sistema Cretácico; luego Compresión NE-SO (Fase Inca II) que genera fallas de rumbo; seguidamente ocurre una compresión NO-SE, que reactiva a la Falla Cajamarca (Fase Inca IV); Luego ocurre la extensión NNE-SSO (posterior a la fase Quechua I), que reactiva a las estructuras compresivas y da origen a la apertura de la cuenca; durante el relleno de la cuenca ocurre una extensión local E-O, con el desarrollo de fallas sinsedimentarias en secuencias de tobas, arcillitas y diatomitas durante la fase Quechua II; continua la extensión con una ligera rotación hacia el NE-SO (Quechua III) y finalmente ocurre una extensión NNE-SSO, durante el Pleistoceno.

Palabras clave: Estilo estructural, estructuras, eventos de deformación, cuencas Intracordilleranas, extensión.

ABSTRACT

The Namora Basin is part of the Intracordillera Basin system of the Northwestern Andes of Peru, being studied in the 80's and 90's; but at present the literature related to the subject of research is very limited and the aim is to broaden the knowledge; hence the importance of studying the structural style. The studies correspond to the northwest of this basin. For this purpose, geological-structural mapping and analysis of the geometry and kinematics of the structures have been carried out with the aim of defining the Structural Style. From the analysis carried out, it is concluded that: The first order faults in general are high angle normals of NW-ESE direction and are associated with faults of NNE-SSO orientation, which obey the same extensional tectonic event (NNE-SSW). These structures show an extensional structural style and correspond to the late Miocene extensional state that reactivated the Cajamarca fault. Seven deformation events have been defined for the formation and evolution of the basin: The first one a NNE-SSW compression (Inca Phase I), deforming the strata of the Cretaceous system; then NE-SW Compression (Inca Phase II) which generates strike-slip faults; then a NW-SE compression occurs, which reactivates the Cajamarca Fault (Inca Phase IV); Then the NNE-SSW extension occurs (subsequent to the Quechua Phase I), which reactivates the compressional structures and gives rise to the opening of the basin; during the basin filling, a local E-W extension occurs, with the development of syn-sedimentary faults in tuff, claystone and diatomite sequences, during the Quechua II phase; the extension continues with a slight NE-SW rotation (Quechua III) and finally a NNE-SSO extension occurs, during the Pleistocene.

Keywords: Structural style, structures, deformation events, Intracordilleran basins, extensión.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

Los Andes peruanos corresponden a una Cadena Cordillerana que han sido deformados por los diferentes eventos tectónicos producidos por la subducción entre la Placa de Nazca y la Sudamericana. Estos eventos han sido comúnmente relacionados a las variaciones en el ángulo de subducción, cambios de direcciones y velocidades de convergencia de placas (Pardo-Casas y Molnar, 1987).

La Cuenca de Namora forma parte del sistema de Cuencas Intracordilleranas Neógenas de los Andes Noroccidentales del Perú (Bellier, et al., 1988). El área de estudio corresponde al Noroeste de la Cuenca de Namora; que está constituida en el basamento por rocas sedimentarias del Cretácico inferior, los cuales han sido rellenado por secuencias fluvio-lacustres del Mioceno Tardío (Fourtanier, et al., 1993), las que han sido sometidas a los esfuerzos tectónicos generando pliegues y fallas; y el estudio de estos, constituyen elementos importantes para entender los eventos de deformación. En la actualidad la literatura especializada relacionado al tema de investigación es muy reducida y lo que se pretende es ampliar el conocimiento; de ahí la importancia de realizar el estudio del estilo estructural, para comprender la geometría y tipo de movimiento (cinemática), mediante la integración del cartografiado geológico-estructural, interpretación de secciones y aplicando técnicas estereográficas (diedros rectos), con los softwares de ArcGis, Leapfrog Geo, y Faulking.

Formulación del Problema

¿Cuál es el Estilo Estructural del Noroeste de la Cuenca de Namora, Cajamarca?

Objetivos

General

Definir el Estilo Estructural del Noroeste de la Cuenca de Namora, Cajamarca.

Específicos

Realizar el cartografiado geológico – estructural

Describir las estructuras tectónicas dominantes.

Interpretar los diversos eventos tectónicos.

Formulación de la Hipótesis

El comportamiento cinemático y la geometría de las estructuras tectónicas del Noroeste de la Cuenca Namora indican que se formó bajo un estilo estructural extensional cuya dirección varía de Noreste - Suroeste a Este - Oeste, generando fallas normales sinsedimentarias y post sedimentarias de orientación Norte-Sur y están asociado a una fábrica de juntas abiertas dispuestas en echelon.

Justificación de la investigación

La presente investigación busca definir el estilo estructural, a partir de la interpretación de la geométrica y cinemática de las estructuras tectónicas, y con ello ampliar el conocimiento sobre cómo se originó y evolucionó la deformación tectónica en el área de estudio. Esta investigación es importante porque complementará y ampliará el conocimiento sobre el estilo estructural y lo podrán utilizar diferentes instituciones interesadas y la comunidad científica.

Descripción del contenido de los capítulos.

La investigación consta de seis capítulos. El Capítulo I, muestra el origen del problema, justificación y objetivos de la investigación; en el capítulo II, se considera antecedentes internacionales, nacionales y locales de la investigación, las bases teóricas y definición de términos básicos; en el capítulo III, se refiere a la ubicación geográfica, política, accesibilidad, procedimientos, metodología y tratamiento y análisis de los datos y presentación de resultados; el capítulo IV, comprende el contexto tectónico de la cuenca Namora, Estratigrafía y características estructurales; el capítulo V, comprende el análisis y discusión de resultados, teniendo en cuenta la geometría de la cuenca, eventos de deformación, estilo estructural, y con ello realizar la contrastación de la hipótesis; Finalmente el Capítulo VI, corresponde a las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas usadas en el proyecto de investigación.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

En términos generales los primeros aportes en los estudios regionales de las cuencas Intracordilleranas del norte del Perú fueron realizados por:

Marocco, et al. (1995), en su estudio denominado Intermontane Late Paleogene–Neogene Basins of the Andes of Ecuador and Peru: Sedimentologic and Tectonic Characteristics. Determina que, en Ecuador y Perú, la formación de las cuencas Neógenas comenzó aproximadamente a finales del Oligoceno y el relleno sedimentario de tales cuencas comprende dos megasecuencias. La primera consiste en depósitos fluviales y lacustres sobreyacentes que corresponden a la apertura de las cuencas. La segunda se compone básicamente de sedimentos fluviales proximales y refleja el cierre de las cuencas en el Mioceno terminal.

Bellier, et al. (1989 A), en su estudio denominado Late Cenozoic evolution of the E-W striking Cajamarca deflection in the Namora basin (Andes of Northern Peru). realizado mediante estudios cartográficos, sedimentológicos y estratigráficos asociados a un análisis detallado de las fallas. La cuenca de Namora se inició durante el Mioceno Tardío a lo largo de las fallas de rumbo ONO-ESE de la Deflexión de Cajamarca. Los depósitos fluvio-lacustres que llenaron la cuenca de Namora fueron afectados por fallas normales sinsedimentarias que indican una extensión ENE-OSO y esta extensión continuó después de la diagénesis. Durante el Plioceno o el Pleistoceno Temprano, los depósitos fluvio-lacustres se vieron afectados por la tectónica compresiva con tendencia N-S. Luego, una tensión de tendencia N-S a NNE-SSW ha estado activa desde el Pleistoceno Medio.

Bellier, et al. (1989 B), Évolution géodynamique mio-pliocène et quaternaire des bassins de la cordillère occidentale du Nord-Pérou Les bassins de Cajabamba, San Marcos et Namora (Département de Cajamarca). Determina que las cuencas de

Namora, San Marcos y Cajabamba son semigabenes Miocenos que se formaron paralelos a las estructuras de la Cordillera Occidental. Sus fallas límites son antiguas estructuras compresivas que se reactivaron como fallas normales durante la evolución de las cuencas. La cuenca de Namora, está situada en la deflexión de Cajamarca, y está delimitada al norte por un sistema de fallas con rumbo N 100°-110° y buzamiento sur.

Reyes, (1980), en el boletín de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, determina que la parte sur del valle de Cajamarca están limitados por fallas de alto ángulo, formando una especie de graben dentro del cual se hallan los pueblos de Namora, Matara, San Marcos e Ichoacán. Sin embargo, el sector norte del mismo valle a partir de Namora, Llacanora parece ser un horst.

Robles, (1991), realiza el estudio geológico y neotectónico de las Cuencas Intracordilleranas Cenozoicas de Namora y San Marcos – Dpto de Cajamarca. Cuyo objetivo es conocer la evolución tectónico-sedimentaria y neotectónica, este se ha realizado mediante cartografiado geológico estructural. Concluye que las Cuenca de Namora y San Marcos, son el resultado de diversas actividades tectónicas que provocaron subsidencia por fallamientos de tipo normal y normal transcurrente. Estos movimientos se produjeron durante el Mioceno Inferior al Cuaternario, marcando fases o eventos tectónicos locales. La Cuenca de Namora ha sufrido por 5 fases tectónicas locales, desde el Mioceno superior a Plioceno inferior, hasta el cuaternario reciente.

Fourtanier, et al. (1993), en su estudio Miocene Non-marine diatoms from the Western Cordillera Basins of northern Peru. Realiza análisis radiométrico de K/Ar en las biotitas de tres muestras de toba dacítica intercaladas en la secuencia de lacustres de la formación Namora y en las diatomitas, concluyendo que la Formación Namora tiene una edad de 7.2 +- 0.6 Ma y corresponde al Mioceno tardío.

Vigo, (2014), Tesis Caracterización estructural de la falla Cajamarca y su influencia en la localidad de Llacanora. Concluye que el movimiento dextral de la falla Cajamarca ha generado distensión en la parte de Llacanora contribuyendo a la

generación de hundimientos y posterior relleno de sedimentos lacustres tal como lo atestiguan los controles de campo y los Análisis Poblacional de fallas y fracturas. Más no definió la caracterización del evento tectónico.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Cuencas Intramontañosas

Una cuenca sedimentaria registra en su relleno los eventos geodinámicos sufridos por la misma cuenca y sus zonas de aporte. Por ejemplo, la tectónica (relación geométrica), magmatismo (cambio de litología), cambios climáticos (cambios en minerales arcillosos), movimientos eustáticos dejan sus huellas en la sedimentación.

Los fenómenos que provocan el plegamiento y la elevación de los cinturones orogénicos también son responsables de la génesis de las cuencas de antepaís y de las Cuencas Intramontañosas (Figura 1). El relleno sedimentario de estas cuencas y sus estructuras limítrofes están controlados por las fuerzas tectónicas que construyen el cinturón orogénico. El análisis sedimentológico, estratigráfico y estructural de las cuencas sin-orogénicas permite reconstruir su desarrollo y sus relaciones regionales. Este tipo de estudio es esencial para comprender la geodinámica de los cinturones montañosos (Marocco, et al. 1995).

Por lo tanto, una Cuenca Intramontañosa, es una depresión activa controlada por la tectónica (fallas activas) y que se establece en el seno de macizos montañosos. Por lo general, las Cuencas Intramontañosas son continentales y controladas por la tectónica compresiva que generan los plegamientos y los relieves de las cadenas montañosas. Existen tres tipos de Cuencas Intramontañas: las que están relacionadas a fallas de deslizamiento, a fallas inversas y a fallas normales. (Marocco, et al. 1995).

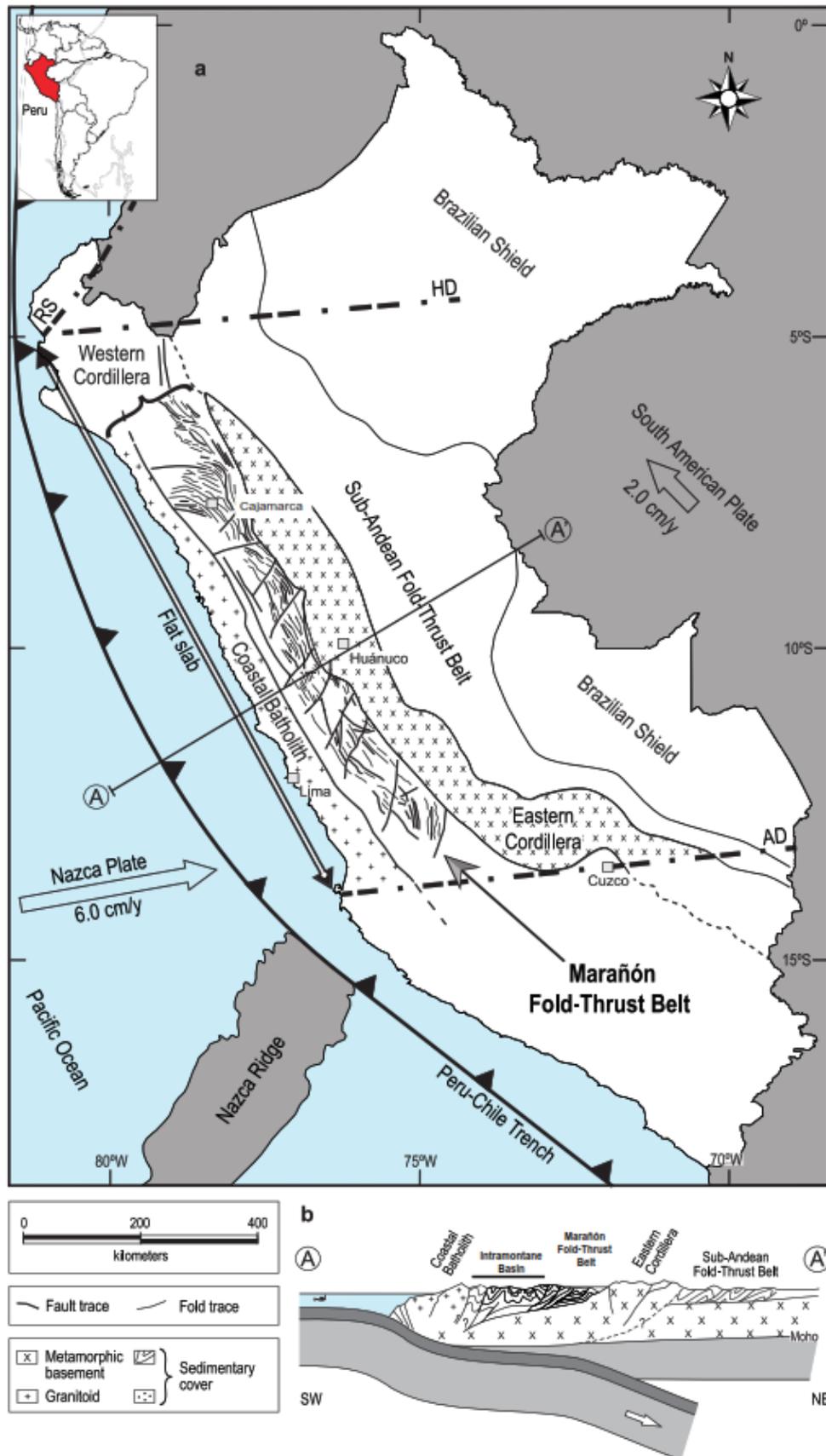


Figura 1. Localización de las cuencas Intramontañosas en un cinturón orogénico de tipo andino (Modificado de Marocco, et al. 1995, Scherrenberg, et al. 2014).

2.2.2. Estilo estructural

Según Harding y Lowell (1979), los estilos estructurales son asociaciones de estructuras tipo fallas y pliegues, que a menudo se generan al mismo tiempo y estas asociaciones se repiten generalmente en regiones con deformación similar.

La geometría, escala y la distribución de las estructuras secundarias dentro de las estructuras principales (pliegues y fallas) y sus relaciones transversales con las fallas maestras permiten establecer el estilo y la secuencia de la deformación. (Jackson et al., 2006).

Las fallas no suelen producirse de forma aislada, sino forman parte de un grupo de fallas asociadas que se desarrollan durante el mismo intervalo de deformación y en respuesta al mismo campo de tensión regional (Jackson et al., 2006). Por lo que la acción de los esfuerzos normales resulta en estilos tectónicos que se distinguen individualmente por: estilos extensionales, compresionales y de desgarre.

De este modo los estilos extensionales, se caracterizan por presentar asociaciones de fallas normales o zonas de cizallas extensionales. Las fallas normales están asociadas en los bloques techo con rotaciones y pliegues; así, el plegamiento por propagación de fallas es un proceso importante durante las primeras etapas del crecimiento de las fallas en entornos extensionales (Figura 2) (Jackson et al., 2006).

Los estilos compresionales presentan asociaciones de fallas inversas y pliegues (anticlinales y sinclinales), tanto en el bloque piso como el bloque techo (Figura 3).

Y los estilos de desgarre presentan asociaciones de fallas de rumbo que pueden ser de cinemática sinistral y dextral, los cuales están relacionadas a zonas de transtensión (fallas normales) y transpresión (fallas inversas) (Figura 4); en general, la transpresión se produce cuando hay una combinación de movimiento de deslizamiento y acortamiento, y puede producir un levantamiento a lo largo de la falla. La transtensión se produce cuando hay una combinación de movimiento de deslizamiento y extensión, y puede producir hundimiento a lo largo de la falla (Van der Pluijm & Marshak, 2004).

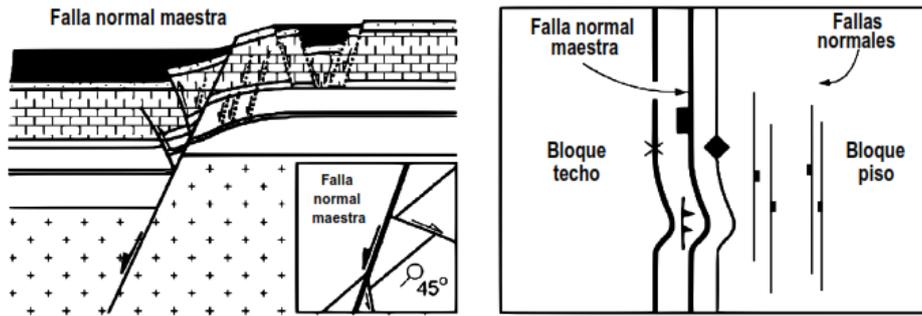


Figura 2. Modelo conceptual del estilo estructural y la secuencia de deformación de fallas normales, las fallas inversas tienen lugar por compensación tectónica cerca de reologías dúctiles (Jackson et al., 2006)

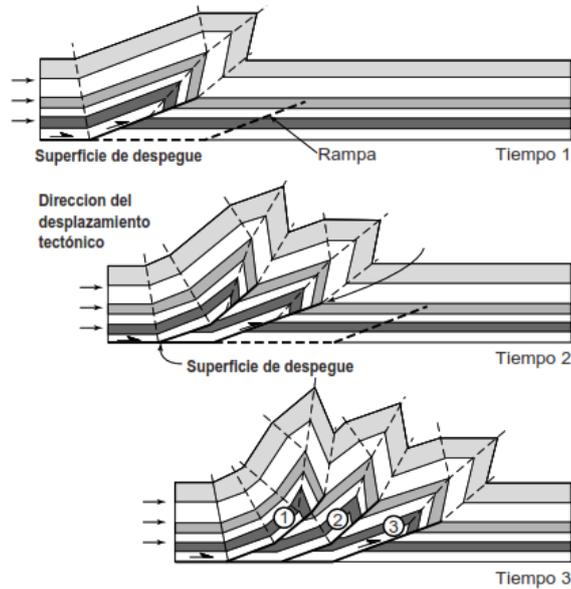


Figura 3. Estilo estructural de fallas inversas y pliegues (Van Der Pluijm y Marshak 2004).

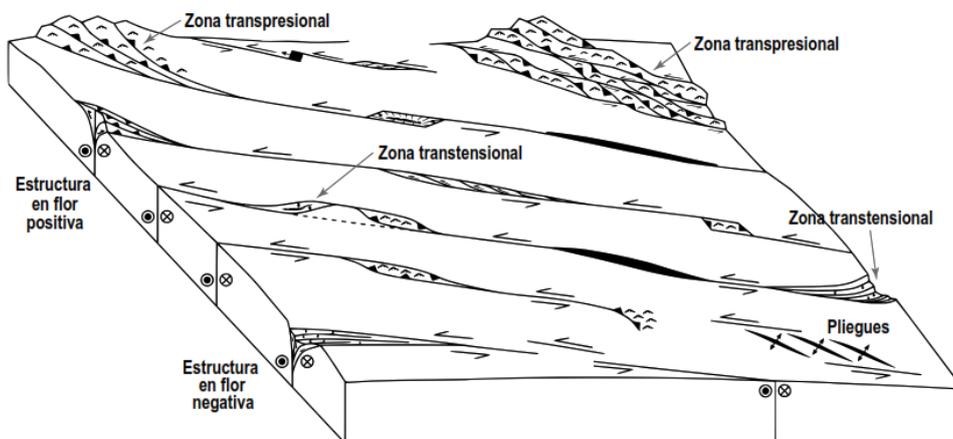


Figura 4. Arquitectura tectónica de fallas de rumbo en la que coexisten fallas normales (por transtensión) e inversas (por transpresión) (Cunningham y Mann, 2007).

2.2.3. Fallas

Las fallas son estructuras complejas o compuestas que pueden acomodar grandes cantidades de tensión, una falla es cualquier superficie o zona con visible desplazamiento a lo largo de esta zona (Fossen, 2010).

2.2.3.1. Componentes de una falla

- **Falla:** Fractura en la roca a lo largo de la cual ha ocurrido desplazamiento.
- **Plano de Falla:** plano o superficie a lo largo del cual ha ocurrido desplazamiento.
- **Bloque Techo:** Bloque que descansa por encima de un plano de falla inclinado; si el plano de falla es vertical este término no es aplicable.
- **Bloque piso:** bloque que yace por debajo de un plano de falla inclinado.
- **Falla con desplazamiento:** falla cuyo desplazamiento tiene componentes en la dirección del buzamiento y en la dirección del rumbo del plano de falla.
- **Deslizamiento neto:** deslizamiento en la dirección misma del movimiento; se expresa como la distancia medida sobre el plano de falla, entre dos puntos localizados en bloques opuestos, que antes eran adyacentes.
- **Desplazamiento de buzamiento:** componente del desplazamiento neto en la dirección del buzamiento de una falla; a su vez, este desplazamiento puede ser descompuesto en dos componentes: desplazamiento vertical o salto y desplazamiento horizontal o rechazo.
- **Desplazamiento vertical:** equivale a la componente vertical de desplazamiento de buzamiento.
- **Desplazamiento horizontal:** equivale a la componente horizontal del desplazamiento de buzamiento.
- **Desplazamiento de rumbo:** componente del desplazamiento neto en la dirección del rumbo de la falla.

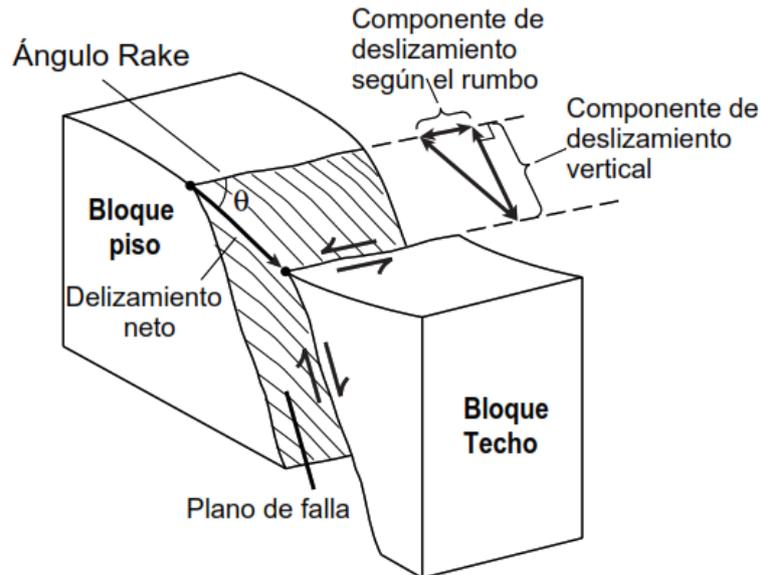


Figura 5. Elementos estructurales de una falla geológica (Van Der Pluijm y Marshak 2004).

2.2.4. Geometría y desplazamiento de las fallas

Cuando se produce el movimiento de una falla, esta se describe mediante el deslizamiento neto. Para describir un vector de deslizamiento neto, se especifica su magnitud y orientación (plunge y rumbo, o rake en un plano), y el sentido del deslizamiento (o sentido de cizalladura). El sentido de cizalladura define el desplazamiento relativo de un bloque de la falla con respecto al otro bloque, es decir, si un bloque ha subido o bajado, y/o si se ha desplazado a la izquierda o a la derecha del otro bloque.

La clasificación de las fallas y zonas de cizalla se basa en dos parámetros: el ángulo de inclinación del vector de deslizamiento (rake) y el sentido del deslizamiento (o cizalla) (Nelson, 2011; Van Der Pluijm & Marshak, 2004). La Figura 6 muestra un sistema de clasificación de fallas que utiliza la regla de la mano derecha del vector de deslizamiento (rake). Por lo tanto, cuando el vector de deslizamiento neto es paralelo a la dirección del buzamiento (dip direction) de la falla, se llama falla de deslizamiento vertical (dip-slip, 70° - 110°); si el vector es más o menos paralelo a la dirección de la falla, se llama falla de deslizamiento según el rumbo (strike-slip, $<20^{\circ}$ y $>160^{\circ}$); y si el vector no es paralelo a la dirección del buzamiento ni a la dirección de la falla, se llama falla de deslizamiento oblicuo (oblique-slip, 20° - 70° y 110° - 160°). (Van Der Pluijm & Marshak, 2004)

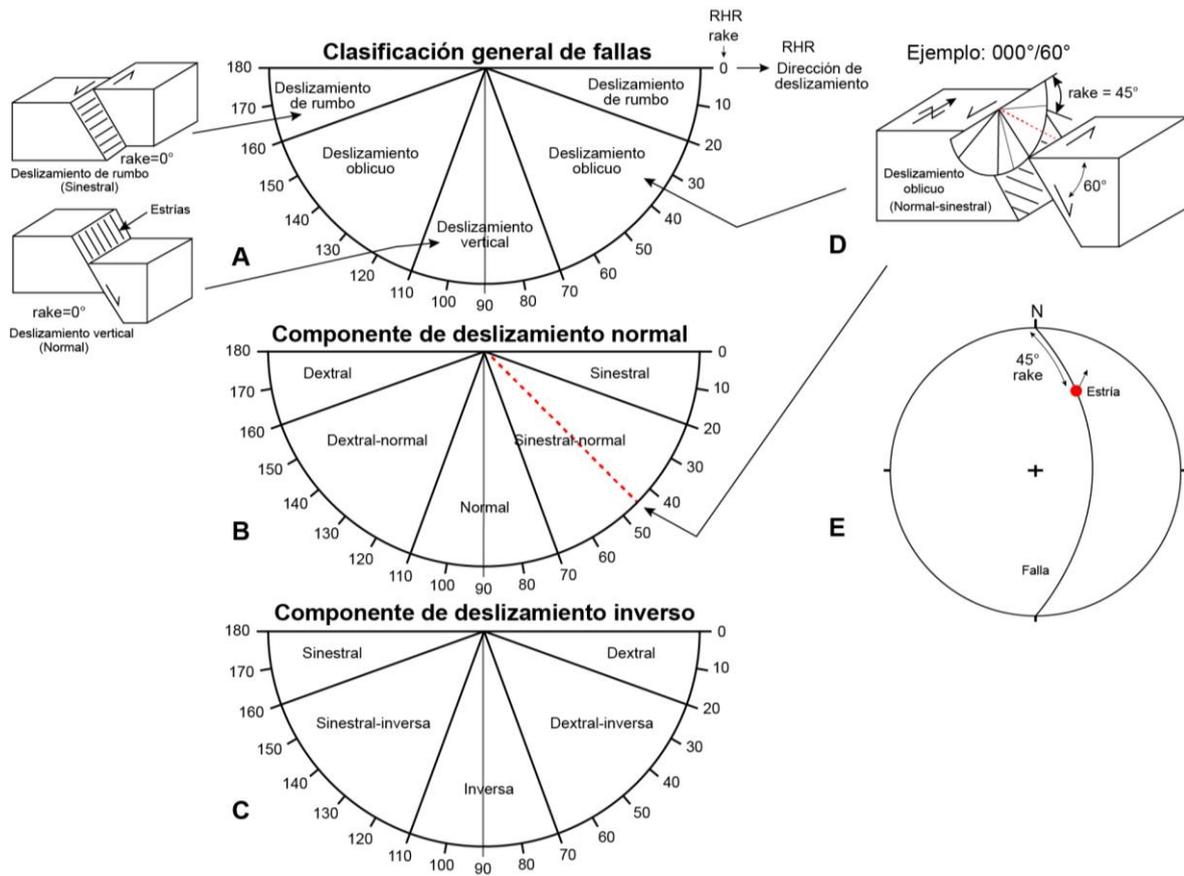


Figura 6. Clasificación de fallas utilizando secciones longitudinales (vista perpendicular al plano de falla). A. Clasificación general de las fallas mostrando los ángulos de inclinación, los diagramas de bloques muestran ejemplos de cada tipo de falla. B. Diagrama para fallas con componente de deslizamiento normal. C. Diagrama para fallas con componente de deslizamiento inverso. D. Diagrama mostrando un ejemplo de falla oblicua. E. Stereonet mostrando ejemplo de falla y rake (Nelson, 2011).

En una falla de deslizamiento vertical, las fallas del bloque techo hacia abajo se llaman fallas normales, y las fallas de bloque techo hacia arriba se llaman fallas inversas (Figura 7 a y b). En una falla de deslizamiento según el rumbo, si el bloque opuesto de la falla se mueve hacia su derecha, la falla es lateral derecha (dextral), y si el bloque opuesto de la falla se mueve hacia su izquierda, la falla es lateral izquierda (sinistral) (Figura 7 c y d). En una falla de deslizamiento oblicuo se especifica los componentes de deslizamiento vertical y deslizamiento según el rumbo (Figura 7 e-h) (Van Der Pluijm & Marshak, 2004).

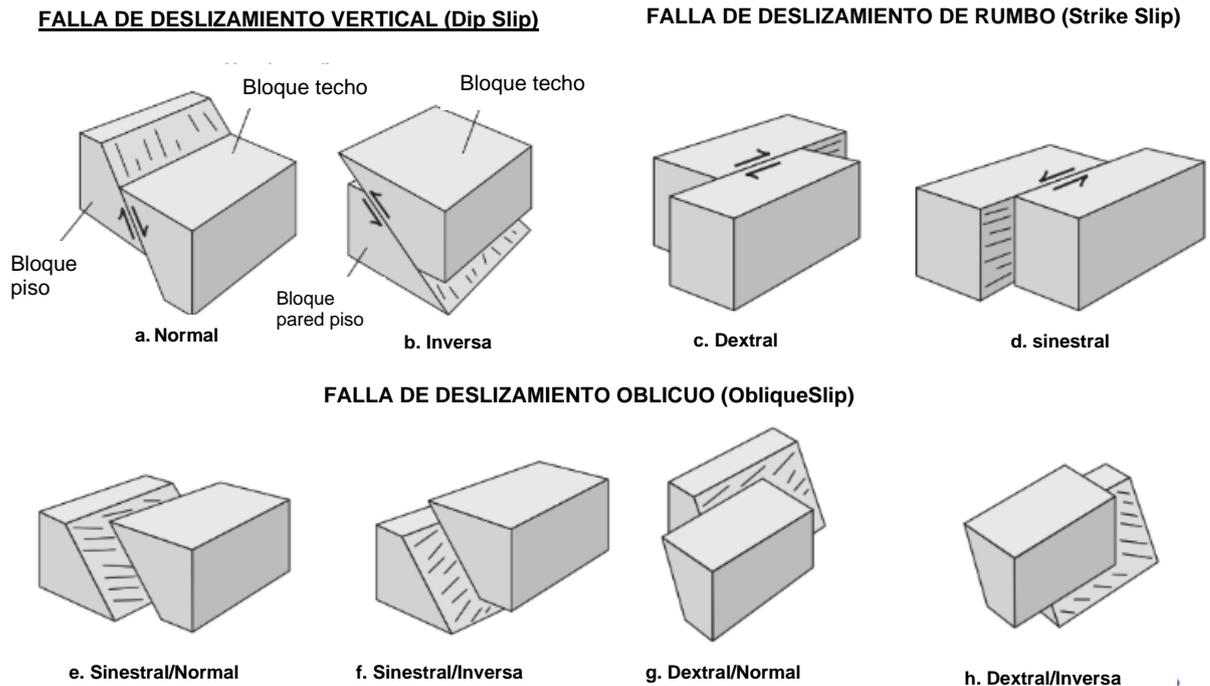


Figura 7. Clasificación de las fallas (Van Der Pluijm & Marshak, 2004)

2.2.5. Clasificación de una zona de falla

Las fallas se desarrollan a partir del enlace de fracturas, a medida que aumenta la deformación (Kim, et al., 2003). Según (Chester y Logan, 1986; Chester et al., 1993; Billi et al., 2003) las zonas de falla pueden dividirse en dos componentes principales: el núcleo de falla y la zona de daño

2.2.5.1. Núcleo de falla

Las fallas constan de un núcleo central, que es una zona de alta deformación, dominada por la roca de falla y la(s) superficie(s) de deslizamiento (Fossen, 2016; Lin & Yamashita, 2013; Gabrielsen et al., 2016)

Existen varios tipos de rocas de falla, en función de la litología, la presión de confinamiento (profundidad), la temperatura, la presión de los fluidos, la cinemática, etc. en el momento de producirse la falla. Es útil distinguir entre los distintos tipos de rocas de falla frágil y separarlas de las rocas miloníticas formadas en régimen plástico. Sibson (1977) sugirió una clasificación basada en su observación de que

las rocas de falla frágiles son generalmente no foliadas, mientras que las milonitas están bien foliadas (Fossen, 2016).

El núcleo está formado por rocas de falla cataclásticas, que incluyen brechas y gouge de la falla y se concentra en una zona estrecha (<10 m de ancho) a lo largo del plano de falla principal. (Figura 8) (Lin & Yamashita, 2013).

La brecha de falla es una roca de falla no consolidada compuesta por menos del 70% de matriz. Si la relación matriz-fragmento es superior, la roca se denomina gouge de falla. Un gouge de falla es, por tanto, una versión fuertemente triturada de la roca original; estas rocas de falla no consolidadas se forman en la parte superior de la corteza frágil (Fossen, 2016).

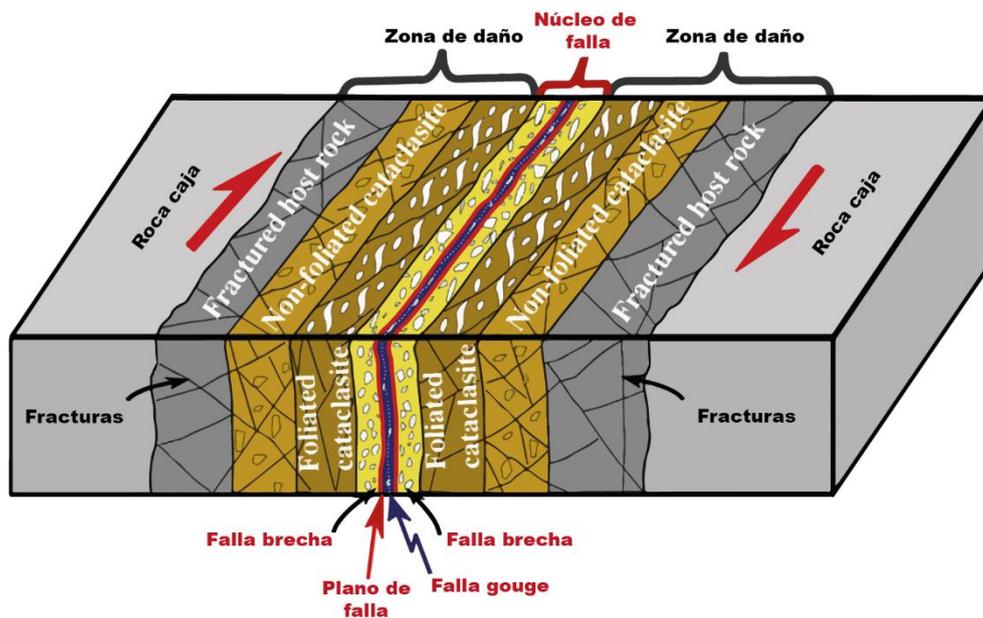


Figura 8. Modelo esquemático del núcleo de falla y zona de daño asociado dentro de una falla con cinemática dextral (Lin & Yamashita, 2013).

2.2.5.2. Zona de Daño

Es el volumen de las rocas huésped deformadas alrededor del núcleo de la falla que resulta del inicio, propagación, interacción y acumulación de deslizamiento a lo largo de las fallas (Kim, et al., 2003, 2004). Las diferentes estructuras de la zona de daño brindan información sobre la propagación, crecimiento de las fallas, el flujo de fluidos y sobre el inicio y la terminación de una zona de falla (Sibson, 1985).

Las geometrías y estructuras de las zonas de daño, están principalmente controladas por la ubicación alrededor y/o a lo largo de una falla, el modo de

deslizamiento en la punta de falla, la etapa evolutiva de la falla, litología, reología y el sistema de tensiones. Las zonas de daño muestran geometrías muy similares a diferentes escalas y tipos de fallas (rumbo, normal e inverso) (Kim et al., 2004).

Las estructuras de la zona de daños se forman antes, durante y después de la formación local de la superficie de deslizamiento (falla). El espesor de la zona de daños y el núcleo de la falla tienden a aumentar con el incremento del desplazamiento de la falla (Fossen, 2016)

La zona de daño se clasifica en tres en tres tipos principales: zona de daño de punta (Tip damage zone), de enlace (linkage damage zones) y de pared (Wall damage zones) (Figura 9) (Kim et al., 2003, 2004).

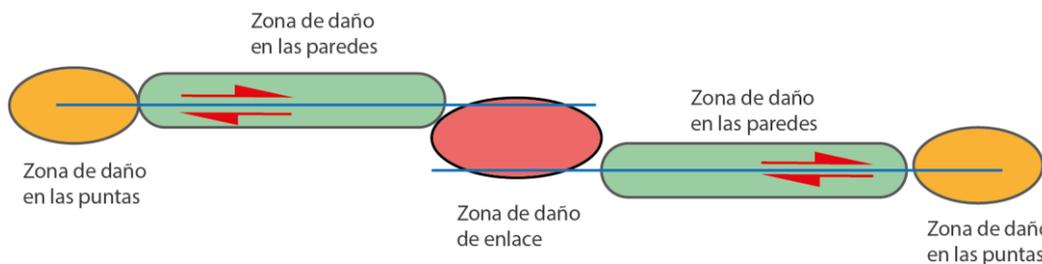


Figura 9. Diagrama que muestra las diferentes zonas de daño alrededor de una zona de falla (Kim et al., 2003, 2004).

Zona de daño de punta (Tip damage zone)

Se desarrolla como respuesta a la concentración de tensiones en la punta de la traza de la falla y forman patrones en forma de cuña, formados por fallas antitéticas y fracturas en extensión (Kim et al., 2003, 2004).

Los principales tipos de daño en la punta de una falla son: las grietas de ala, estas se desarrollan cuando hay una rápida disminución del deslizamiento en el extremo de la falla; las fracturas de cola de caballo, tiene características geométricas y mecánicas similares a las grietas en ala, pero son más finas y están más espaciadas con ángulos relativamente bajos respecto de la falla principal; las fallas sintéticas de ramas (splay), estas tienen el mismo sentido de desplazamiento que la falla principal; y las fallas antitéticas, que aumentan su longitud y espaciamiento lejos de la punta de la falla (Kim et al., 2004).

La mayoría de estas fracturas en la zona de la punta implican que la energía de la fractura principal se distribuye en varias superficies de fractura. Esto significa que

la energía de cada fractura se reduce, lo que dificulta el crecimiento continuo de la fractura. La evolución de las fracturas pronunciadas de cola de caballo o de las fallas de desdoblamiento puede, por tanto, detener la fractura principal y detener o al menos pausar la propagación en la punta de la fractura (Fossen, 2016).

Zona de daño de enlace (Linkage damage zone)

Las zonas de daño de enlace suelen mostrar una complejidad relativa y una fracturación intensa en comparación con otros tipos de zonas de daño. Se desarrollan por la combinación de varias fracturas interactuantes de las fallas adyacentes. Las zonas de daño de enlace pueden ser de geometrías extensionales (fracturas, vetas, venillas, pull-apart, bloques rotados) y contraccionales (bloques rotados, fallas de enlace y dúplex contraccionales) (Kim et al., 2004).

Zona de daño de pared (wall damage zone)

Se produce a lo largo de la traza de la falla, produciendo generalmente zonas relativamente largas y estrechas con fracturas en-echelon de longitud y espaciado similares dispuestas simétricamente alrededor de la falla. Muestran un patrón similar al modelo de Riedel (Kim et al., 2003).

La geometría de las zonas de daños en la pared puede ser: en forma de cuña, estas se repiten a lo largo de la traza de la falla, y el tamaño de las cuñas aumentando desde el centro hacia las puntas de la falla; en las paredes largas y relativamente estrechas, controlada por las fracturas de extensión y la falla principal; y asimétricas entre fallas, producidos por el desgaste por fricción a medida que aumenta el deslizamiento. Por ejemplo, las fallas con deslizamiento de milímetros a centímetros tienen muy pocas fracturas en sus paredes, mientras que un deslizamiento de centímetros a varios metros, tienen mayor fracturamiento, y por lo tanto mayor zona de daño en sus paredes (Kim et al., 2004).

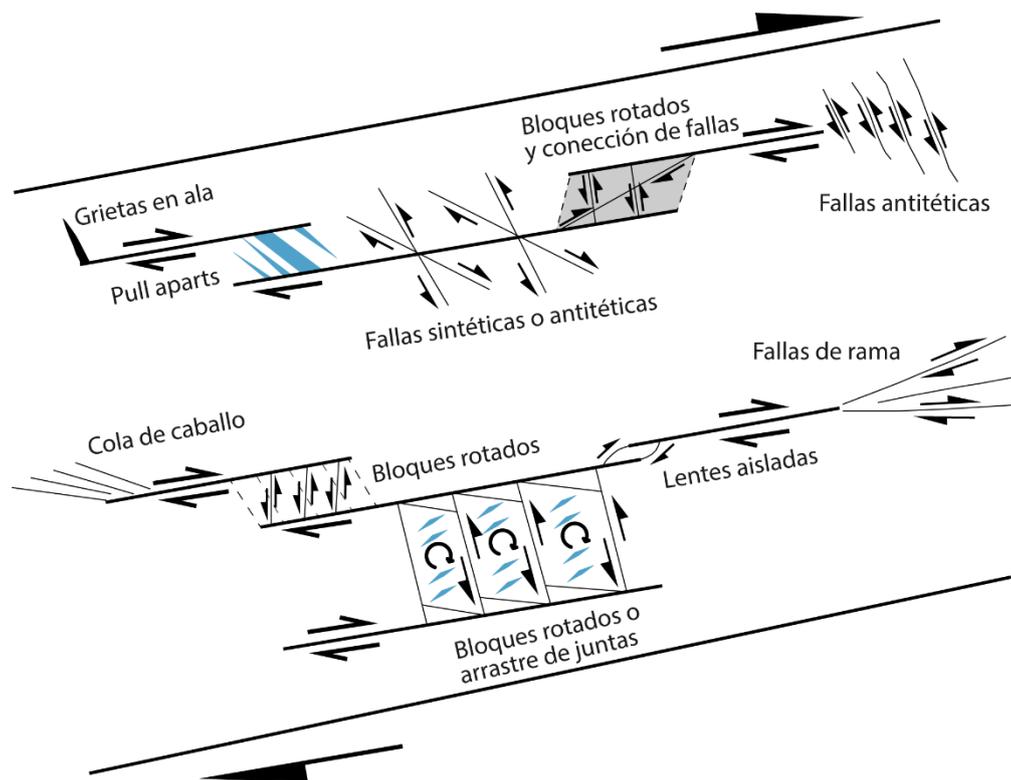


Figura 10. Diagrama que muestra las estructuras que suelen aparecer en las zonas de daños y alrededor de las fallas de rumbo (Kim et al., 2004).

2.2.6. Evolucion de Fallas normales y rampas de relevo (Relay Ramps).

La zonas de fallas normales controla la formación temprana de cuencas extensionales y crea medios grabens y bloques de fallas inclinados. Se componen generalmente de conjuntos de segmentos superpuestos y enlazados con zonas de transferencia, que transfieren el desplazamiento entre segmentos de falla que se superponen en la vista del mapa. Las zona de transferencia pueden desarrollarse entre segmentos de fallas normales superpuestas que tienen la misma direccion de buzamiento (Peacock and Sanderson, 1994).

Las estructuras de relevo (relay ramps) comprenden inicialmente un volumen de roca inclinado o deformado (la rampa) que se forma entre dos fallas normales en escalón superpuestas con la misma direccion de buzamiento. A medida que estas áreas se desarrollan en respuesta al movimiento continuo de la falla, las rampas de relevo experimentan fracturas, que se propagan perpendicularmente a través de la rampa y conectan los segmentos de falla superpuestos. Con una mayor deformación, la rampa de relevo se ve interrumpida por fallas (breaching fault), lo

que resulta en un sistema de fallas permanentemente vinculado. (Peacock and Sanderson, 1994).

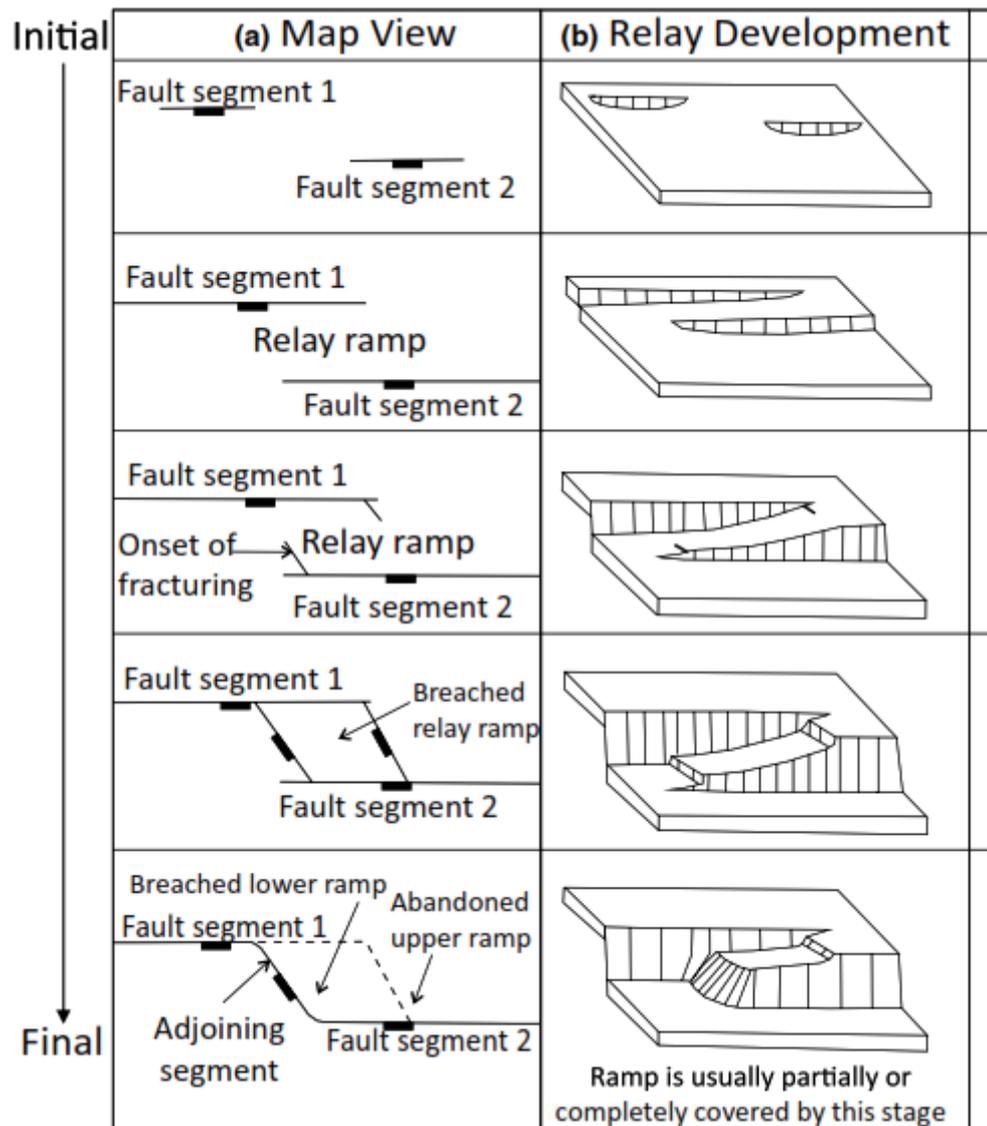


Figura 11. Desarrollo de rampas de relevo. A. Vista de mapa de las etapas de desarrollo de la estructura de relevos. B. Expresión 3D de las etapas de desarrollo de la estructura de relevos (Plenderleith et al., 2021).

Así mismo las rampas de relevo de fallas son importantes puntos de entrega de sedimentos a lo largo de los márgenes de las fisuras y, a menudo, sirven como vías de flujo persistente en cuencas sedimentarias de aguas profundas y, por lo tanto, puede tener un impacto importante en el relleno sedimentario en las cuencas (Athmer et al., 2010).

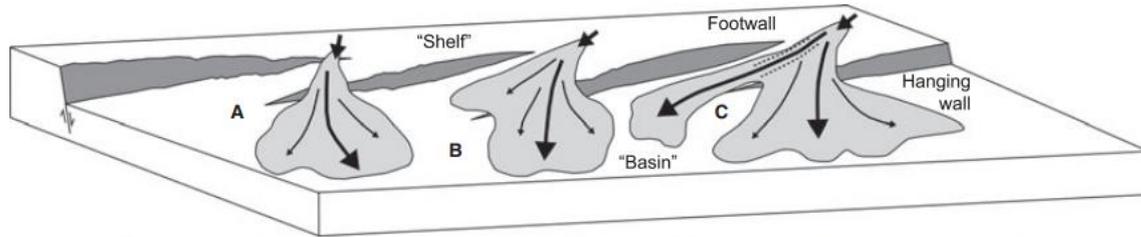


Figura 12. Esquema experimental sobre el impacto de las rampas de relevo en el relleno de cuencas: (A) con afluencia perpendicular a la rampa; (B) con afluencia oblicua e inclinación de la rampa hacia la cuenca; y (C) con afluencia oblicua, inclinación de la rampa hacia cuenca y un canal en la rampa (línea negra discontinua) (Athmer et al., 2010).

2.2.7. Cinemática de las estructuras tectónicas

2.2.7.1. Indicadores cinemáticos

La deducción del sentido de la cizalla en las superficies de falla a partir de los indicadores cinemáticos (slickensides), es un procedimiento habitual en geología estructural desde hace muchos años, especialmente en el campo de la fragilidad. Aunque estos criterios son elementos clave en diversos estudios geodinámicos (Doblas, 1988)

Los indicadores cinemáticos son rasgos de origen tectónico, que permiten determinar el sentido del desplazamiento en zonas de cizalla y fallas. Estos rasgos son visibles desde una escala microscópica hasta megascópica. Su determinación se basa en los criterios de la interpretación de microestructuras tectónicas, que aparecen a una escala mesoscópica bajo la forma de microlineamientos tectónicos e indicadores cinemáticos (por ejemplo, estrías, grooves (acanaladuras), estilolitos, fibras de cristalización, fracturas Riedel, vetillas en-echelon, lúnulas tensionales y estructuras S-C), que son evidencias del cizallamiento frágil y dúctil (Figura 13); y el criterio de la identificación de desplazamientos estratigráficos (Allmendinger, 1987; Ayala, 2021; Doblas, 1998; Van Der Pluijm & Marshak, 2004).

De manera práctica si se tiene fallas R y R', en todos esos casos el bloque que no está sube escalones, las fallas R tienen el mismo movimiento que la falla principal y las fallas R' tienen movimiento contrario (Figura 13 A); las estructuras en Media Luna el movimiento va en dirección de sus puntas; las vetillas tensionales en-echelon son paralelas a σ_1 y en dirección a su inclinación se mueve el bloque que no está (Figura 13 B), estos indicadores tienen un nivel de confiabilidad de bueno

a moderado (Doblas, 1998); las estructuras S (yacen dentro y a lo largo de las trazas de C) tienden a ser perpendicular a σ_1 , siendo esta última oblicua respecto a las estructuras C (La zona de cizalla principal) por lo que este tipo de convergencia determina el sentido del movimiento según sea el caso (Figura 13 C) (Allmendinger, 1987); las fibras de recristalización indican el movimiento del bloque que ya no está (Figura 13 D); Los stepovers o jogs son estructuras que se forman a lo largo de zonas de cizalla dextrales o sinestrales y los de sus bordes (pequeños) tienden a ser paralelos al σ_1 (Figura 13 E); y las marcas de arrastre tectónico son producidas por cantos u otros clastos, y se pueden observar bien en relieve, o bien como hendiduras asimétricas en función de la cara que se observe y tiene una confiabilidad del 100% (Figura 13 F) (Doblas, 1998).

Los indicadores cinemáticos más comunes son las fracturas tipo riedel y/o las foliaciones tectónicas. En casos más excepcionales es posible encontrar un conjunto de riedels asociados a fibras de recristalización o a estructuras S-C. Pero es muy difícil apreciar todos los indicadores sobre una misma superficie de falla.

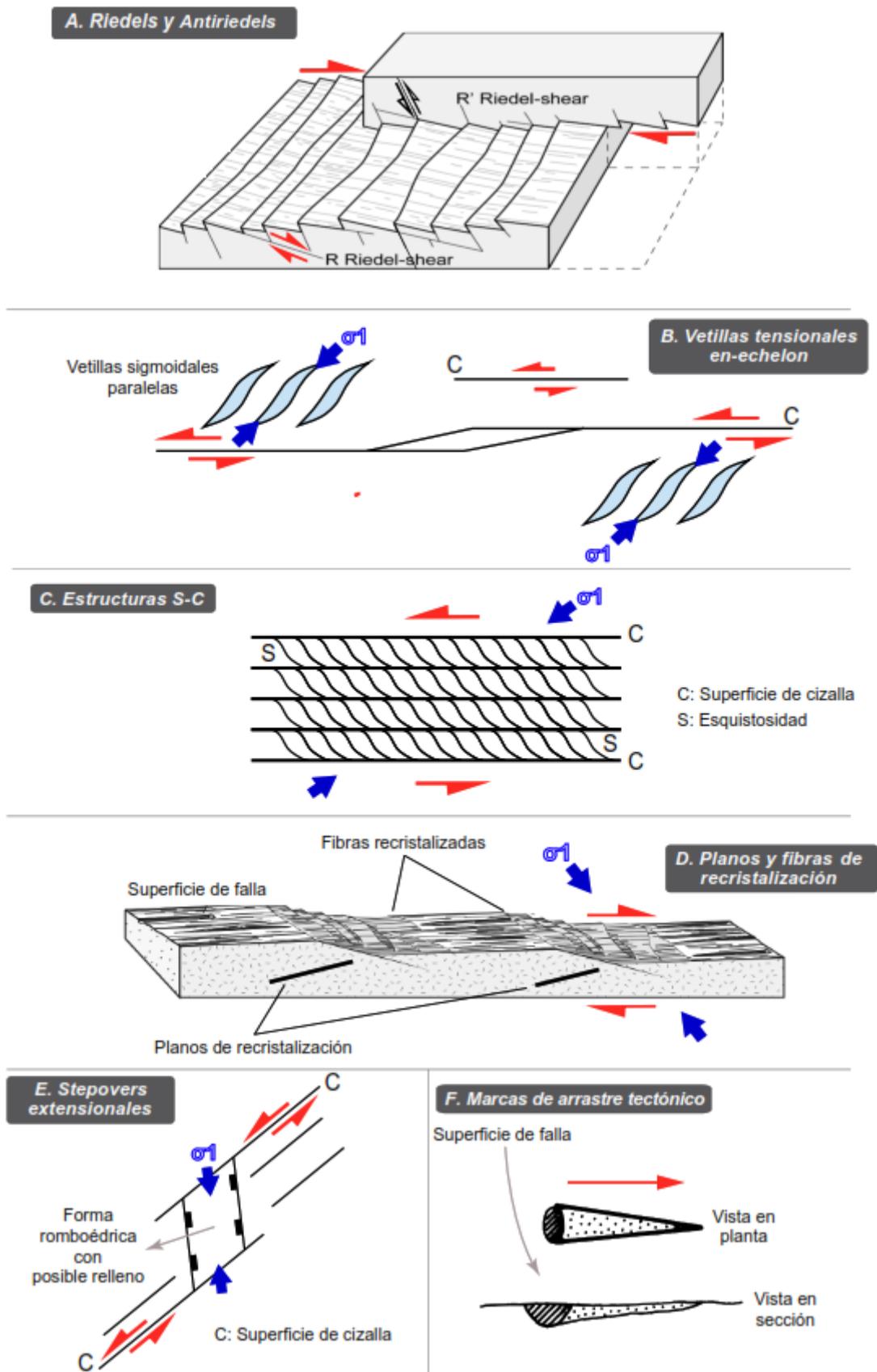


Figura 13. Indicadores cinemáticos y microlineamientos tectónicos. Allmendinger (1987), Doblas (1998). Modificado de Ayala, (2021).

2.2.7.2. Modelo dinámico de fallas de Anderson

Las fallas suelen iniciarse en pares conjugados y se forman esencialmente al mismo tiempo y bajo el mismo estado de tensión (Groshong, 2006). Las fallas conjugadas son fracturas de cizalla, formadas a $\sim 30^\circ$ respecto a σ_1 y el ángulo entre las dos fallas conjugadas (ángulo diedro) es $\sim 60^\circ$ (puntos de tangencia de la envolvente de rotura de Coulomb). La tensión principal de compresión máxima (σ_1) se ubica en la bisectriz del ángulo agudo (ángulo diedro), la menor tensión principal de compresión (σ_3), se ubica en la bisectriz del ángulo obtuso, y la tensión principal intermedia (σ_2), es paralela a la línea de intersección de las dos fallas (Figura 14A) (Fossen, 2010, 2016; Groshong, 2006; McClay, 1987; Van Der Pluijm & Marshak, 2004).

El modelo dinámico de fallas de Anderson (Anderson, 1905 y 1951), establece que sobre la superficie terrestre sólo actúan esfuerzos normales: σ_1 (esfuerzo compresional máximo), σ_2 (esfuerzo compresional intermedio) y σ_3 (esfuerzo compresional mínimo). Las fallas normales se producen cuando σ_2 y σ_3 son horizontales y σ_1 es vertical, las fallas inversas se producen cuando σ_1 y σ_2 son horizontales y σ_3 es vertical, y las fallas de deslizamiento se producen cuando σ_1 y σ_3 son horizontales y σ_2 es vertical (Figura 14 B.). Además, el buzamiento de las fallas inversas debe ser $\sim 30^\circ$, fallas normales $\sim 60^\circ$, y de las fallas de deslizamiento aproximadamente vertical.

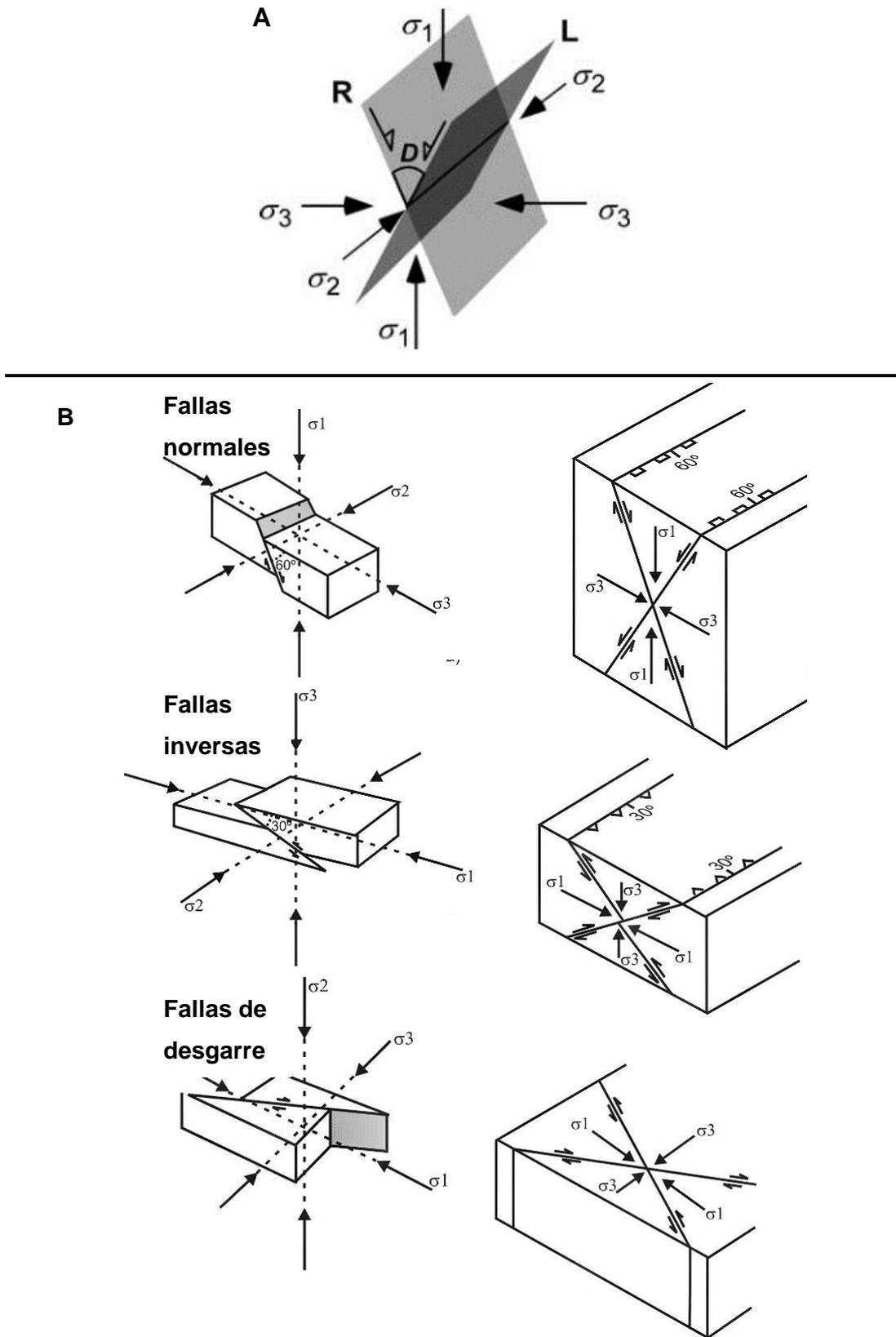


Figura 14. A. Modelo de Anderson para fallas conjugadas; D: ángulo diedro. Las tensiones principales son σ_1 , σ_2 y σ_3 ; R y L: plano de falla. B. Cinemáticas de estructuras tectónicas asociadas a estados de esfuerzos según el modelo dinámico de fallas de Anderson.

2.2.8. Compatibilidad de estructuras tectónicas

La deformación de un área puede producir una variedad de estructuras, de las cuales un tipo puede ser dominante en el régimen de deformación regional; pero todos los demás son posibles y pueden no ser anómalos en el contexto de la deformación. El reto consiste en reconocer las estructuras anómalas; aquellas que no pueden relacionarse con el régimen de deformación predominante y que deben asociarse con alguna otra parte de la historia tectónica de la región. Las estructuras producidas se dividen en dos grupos: estructuras sistemáticas, que son cinemáticamente compatibles con la deformación regional; y no sistemáticas, a menor escala que permiten acomodar incompatibilidades estructurales muy locales. Las estructuras cinemáticamente compatibles son los diferentes tipos o clases de estructuras, cada una individualmente compatible con la deformación regional, se enlazan entre sí (Holcombe, 2016)

Las geometrías y cinemáticas de fallas son consecuencia de los esfuerzos tectónicos sobre rocas o sedimentos. Bajo este contexto, las fallas normales, inversas y de rumbo pueden producirse dentro de un modelo de cizalla simple; ya sea a escala regional o local. Tal diversidad estructural tiene características propias bajo un estado de esfuerzos dado y se vincula con la orientación de σ_1 (Ramsay, 1967).

En una cizalla simple (Ramsay, 1967; McClay, 2000), las geometrías y cinemáticas de las estructuras tectónicas siguen patrones definidos respecto a la orientación del esfuerzo compresional máximo: las fallas inversas son perpendiculares al σ_1 ; las fallas normales son paralelas al σ_1 , y las de desgarre son oblicuas al σ_1 . Entonces las diferentes estructuras se pueden predecirse a partir de la comprensión de la deformación regional y la clave para interpretarlas es entender qué tipo y orientación de estructuras pueden teóricamente unirse para producir esa deformación (Figura 15).

Además, un hecho a tener en cuenta es la edad de la deformación, la que en base a edades relativas (relaciones estratigráficas) o absolutas (dataciones radiométricas) ayuda a distinguir que fallas se han producido simultáneamente con otras. Sin embargo, en la naturaleza es común que las rocas antiguas muestren superficies de falla con deformación sobreimpuesta por reactivación; por ende,

estas últimas tengan orientaciones aparentemente compatibles con otras más jóvenes, pero con una cinemática distinta.

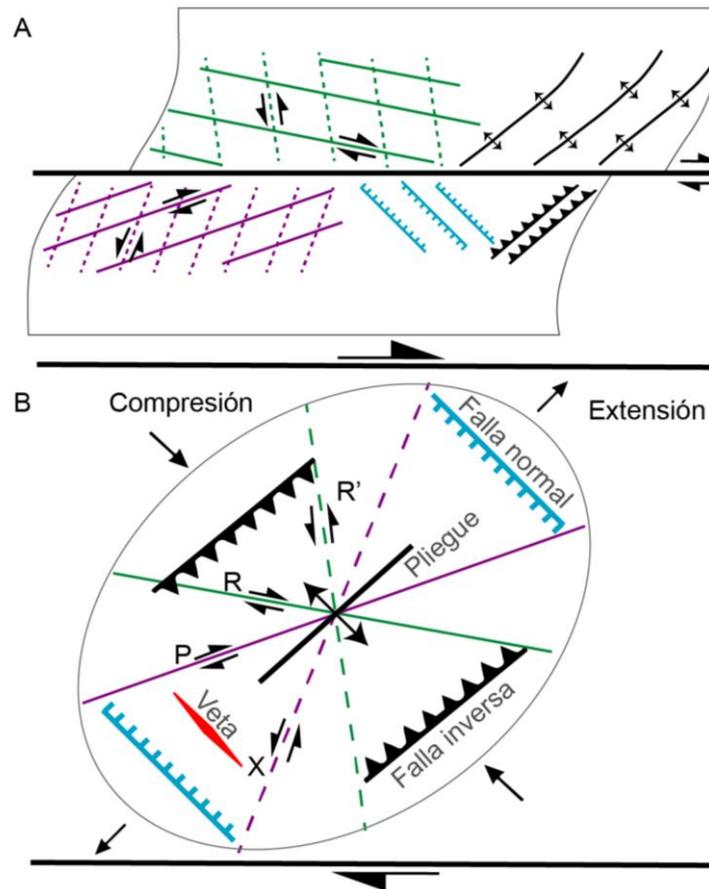


Figura 15. A. Conjuntos de estructuras que son cinemáticamente compatibles con el deslizamiento de una falla dextral. B. La relación de las mismas estructuras con la elipse de deformación que representa el deslizamiento (Holcombe, 2016)

2.2.9. Método de los diedros rectos

Es un método de análisis poblacional de fallas, consiste en estudiar este tipo de estructuras desde un punto de vista estadístico, es un método gráfico simple y más utilizado. Fue concebido por Pegoraro (1972) y difundido y aplicado mediante ordenador por Angelier y Mechler (1977) y es aplicable de forma directa, tanto a fallas, como a mecanismos focales de terremotos. Mediante el trazado, en proyección estereográfica, de un plano auxiliar perpendicular a la estría, la región en torno a una falla queda dividida en cuatro cuadrantes. El esfuerzo principal mayor (σ_1) queda contenido en los diedros de compresión (color oscuro), y el menor (σ_3) en los de extensión (Casas Sainz et al., 1990; De Vicente et al., 1992). (Figura 16). Si el estado de esfuerzos bajo el que se mueven todas las fallas de una

estación es el mismo, σ_1 debe de estar situado en la intersección de los diedros de compresión de todas las fallas y σ_3 en la intersección de los diedros de tensión. Cuando se analiza una población de fallas se suman las áreas de los cuadrantes en compresión y en extensión de cada una de las estructuras, hallando de este modo los campos compatibles en compresión y extensión para toda la población. El resultado se expresa mediante un diagrama en proyección estereográfica (De Vicente et al., 1992)

Procedimientos de los diedros rectos.

Para el uso de este método en estereogramas, se debe medir los parámetros característicos de cada falla, como el rumbo y buzamiento del plano de falla, orientación de la estría y determinar el sentido de movimiento. La metodología se describe a continuación:

- Se grafica el plano de falla (F) a lo largo de un círculo mayor de acuerdo a su rumbo y buzamiento, así mismo se localiza el polo de la falla, y se indica la cinemática.
- Se ubica la estría como un punto en el plano de la falla, la cinemática se observa sobre la estría proyectada por medio de una flecha cuya dirección indica el movimiento del bloque techo, además apuntan hacia el eje de extensión
- Luego sobre el plano de la falla, se localiza al σ_2 (a 90° de la estría), y se une el polo de la falla y el punto σ_2 , según el círculo mayor que corresponde al plano auxiliar; de esta manera se obtiene los cuatro diedros rectos.
- Dependiendo del sentido de movimiento de la falla, un par de cuadrantes opuestos delimita la posible orientación de σ_1 (diedro en compresión), y el otro par, la de σ_3 (diedro en extensión).
- Se traza un plano en los círculos mayores, que viene a ser la unión del polo de la falla y la estría; este plano alberga en su recorrido a σ_1 y σ_3 , por su parte el σ_1 se encuentra a 45° del polo de la falla dentro del diedro en compresión superior mientras que el σ_3 del polo de la falla en extensión.
- y para determinar la dirección de Compresión principal se debe trazar la línea que une al centro de la falsilla con el eje del σ_1 .

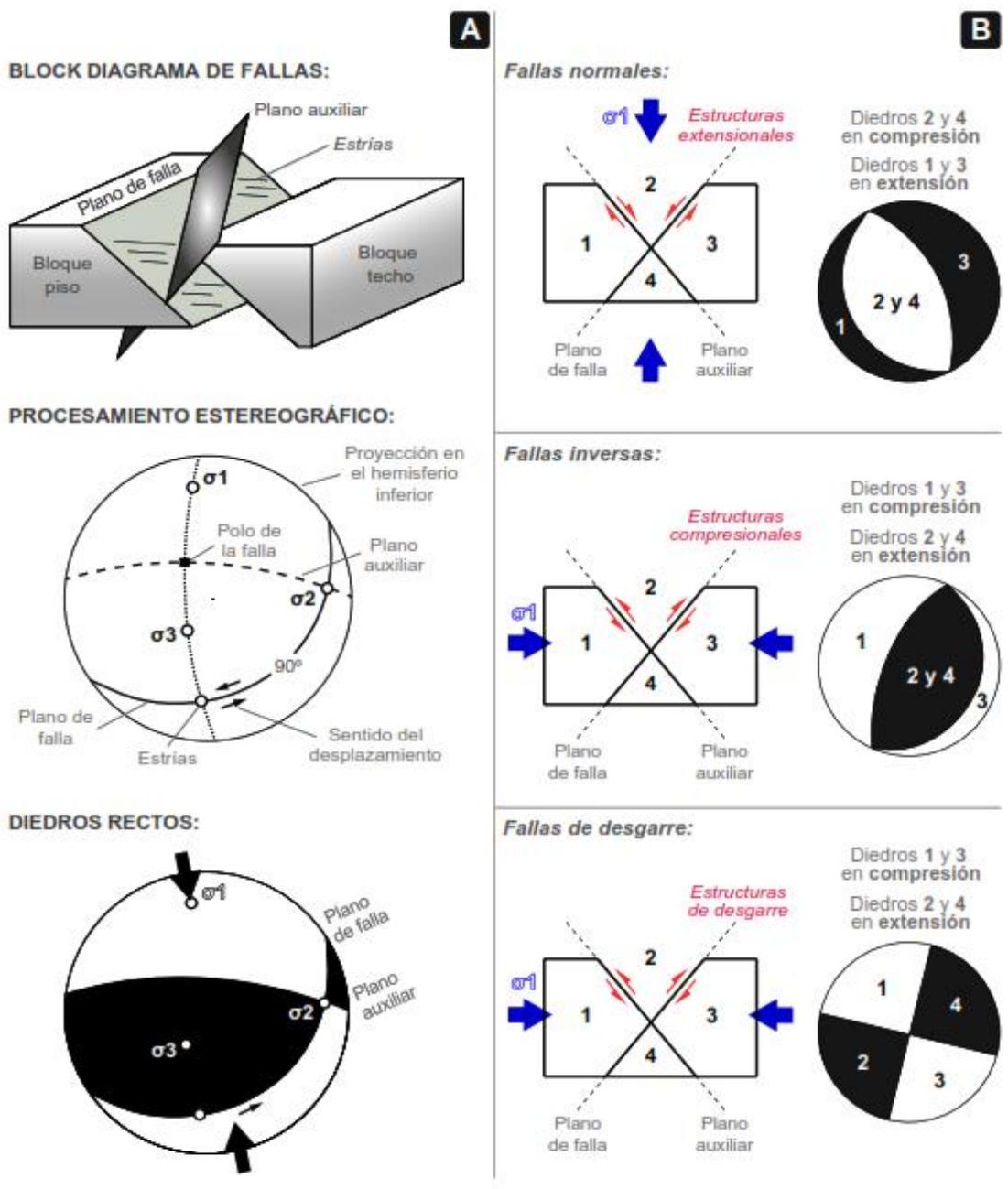


Figura 16. A: Método de los Diedros Rectos empleado para el análisis estructural dinámico de fallas. B: Las mejores interpretaciones se obtienen utilizando los modelos de Anderson (1905 y 1951) y de Ramsay (1967). Allmendinger (1987).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Análisis mesoestructural: escala a muestra de mano o escala de afloramientos puede realizarse mediante el estudio de poblaciones de fallas, diaclasas, picos estilolíticos, cantos estriados (Ramsay y Huber, 1983).

Ángulo de cabeceo (Pitch o rake): El ángulo de en el plano de buzamiento entre la estructura lineal y la dirección o rumbo. (Structures, 2016)

Cinemática: Sentido del movimiento tectónico de una falla (Doblas, 1998)

Compatibilidad tectónica: Situación en la que múltiples estructuras son contemporáneas independientemente de sus geometrías y cinemáticas. (Holcombe, 2016)

Cuenca intracordillerana: Es una depresión activa controlada por la tectónica (fallas activas) y que se establece en el seno de macizos montañosos y generalmente son de origen continental. Estas cuencas son diferentes a las cuencas de ante arco y antepaís (Marocco et al., 1993)

Deformación: es un cambio de forma y cada tipo estructural (fractura, vena, falla, pliegue, clivaje, cizalla, etc.) refleja algún aspecto de ese cambio de forma (Holcombe, 2016)

Estilo estructural: Es el aspecto distintivo de un conjunto de estructuras, que a menudo ocurren juntas debido a un origen en común. (Fossen, 2016)

Extensión: Deformación tectónica de carácter divergente (distensional) (Van Der Pluijm & Marshak, 2004)

Geometría: Son las formas y la disposición relativa de las estructuras geológicas, y sus relaciones espaciales con otras estructuras geológicas. (Hatcher, 2020)

Proyección Estereográfica: Es un artificio geométrico mediante el cual podemos expresar elementos que tienen tres dimensiones en un plano; cuestión que favorece la comunicación y el cálculo gráfico en las disciplinas geológicas. (Babin, 2010).

Paleoesfuerzo: Es una rama de la geología estructural cuyo objetivo es caracterizar los sistemas de esfuerzos que actuaron en el pasado a partir de su registro en estructuras de deformación, singularmente a partir de datos de deslizamiento de fallas (Simon, 2019).

Rampa de relevo: Zona de estratificación reorientada entre dos fallas normales que se superponen en el mapa y que tienen la misma dirección de buzamiento (Peacock y Sanderson, 1994).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Ubicación geográfica

La Cuenca de Namora, está ubicada en la parte septentrional de la cordillera occidental de los Andes Peruanos. El área de estudio se encuentra en la parte Noroeste de la Cuenca, en la región Cajamarca. Según la proyección UTM, está ubicada en la zona 17 sur (17S), sus coordenadas fueron tomadas en el sistema WGS-84; y se presentan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 1. Vértices en coordenadas UTM - WGS 84 que delimitan la Zona de estudio.

COORDENADAS		
VÉRTICE	ESTE	NORTE
1	795776	9205585
2	795776	9201300
3	790447	9201300
4	790447	9205585

3.1.2. Ubicación política

El área de estudio políticamente abarca la parte Norte del Distrito de Jesús, la parte Este del Distrito de Llacanora y la parte Noroeste del Distrito de Namora. Estos tres Distritos pertenecen a la Provincia y Región de Cajamarca (Figura 17).

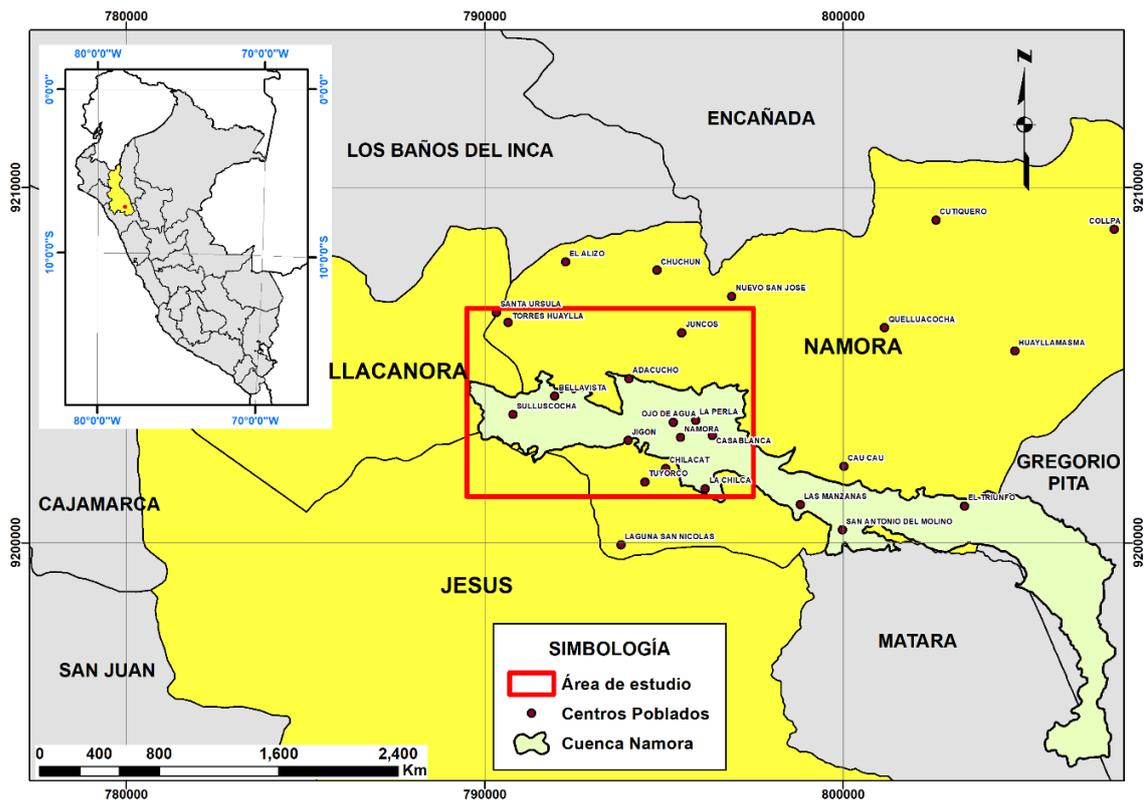


Figura 17. Ubicación política del área de estudio.

3.1.3. Accesibilidad

Para el acceso al área de estudio se cuenta con dos vías asfaltadas; la primera desde Cajamarca, Iscoconga y Namora; y la segunda también desde Cajamarca, Baños del Inca, Llacanora y Namora (Figura 18). En la Tabla 2 se especifica el tipo de vía, distancia y tiempo aproximado.

Tabla 2. Vías de acceso a la zona de estudio.

RUTA	RECORRIDO	TIPO DE VÍA	DISTANCIA (Km)		TIEMPO (min)	
			Parcial	Total	Parcial	Total
1	Cajamarca – Iscoconga	Asfaltado	7	27	15	55
	Iscoconga - Namora	Asfaltado	20		40	
2	Cajamarca – Baños del Inca	Asfaltado	4.3	28.1	7	57
	Baños del Inca - Llacanora	Asfaltado	6.8		15	
	Llacanora - Namora	Asfaltado	17		35	

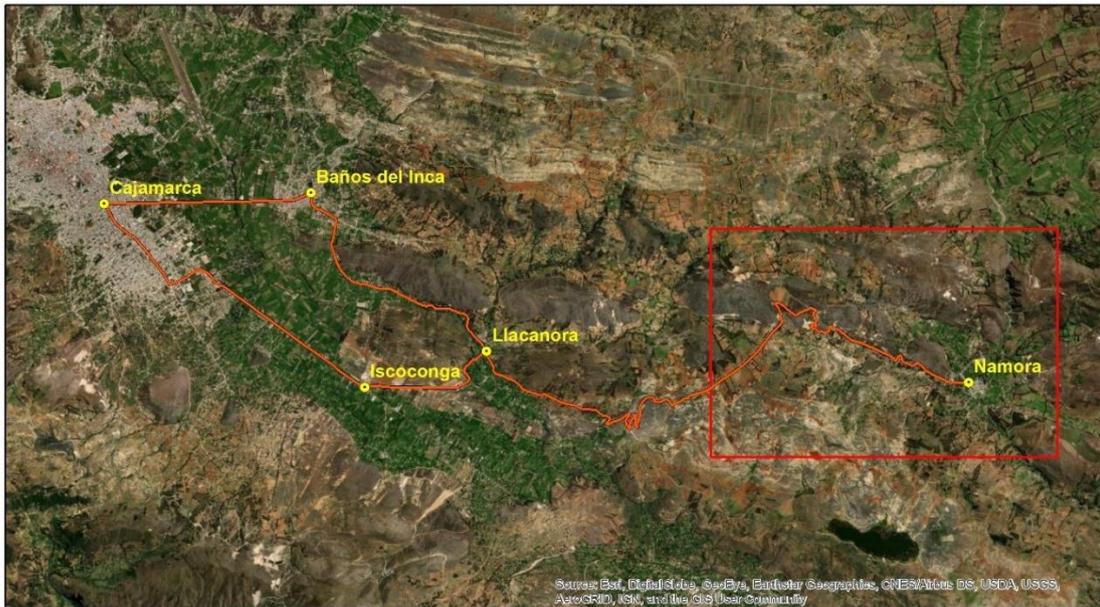


Figura 18. Imagen satelital, que muestra la accesibilidad al distrito de Namora.
Fuente: Imagen satelital de SAS Planet, 2022.

3.2. PROCEDIMIENTOS

El desarrollo de la presente investigación se centra en tres etapas secuenciales, estas incluyen la etapa de gabinete que empieza con la recopilación bibliográfica, etapa de campo y finalmente la etapa de procesamiento de datos en gabinete.

3.2.1. Etapa de gabinete:

Esta etapa fundamental de la investigación consistió en la recopilación bibliográfica de libros, informes, publicaciones de artículos científicos, boletines del INGEMMET y journals relacionados al problema de estudio.

También, se realizó la recopilación de información del cartografiado geológico, mapas topográficos y secciones geológicas; la referencia regional, es la hoja 15-g4 del cuadrángulo de San Marcos, que se encuentra a escala 1:50,000, realizado por el INGEMMET; y además los estudios de Barbarita, (2014) y Vega, (1991). Estos datos preliminares han permitido realizar los planos temáticos; y con ello obtener un buen conocimiento geológico – estructural del área antes de realizar los trabajos de campo. Las salidas a campo se planificaron mediante Google Earth, tomando en cuenta zonas de afloramiento y accesibilidad.

3.2.2. Etapa de campo

Esta etapa comenzó con el cartografiado geológico y estructural, a una escala de 1:10,000, para el cual se ha seguido transectos de quebradas, cortes de carretera y crestas; donde se realizó la observación, descripción y toma de datos estructurales de fallas, estratos, fracturas y pliegues; contactos litológicos y toma de fotografías.

Las estructuras tectónicas han sido descritas de acuerdo a su orientación, geometría, cinemática y edad relativa de cada una de ellas. Para la orientación se realizó la medición de azimut, buzamiento y pitch, de acuerdo a la regla de la mano derecha (Figura 19), estos datos han sido ploteados en la red estereográfica de Schmidt para la interpretación en campo; para la geometría se ha tenido en cuenta las redes de fallas, enlaces de falla, terminaciones, sistema de fallas conjugadas, sistema de falla tipo riedel, persistencia, relleno y apertura, además de los productos de las fallas (gouge y brecha); la cinemática, se determinó mediante observaciones relacionadas a lineaciones (estrías, fibras de recristalización, orientación de la falla) y al movimiento en los que se incluye el sentido (deslizamiento, rumbo), dirección (normal, inversa, dextral y sinistral) y magnitud (m/cm) de desplazamiento, además, se determina la confiabilidad de los datos desde alta, moderada y baja; y la edad relativa se realizó mediante observaciones relacionadas a litologías afectadas, relaciones de corte, sistema de falla y pliegues. Estos datos estructurales son resumidos en estaciones estructurales, complementado con el cartografiado geológico estructural.

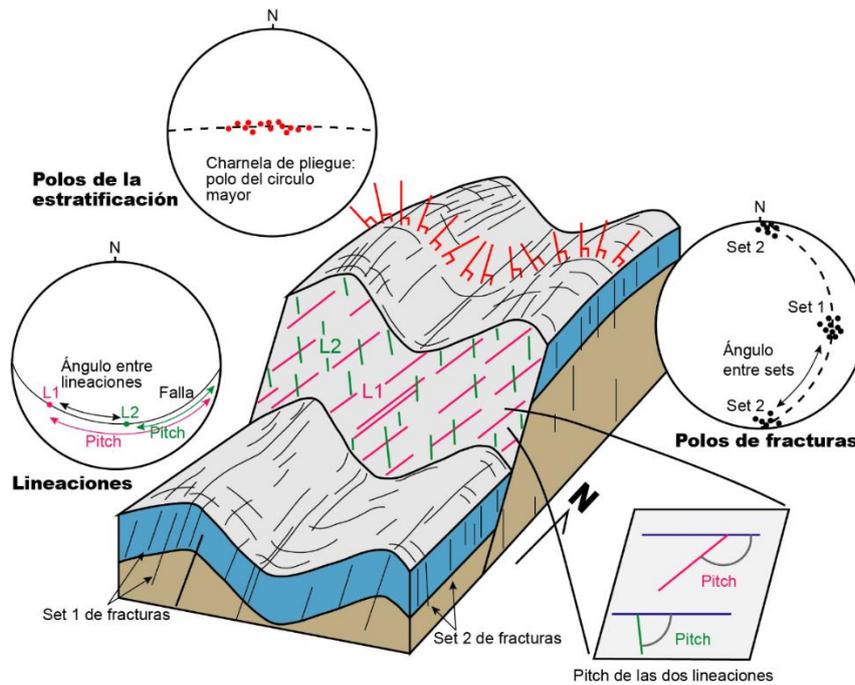


Figura 19. Bloque-diagrama de los datos estructurales y estereografía de los tomados en una estación estructural. Modificado de Fossen, (2016)

3.2.3. Etapa de procesamiento de información

Esta etapa consiste en la digitalización e interpretación del cartografiado geológico-estructural de campo. Para ello los datos de campo se trasladaron a los softwares Microsoft Excel y ArcGIS, para elaborar el plano geológico-estructural. Mediante el software de Leapfrog Geo, se procede a integrar las diversas informaciones obtenidas de ArcGis, tales como Modelo digital de elevación (curvas de nivel a 12 metros) y plano geológico final.

Con toda esta información se procede elaborar 2 secciones estructurales, en los cuales se proyectaron: topografía, bases y toques de los contactos litológicos, geometrías y cinemáticas de estructuras tectónicas. La profundidad de interpretación se generó teniendo en cuenta el relleno de la cuenca. Todos estos procedimientos nos permiten mostrar el estilo estructural de la Cuenca Namora.

3.2.4. Metodología

El tema de investigación es de tipo cualitativa - cuantitativa, ya que se van a describir las características de las estructuras tectónicas, además de la medición de los datos geométricos para realizar la interpretación poblacional. El nivel es

Descriptivo, porque se realiza mediante la observación y descripción de las características litológicas y estructurales; correlacional ya que se correlaciona a la dirección de paleoesfuerzos con los eventos tectónicos regionales y explicativo, porque se explica el estilo estructural de la cuenca. El diseño es No Experimental de campo, porque el estudio se realiza sin manipulación de las variables; ya que se basa en la observación directa de las estructuras tectónicas y poder analizar en base a ello. La finalidad es Aplicativa, porque se utilizaron conocimientos teóricos ya existentes para determinar la cinemática de las estructuras, lo que determinó la orientación de esfuerzos tectónicos principales. La siguiente tabla sintetiza la metodología utilizada.

Tabla 3. Clasificación de la investigación

CLASIFICACIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Tipo	Cualitativa-Cuantitativa
Nivel	Descriptivo-correlacional-explicativo
Diseño	No experimental de campo
Finalidad	Aplicativa

Fuente: Adaptado de Supo (2016).

3.2.5. Población de estudio

Es el conjunto de estructuras tectónicas del Noroeste de la cuenca de Namora, que abarca 22.8 km² de área.

3.2.6. Muestra

Pliegues, fallas, diaclasas, estratos, indicadores cinemáticos del Noroeste de la Cuenca de Namora.

3.2.7. Unidad de análisis

Son las mediciones de rumbos y buzamientos de las estructuras tectónicas, también mediciones de rake de los indicadores cinemáticos.

3.2.8. Definición de variables

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

Tabla 4. Identificación de variables.

Variables Independientes	Variable dependiente
Estructuras Tectónicas	Estilo estructural.
Paleoesfuerzos	
Indicadores cinemáticos	

3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas, se basan en el análisis de imágenes satelitales para determinar lineamientos estructurales y con ello planificar los trabajos de campo, tomando en cuenta además a las zonas de afloramiento y accesibilidad. La recolección de datos en campo es a partir del cartografiado geológico-estructural, donde se va a identificar los diferentes tipos de estructuras tectónicas, valiéndonos de indicadores de deformación y desplazamiento, así como la relación de dependencia y temporalidad de estructuras tectónicas. Los datos estructurales (azimut, buzamiento y rake) serán medidos haciendo uso de la brújula Brunton, la toma de las coordenadas con GPS en el sistema UTM Datum WGS-84 y finalmente la toma fotográfica para evidencia del trabajo en campo y una mejor referencia del área.

3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Para el desarrollo de las diferentes etapas de la investigación se han utilizado equipos e instrumentos los cuales se detalla a continuación:

a) Equipos e instrumentos para el campo

- Brújula Brunton, para medir la orientación e inclinación de las estructuras planares, lineales primarias y secundarias tectónicas.

- GPS (Navegatorio), para ubicar las coordenadas en el Sistema UTM de las características geológicas.
- Lupas de 20X, para realizar la descripción macroscópica de las rocas.
- Picota de geólogo, para la extracción de muestras petrográficas.
- Cámara Fotográfica, usado en el registro fotográfico de los afloramientos.
- Protáctor: para ubicar los buzamientos, rumbos y escalas en los planos.
- Libreta de campo, para registrar los datos estructurales y gráficos
- Imágenes satelitales, para identificar y ubicar los afloramientos y estructuras.
- Colores, lápices; usados principalmente para diferenciar y ubicar en el plano los tipos de estratos, la litología, las diferentes estructuras.
- Mapa geológico del cuadrángulo de San Marcos hoja 15-g4, escala 1: 50,000.
- Planos topográficos, a escala 1:25,000.

b) Equipos y materiales para gabinete

- Papel bond
- Laptop
- Impresora

c) Softwares utilizados

- ArcGis v10.5: Utilizado para la digitalización de planos.
- Microsoft Office (Word, Excel, Power Point), para la edición, presentación y procesamiento de la data recolectada en campo.
- Faulking y stereonet: Utilizado en el análisis estadístico de datos estructurales.
- Adobe Illustrator, para la edición de fotografías y gráficos.

3.5. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.5.1. Geología local

En el área afloran las Unidades Litoestratigráficas del Grupo Goyllarisquizga; del Cretácico Inferior. Formando el basamento de la Cuenca se tiene a la Formación Chimú Santa, Carhuaz, Farrat, Inca y Chúlec. El relleno de la Cuenca está compuesto por las secuencias proximales y distales de la Formación Condebamba,

con niveles de conglomerados en la base y arcillitas, arenas y diatomitas hacia el techo.

3.5.1.1. Grupo Goyllarisquizga

3.5.1.1.1. Formación Chimú (Ki-chi)

La mayor parte de la Formación Chimú se encuentra cubierto por el material del relleno de la Cuenca y por depósitos cuaternarios, es por ello que solo se observa en la base de la Quebrada Huacamayo. Litológicamente está compuesta por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso. Esta Formación ha sido identificada netamente por posición estratigráfica, con la Formación Santa hacia el techo.



Figura 20. Secuencias de areniscas Cuarzosas de la Formación Chimú, observado en la quebrada Huacamayo. N. 9203421, E. 792870 y Z. 2833.

3.5.1.1.2. Formación Santa (Ki-sa)

Aflora al oeste del caserío Bellavista y en la quebrada Huacamayo. Litológicamente está compuesta por una intercalación de areniscas grises, limolitas amarillentas,

arcillitas carbonosas, areniscas calcáreas y calizas margosas. Constituye la base de la cuenca y se encuentra en discordancia con las secuencias de diatomitas de la Cuenca.

Esta unidad litoestratigráfica suprayace a la Formación Chimú e infrayace a la Formación Carhuaz. Sus características litológicas y paleontológicas sugieren que se formó en un ambiente marino de poca profundidad y un proceso transgresivo final evidenciado en el aumento de carbonatos.



Figura 21. A. Afloramiento de las arcillitas carbonosas de la Formación santa, observado en la Quebrada Huacamayo, en contacto discordante con Diatomitas de la cuenca. N. 9203305, E. 792650, Z. 2831. B. Arcillitas carbonosas de la Formación Santa observado al oeste del caserío Bellavista. N. 9203864, E. 791564, Z. 2884.

3.5.1.1.3. Formación Carhuaz (Ki-ca)

Esta Formación aflora hacia la parte Noroeste, así mismo en las inmediaciones de la Laguna Sulluscocha; margen izquierdo de la carretera a Namora y además se extiende por todo el borde sur de la Cuenca. Esta Formación, constituye la mayor parte del basamento de la Cuenca. Litológicamente está compuesta por una secuencia de areniscas de grano fino con tonalidades rojizos, violáceos y verdosos, intercaladas con limolitas amarillentas y arcillitas grises y violáceas.

Esta unidad litoestratigráfica corresponde al Periodo del Cretácico inferior, probablemente de edades Valanginiano superior, Hauteriviano y Barremiano. Es de ambiente continental y probablemente cerca de una zona transicional de climas húmedos y cálidos. (Aldana, M., 2008)

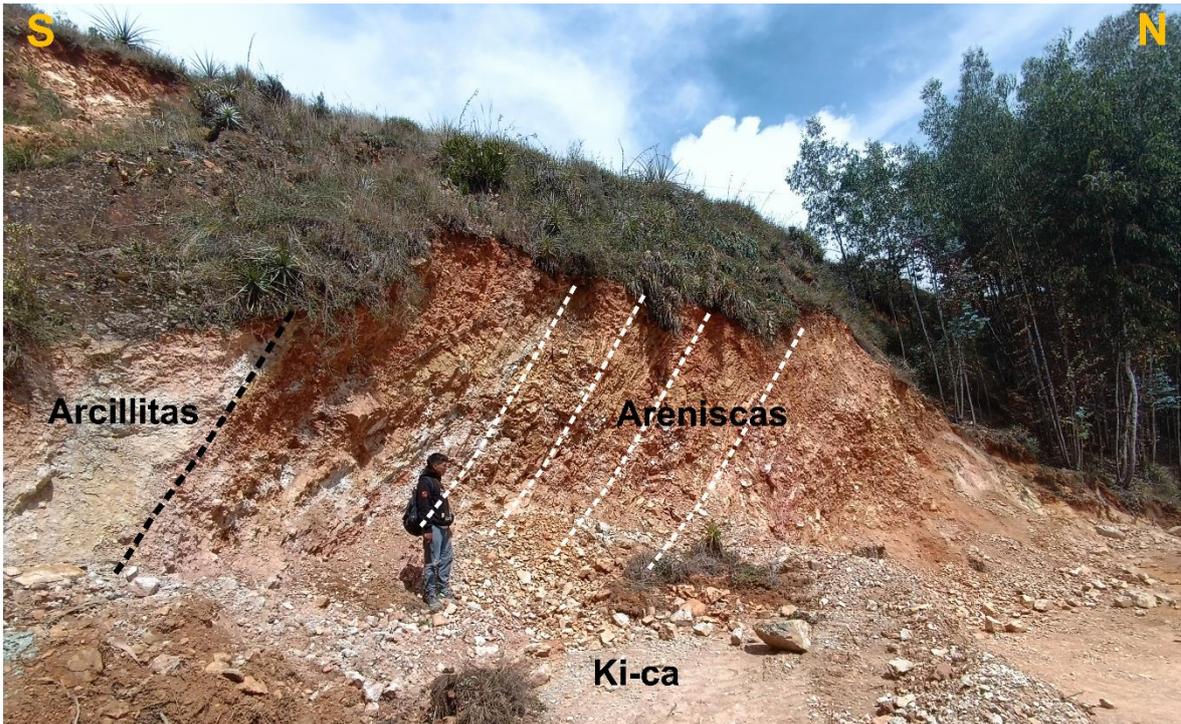


Figura 22. Estratos de areniscas con tonalidad rojizas, intercaladas con arcillitas. Observado en el caserío Sulluscocha. N. 9203379, E. 791428, Z. 2950.

3.5.1.1.4. Formación Farrat (Ki-fa)

Esta Formación aflora ampliamente en el área de estudio, ya que se observan en el borde norte y sur de la Cuenca Namora. En el borde norte es donde tienen mayor exposición, donde se observa desde el Sulluscocha hasta Namora. Litológicamente está compuesta por areniscas cuarzós blanquecinas de grano medio a grueso, con presencia de estructuras sesgadas y laminaciones con superficies amarillentas. Los espesores de los estratos varían de 10 a 40 cm hacia la parte inferior y hacia la parte superior varían de 15 a 60 cm.

Esta unidad litoestratigráfica pertenece al Periodo del Cretácico inferior de edad Barremiano superior – Aptiano inferior a medio. Es de un ambiente litoral – deltaico (Reyes, 1980). Suprayace a la Formación Carhuaz e infrayace a la Formación Inca.

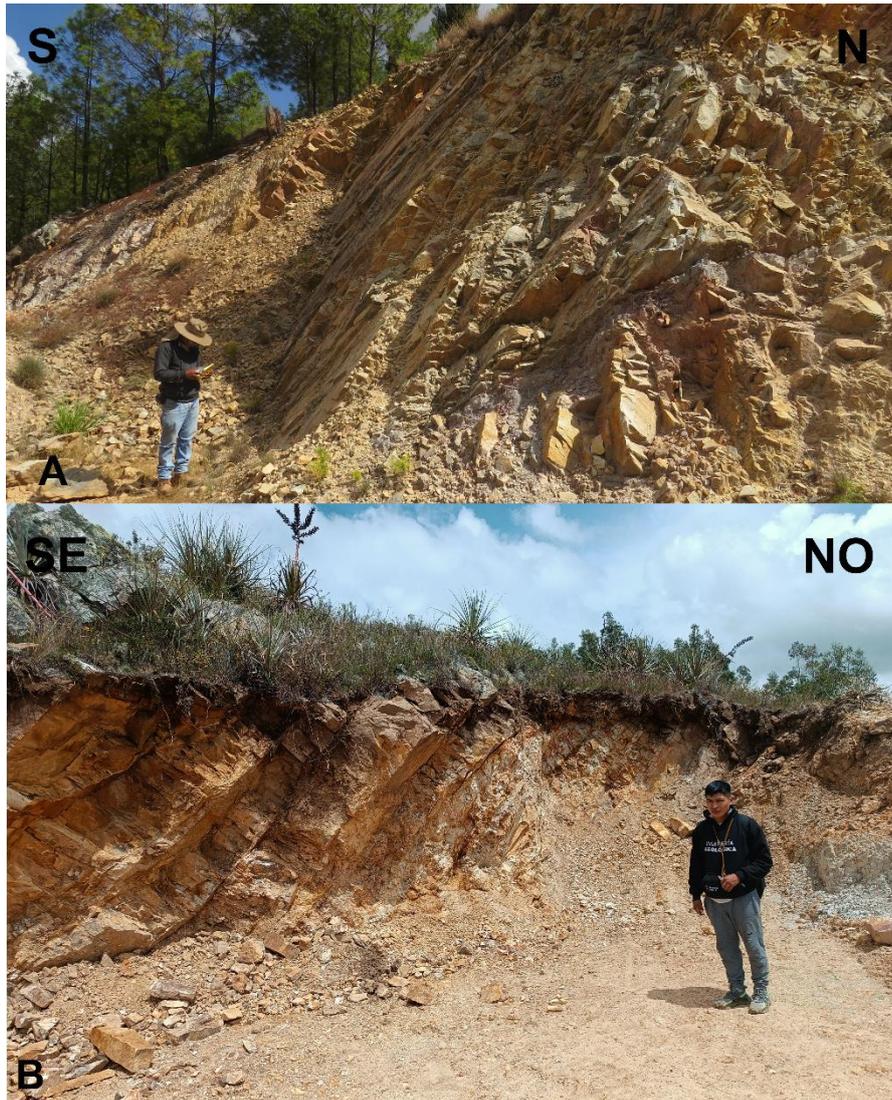


Figura 23. A. Afloramiento de areniscas blanquecinas, con estructuras segadas de la Fm. Farrat, observado en el borde norte de la cuenca. B. Afloramiento de areniscas blanquecinas, con delgados niveles de arcillitas; borde Sur de la Cuenca.

3.5.1.1.5. Formación Inca (Ki-in)

Esta Formación aflora en el borde Sur de la Cuenca Namora; litológicamente está compuesta por areniscas, arcillitas y limolitas ferruginosas, dando en superficie una tonalidad rojiza a pardo amarillento. Esta unidad litoestratigráfica también se encuentra parcialmente cubierta por Diatomitas.

Esta unidad litoestratigráfica pertenece al Periodo del Cretácico inferior de edad Aptiano Superior - Albiano Inferior; y corresponde a un ambiente transicional. Esta Formación infrayace concordantemente a la Formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la Formación Farrat (Reyes 1980).

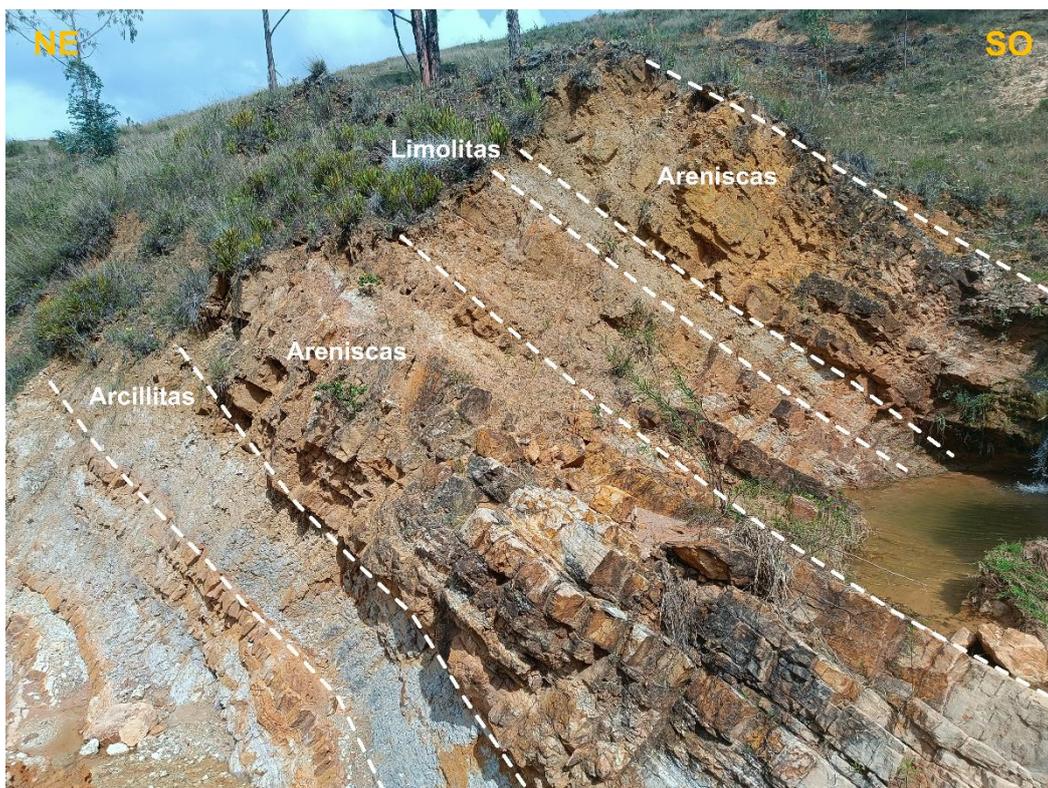


Figura 24. Afloramiento de areniscas, arcillitas y limolitas de la Formación Inca; observado en la Quebrada Huacamayo, borde Sur de la Cuenca, N. 9202772, E. 791856, Z. 2949.

3.5.1.2. Grupo Crisnejas

3.5.1.2.1. Formación Chúlec (Ki-chu)

Esta Formación aflora en el borde sur de la Cuenca Namora. Litológicamente está compuesta por una secuencia calcárea formada por una intercalación de calizas arenosas, arcillitas y margas, con abundante presencia de fósiles. Esta Formación es fácil de distinguir debido a que, en el campo, por el intemperismo, presenta una superficie color crema-amarillento. Esta unidad litoestratigráfica está en discordancia a los afloramientos de diatomitas, intercaladas con tobas volcánicas. Esta Formación es de edad Albiano inferior a Albiano Medio; y Suprayace concordantemente a la Formación Inca e infrayace con la misma relación a la Formación Pariatambo. Corresponde a un ambiente es de aguas someras poco profundas de Zona litoral a sublitoral, (Aldana, 2012).



Figura 25. A. Afloramiento de calizas fosilíferas, en el borde Sur de la Cuenca, N. 9202317, E. 791732, Z. 3030. B. discordancia entre las calizas y Diatomitas, observado en la Quebrada Huacamayo, N. 9202488, E. 791675, Z. 2998.

3.5.1.3. Mioceno

3.5.1.3.1. Formación Condebamba (N-Con)

Litológicamente está compuesta por dos ambientes sedimentarios:

En la base se tiene una secuencia proximal de tipo fluvio lacustre, localizado en el borde norte de la cuenca, de aproximadamente 100 m de espesor como máximo y se puede apreciar en las proximidades de la carretera a Namora. Forma una franja de orientación E-W de aproximadamente 500 metros de ancho, instalado al pie del escarpamiento de la falla principal.

Está formada por una secuencia fluvial, cuya base está constituido por conglomerados ligeramente estratificados de cantos rodados, con estructuras lenticulares. Esta secuencia es grano decreciente, ya que hacia la parte superior se tiene areniscas, limolitas y arcillitas en menor proporción. Estos últimos niveles traducen la influencia del medio lacustre.

En la parte superior se tiene una secuencia distal de 200 metros; cuya base está constituida por una intercalación de areniscas, limolitas y arcillitas ligeramente estratificadas. La parte media está constituida por areniscas abigarradas y blancas muy deleznales, interestratificados con escasos lentes de conglomerados. La parte superior está formada por una secuencia areniscosa deleznable, intercalada con niveles métricos de arcillitas, restos carbonosos de plantas y bancos de diatomitas. Finalmente, el tope está compuesta por arcillitas y calizas lacustres, donde se intercalan localmente niveles de areniscas finas y limolitas.

Interpretación sedimentológica:

La presencia de niveles de conglomerados lenticulares, areniscas de grano grueso, con clastos redondeados a subredondeados en las márgenes de la cuenca, nos indica un medio fluvio lacustre para la base de la Formación Condebamba. La presencia de areniscas, limolitas, arcillitas, calizas y diatomitas bien estratificadas y ubicadas en la parte central de la cuenca nos indica un ambiente de sedimentación lacustre (Robles, 1991; Bellier, et al., 1988 y Fourtanier, et al., 1993).

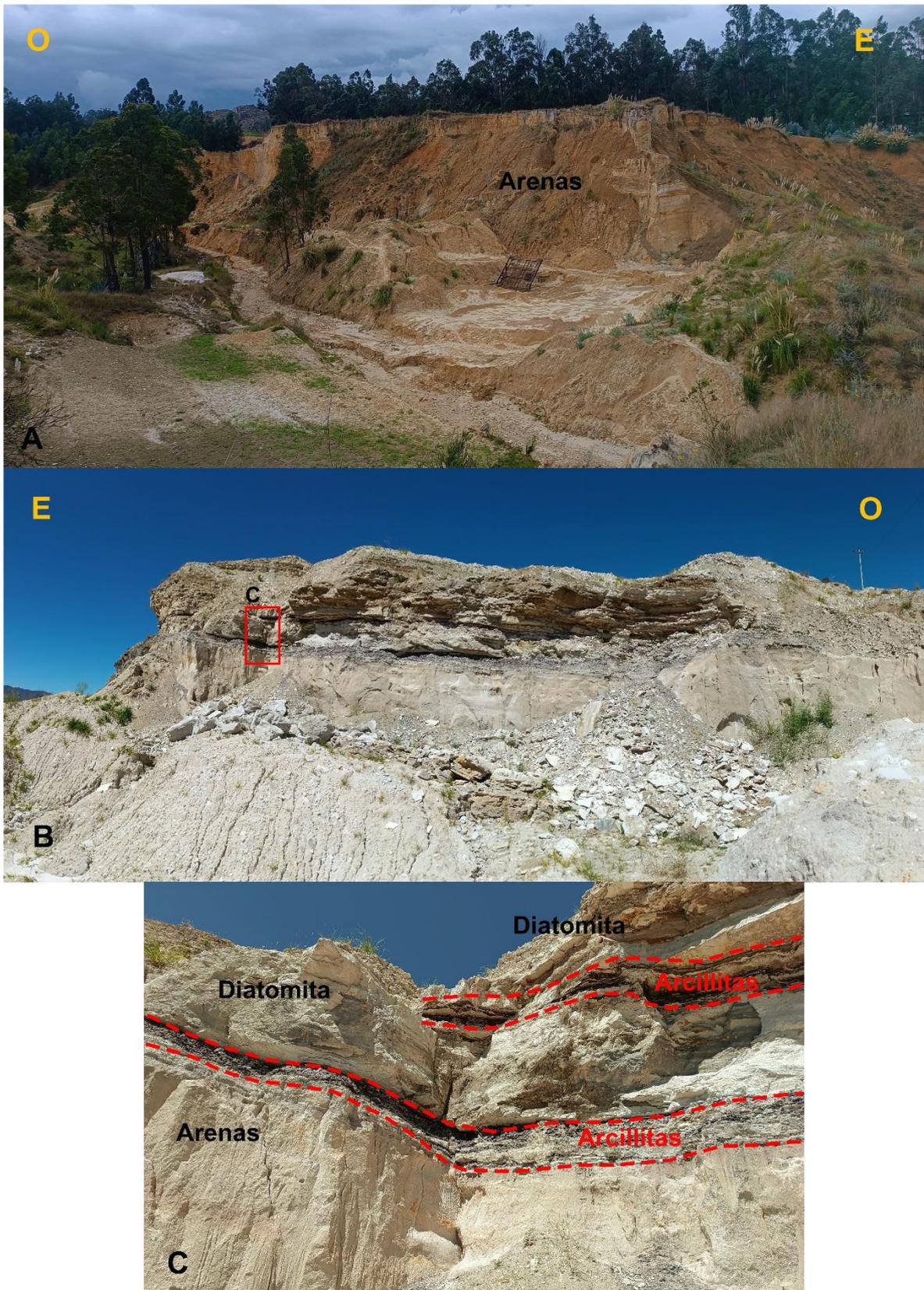


Figura 26. A. Vista panorámica de los niveles de conglomerados y arenas que muestran la influencia de un medio Fluvial, como base de la Formación, N. 9203812, E. 792458, Z. 2850. B. Vista panorámica de las secuencias de arcillitas y diatomitas que muestran un ambiente lacustre, como techo de la Formación, N. 9203640, E. 792404, Z. 2852.

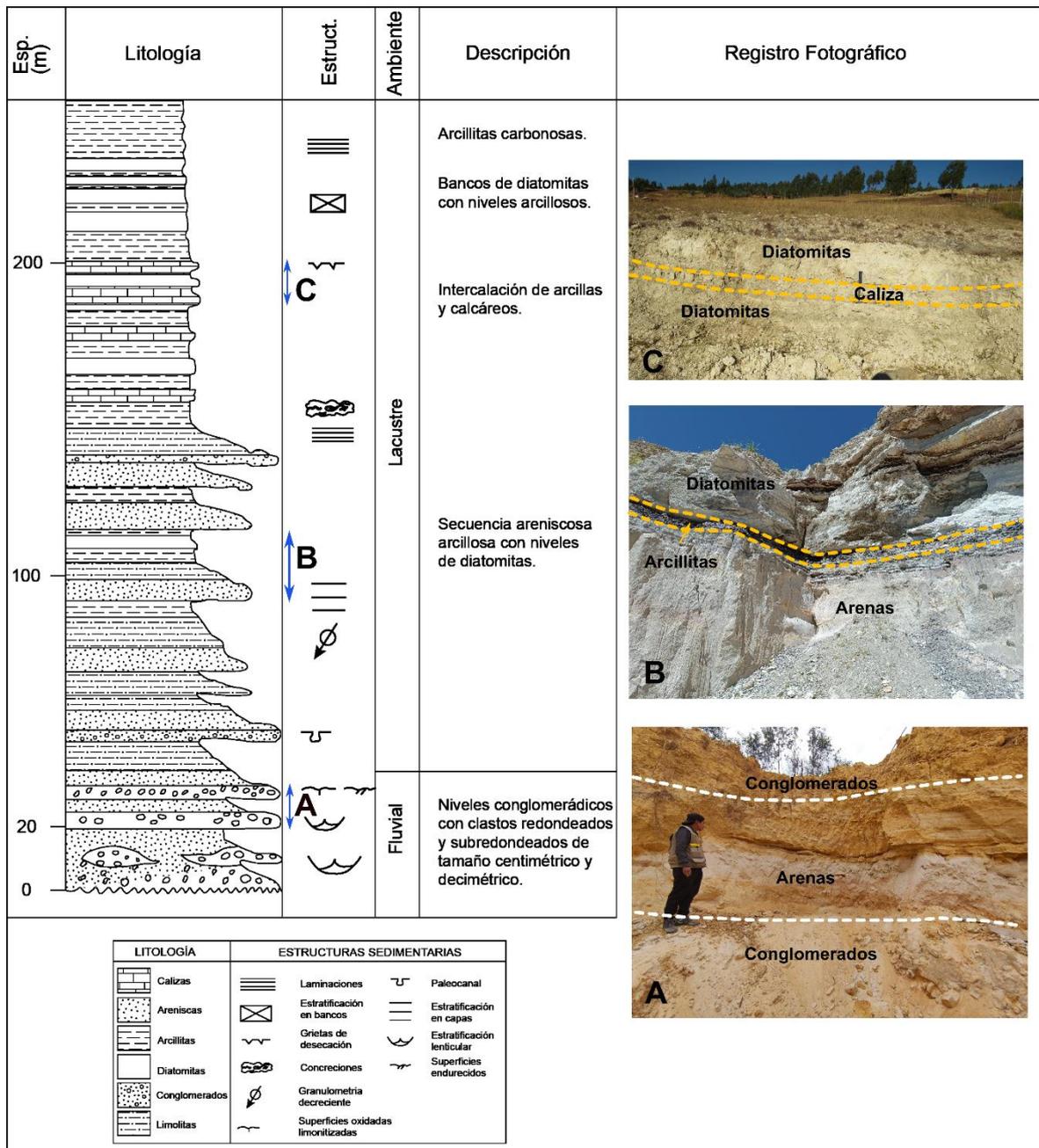


Figura 27. Columna estratigráfica de la Formación Condebamba. Modificado de Bellier, et al., 1988.

3.5.1.4. Cuaternario

Estos depósitos se distribuyen de forma irregular cubriendo parte de las Formaciones cretácicas y también al relleno de la cuenca. Se tienen depósitos

Cuaternarios aluviales, Coluviales y lagunares, dispuesto en forma de discordancia angular; estos depósitos rellenan valles y laderas respectivamente.

3.5.1.4.1. Depósito Aluvial (Qh-al)

Estos depósitos clásticos han sido transportados por la acción mecánica del agua. En la Cuenca se presenta en las laderas de poca pendiente de los bordes de la cuenca y también formando terrazas aluviales del valle fluvial del Rio Namora y la quebrada Adacucho. Está compuesto por clastos heterométricos de cantos, gravas, arenas y limos de formas redondeados a subangulosos.



Figura 28. Depósito aluvial en el margen izquierdo de la quebrada Adacucho, compuesto por cantos, gravas dentro de una matriz limo arenosa, N. 9204755, E. 793375, Z. 2846.

3.5.1.4.2. Depósito Coluvial (Qh-co)

Estos depósitos son materiales transportados por acción de la gravedad, cuyo origen es local, como producto de la meteorización in situ de las rocas Silicoclásticas, identificadas en los Caseríos de Sulluscocha, Bellavista y Tuyorco, que forman parte de los bordes norte y sur de la cuenca de Namora. Está compuesto por fragmentos angulosos y de tamaños muy variables.



Figura 29. Deposito Coluvial, constituido por bloques angulosos de areniscas, en una matriz limo arcillosa. N. 9203504, E. 791262, E. 2962.

3.5.1.4.3. Depósito Lacustre (Qh-la)

Estos depósitos están compuestos por sedimentos de grano fino, con predominio de limos y arcillas. Están distribuidos hacia el oeste, específicamente en las inmediaciones de la laguna Sulluscocha. Estos depósitos tienen abundante materia orgánica, es allí don hay mayor cantidad de vegetación.



Figura 30. Deposito lagunar constituido por limos y arcillas. N. 9204007, E. 790748, E. 2998.

3.5.2. Geomorfología

La geomorfología de la Cuenca Namora, es el resultado de la interacción de factores como la litología, estructuras tectónicas, patrones fluviales y el clima de la región. La clasificación se ha realizado mediante el procesamiento e interpretación del Modelo digital de elevación (DEM) y los datos de campo; teniendo como base la clasificación morfogenética propuesta por Rodríguez, (2016), quien los clasifica en: planicies, Lomadas, Laderas y escarpas. (ver anexo 04)

3.5.2.1. Planicies

Esta unidad geomorfológica se caracteriza por presentar una topografía muy suave, terrenos muy homogéneos y ligeramente ondulados, con pendientes que varían de 0° a 8° (Rodríguez, 2016).

En la zona de estudio se presenta muy ampliamente desde los alrededores de la Laguna Sulluscocha, y a lo largo de la carretera hasta llegar al Distrito de Namora. Constituyen mayoritariamente gran parte del relleno fluvial de la Cuenca.



Figura 31. Vista panorámica de planicies, con pendientes promedio de 6°. N. 9203049, E. 791657, E. 2981.

3.5.2.2. Lomadas

Se caracteriza por presentar una topografía con pequeñas elevaciones, homogéneas y de pendientes suaves y su rango varía de 8° a 20° (Rodríguez, 2016). Litológicamente en la zona de estudio, se muestra en la secuencia de Diatomitas y en la Formación Carhuaz, Farrat, Inca y Chúlec.



Figura 32. Lomadas con pendiente promedio de 18°, situada en las litologías de la Formación Inca y Chúlec. N. 9202611, E. 791665, E. 2984.

3.5.2.3. Laderas

Esta unidad geomorfológica se caracteriza por presentar geoformas inclinadas, cuyas pendientes varían de 20° a 50°. Muestra mayor predominio en el borde norte de la Cuenca; litológicamente en las Formaciones, Carhuaz y Farrat. Así mismo, también se muestra en el borde sur en las Formaciones Inca y Chúlec.

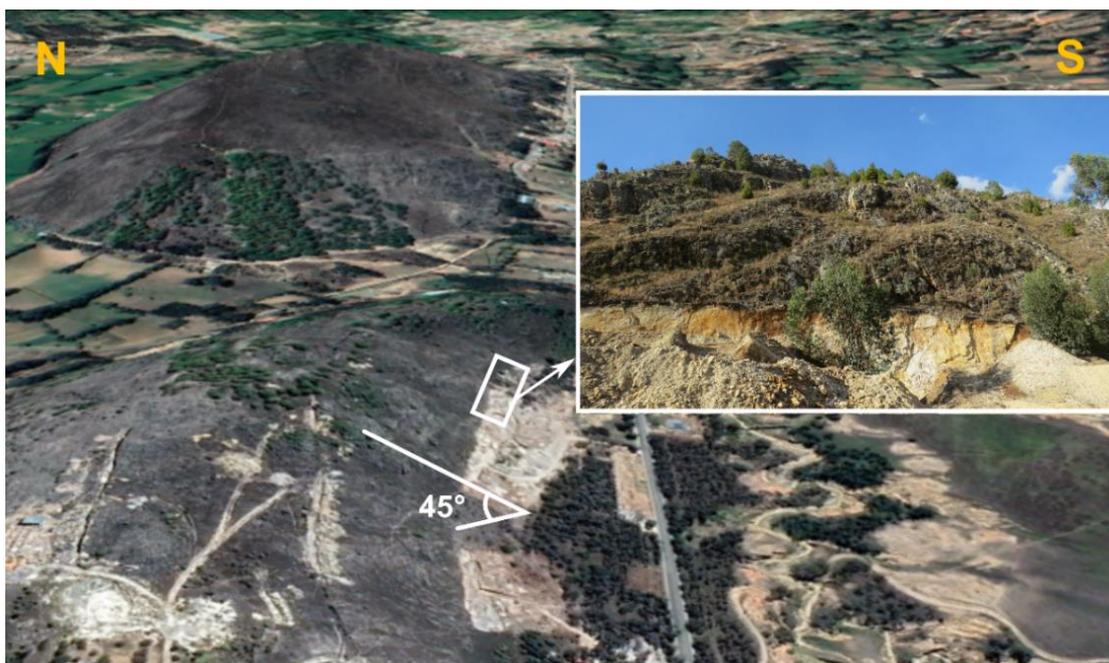


Figura 33. Vista panorámica de laderas en el borde norte de la cuenca, en las areniscas de la Formación Farrat. N. 9203768, E. 793457, Z. 2812.

3.6. CONTEXTO TECTÓNICO ESTRUCTURAL DE LA CUENCA NAMORA

Los Andes del Norte del Perú se caracterizan por dos características estructurales principales: La Deflexión de Cajamarca con dirección E-O, y más al Este, el Cinturón de Esfuerzos y Pliegues del Marañón con dirección N 160° (Bellier, 1989 A).

La deflexión de Cajamarca se inicia en el Campaniano durante la Fase Tectónica Peruana, siendo los eventos de mayor relevancia la Fase Tectónica Inca II e Inca IV (Benavides, 1999). Es en el Eoceno donde se produce un desacople cortical a nivel de las lutitas Chicama, provocando un estilo estructural Thin – skin (piel fina), originado durante la fase tectónica Inca II (43-42 Ma) (Bazán, 2018). El Oligoceno se caracteriza por un periodo magmático y tectónico tranquilo; (Pardo Casas y Molnar, 1987). Desde finales del Oligoceno y a principios del Mioceno, fase tectónica Inca IV (22 Ma), provocada por una nueva fuerte compresión y cambio de dirección de convergencia de las placas se produce el fallamiento en bloques y un estilo estructural de tipo Thick – skin (piel gruesa); el cual provoca un levantamiento progresivo de dirección SO a NE. Este fallamiento en bloques da lugar a las fallas Cascas-Lucma, Falla Magdalena y Falla Cajamarca (Bazán, 2018).

Según Lagos, et al. (2010), la Falla Cajamarca, se proyecta en dirección NO-SE pasando por todo el distrito de Namora; y se reactivó en el Paleógeno (Inca IV) en falla dextral. Esta reactivación genera una distensión en la zona de Llacanora (Vigo, 2014).

La fase compresiva Quechua I (17 Ma) marca el episodio final del evento magmático en Cajamarca (Davis, 2020). Después del pulso compresivo esta fase, las condiciones extensionales asociadas con el considerable levantamiento desarrollaron varias cuencas intramontañosas importantes, en gran parte a lo largo del margen oriental del cinturón incaico de pliegues y cabalgamientos (Benavides, 1999). Bajo ese contexto se formaron las Cuencas de Cajabamba, San Marcos y Namora, siguiendo las estructuras más importantes reactivadas de la cadena occidental (Figura 34). Dichas cuencas son semi-grabens, donde se acumularon depósitos fluvio-lacustres durante el Mioceno (Bellier, 1989 B).

La fase tectónica Quechua II (8-7 ma) (Mégard, 1984), constituye la última actividad magmática en Cajamarca, depositándose tobas riodacíticas. Después de esta fase hay un levantamiento y una actividad volcánica, bajo condiciones extensionales, aunque interrumpidas por pulsos compresivos relativamente menores de las fases Quechua III (5 – 4 Ma) y Quechua IV (2 – 1.6 Ma) (Benavides, 1999).

Edad (Ma)	Eón	Era	Periodo	Época	Fase de deformación	Dirección de convergencia	Velocidad de convergencia		
0.0042	Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	NEOTECTÓNICA		Alta Tasa de convergencia		
0.0052				Pleistoceno					
0.0117									
0.129									
0.774									
1.80			Neógeno	Plioceno		QUECHUA IV			
2.58									
3.6								QUECHUA III	
5.333									
7.246				Mioceno		QUECHUA II			
11.63									
13.82						QUECHUA I			
15.97									
20.44						INCA IV			
23.03									
27.82			Paleógeno	Oligoceno		INCA III			Baja Tasa de convergencia
33.9									
37.71				Eoceno		INCA II			Alta Tasa de convergencia
41.2									
47.8	Paleoceno					Baja Tasa de convergencia			
56.0			INCA I						
59.2									
61.6									

Figura 34. Cuadro geocronológico y tectónico de la región Cajamarca, con énfasis en la formación de las cuencas Intramontañosas. Datos extraídos de Pardo Casas y Molnar, (1987); Reyes, (1980); Benavides, (1999); Bellier, et al., (1989); Bazán, (2013).

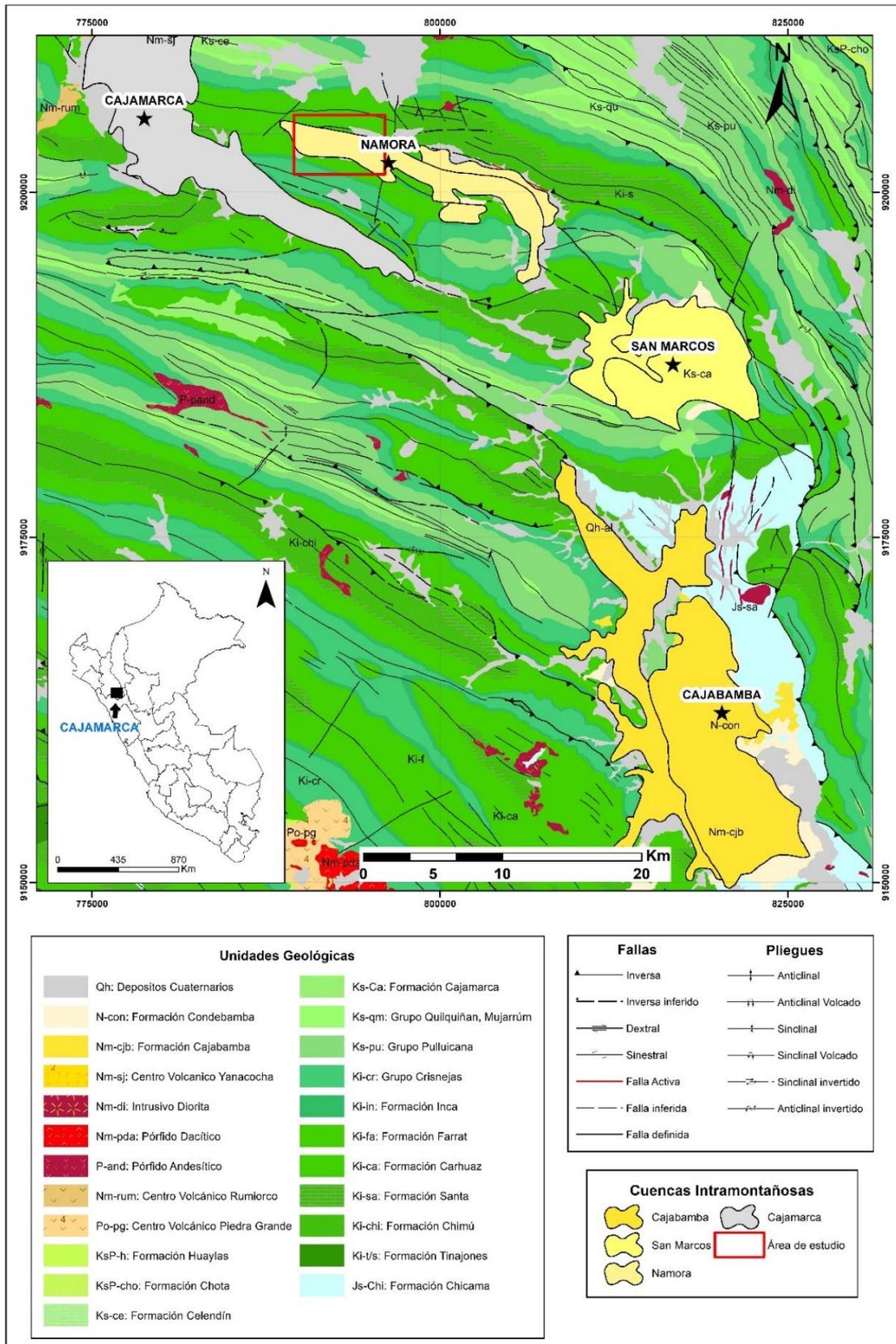


Figura 35. Mapa geológico regional de Cajamarca y las Cuencas Intramontañosas de Cajamarca, Namora, San Marcos y Cajabamba; el recuadro de color rojo corresponde al área de estudio.

Elaborado a partir de Bellier, et al., (1989) y la carta geológica a escala de 1:50, 000.

3.7. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El análisis de las fallas, se ha realizado mediante estaciones estructurales distribuidas en secuencias cretácicas y en el relleno de la Cuenca. Estas han sido analizadas en el software Faulking (Marret y Allmendinger, 1990).

3.7.1. Fallas en secuencias Cretácicas

Durante las visitas a campo se han tomado 229 datos de fallas distribuidas en la Formación Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca y Chúlec. En cada una de las estaciones estructurales, se han tomado datos de coordenadas (Este, norte y elevación), unidad geológica, tipo de estructura (falla), orientación (Azimut, buzamiento y rake), geometría (terminaciones, fallas conjugadas, enlaces de fallas, fracturas Riedel) y Edad relativa (litologías afectadas y relaciones de corte).

3.7.1.1. Estación (K-01): Falla Cajamarca

Se localiza en el borde izquierdo de la carretera a Namora. Tiene como coordenadas E: 793450m, N: 9203860m y Z: 2827,7m. El plano de falla afecta a las secuencias de la Formación Carhuaz, en el borde Norte de la Cuenca Namora (Figura 36). Se han medido 5 orientaciones de estrías de los planos de fallas (Tabla 5).

Tabla 5. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-01.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	116	56	93	Nx
E2	115	57	94	Nx
E3	114	58	95	Nx
E4	117	45	92	Nx
E5	115	44	93	Nx

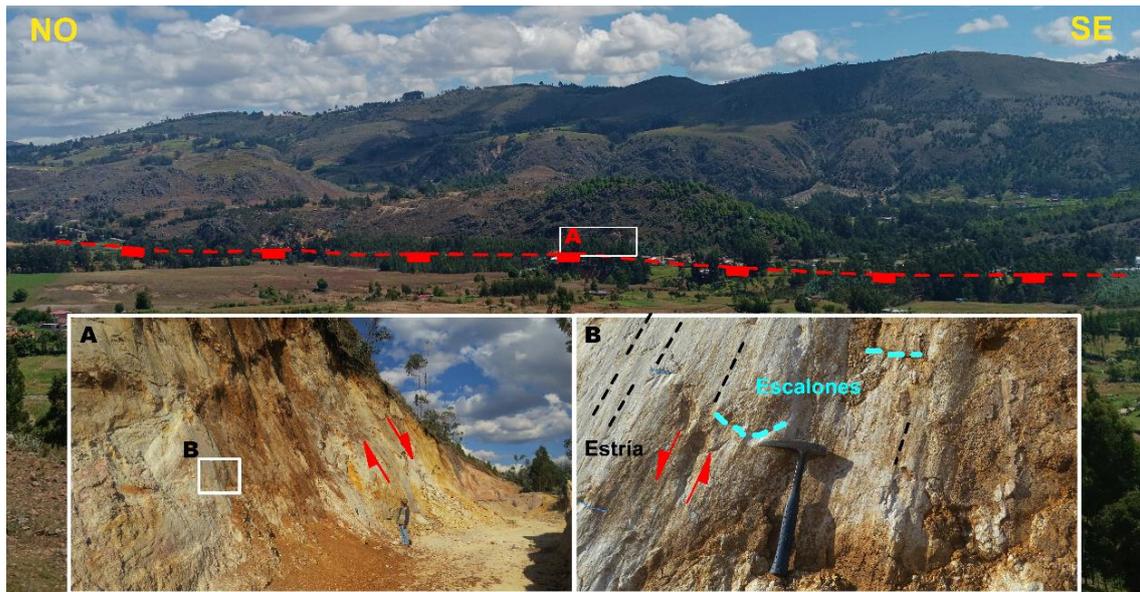


Figura 36. Vista panorámica de la falla Cajamarca. A. detalle del plano de falla, que afecta a la Formación Farrat. B. detalle de los indicadores cinemáticos.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión muestra una orientación NNE-SSO (Figura 37), con un trend y plunge de 207.9° y 6.9°, respectivamente. De acuerdo con el método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

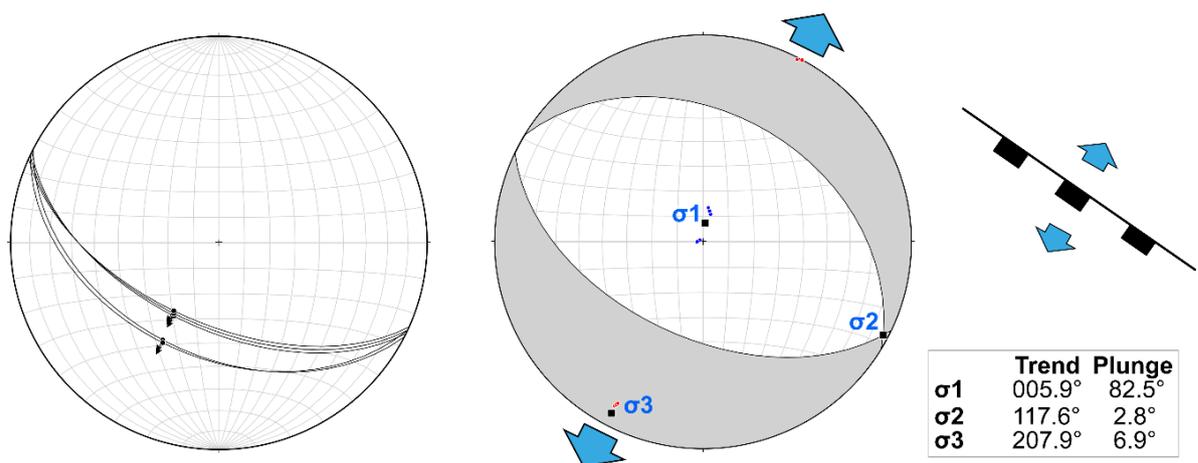


Figura 37. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión σ_3 de orientación NNE-SSO.

3.7.1.2. Estación (K-02)

Localizada en el Cerro Chilacate, en la localidad de Jigon. Tiene como coordenadas E: 793812m, N: 9202346m y Z: 2882m. El plano de falla afecta a las secuencias de areniscas blanquecinas de la Formación Farrat y está asociado a un conjunto de fracturas conjugadas, observado en el borde Sur de la cuenca, (Figura 38). Se han medido 9 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 6).

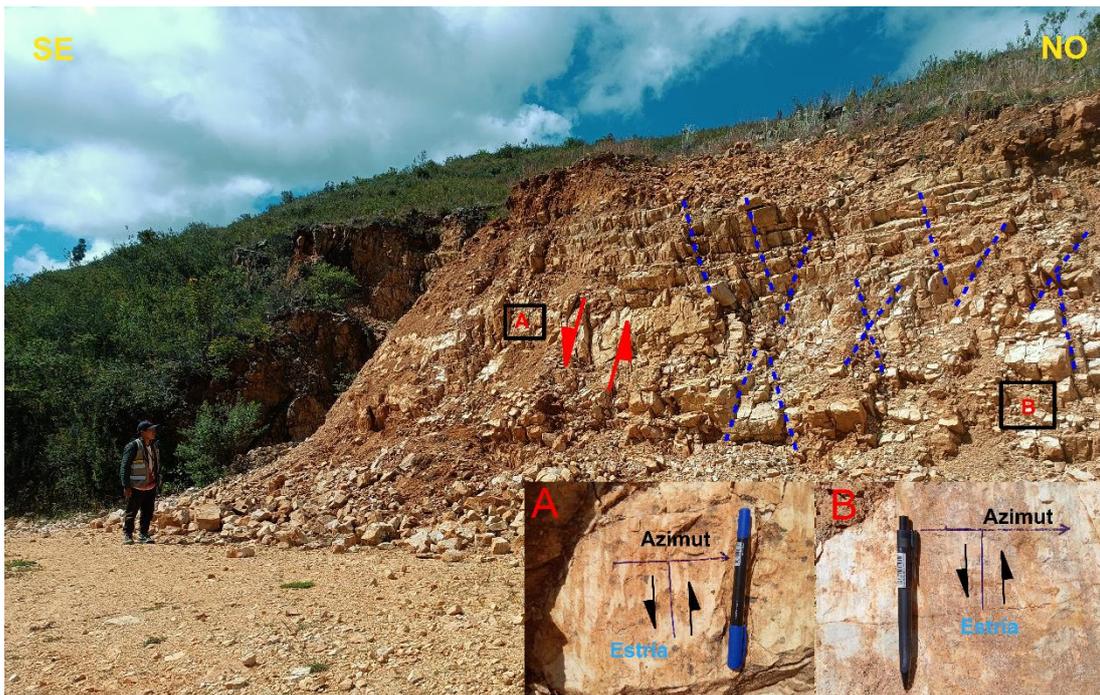


Figura 38. Falla normal y conjunto de fracturas conjugadas (línea discontinua amarilla) afectando a secuencias de areniscas blanquecinas de la Formación Farrat. A y B. Detalles de los planos de falla, mostrando los indicadores cinemáticos.

Tabla 6. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-02.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	307	62	83	Nx
E2	302	60	86	Nx
E3	307	56	86	Nx
E4	313	33	71	Nx
E5	297	66	87	Nx
E6	307	81	69	Nx
E7	333	30	64	Nx
E8	313	18	112	Nx
E9	312	30	95	Nx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NE-SO (Figura 39), con un trend y plunge de 033.1° y 3.4° , respectivamente. De acuerdo con el método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

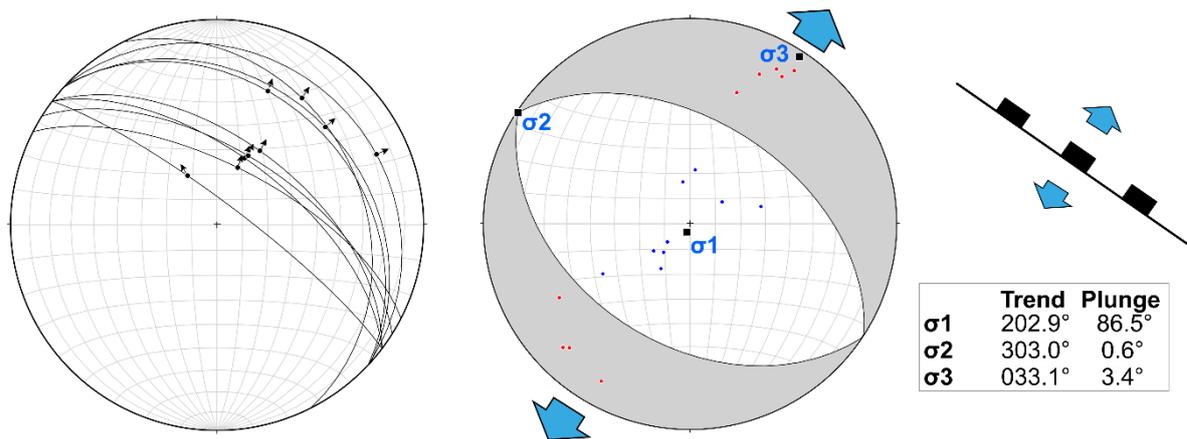


Figura 39. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NE-SO.

3.7.1.3. Estación (K-03)

Se localiza en el Cerro Chocta, en el borde sur de la Cuenca Namora. Tiene como coordenadas E: 791732m, N: 9202317m y Z: 3030m. Los planos de fallas, afectan a las calizas de la Formación Chulec; así mismo controlan la depositación de las secuencias de diatomitas en el borde Sur de la Cuenca (Figura 40). Se han identificado 4 planos de fallas (Tabla 7).

Tabla 7. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-03.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	82	11	112	Nx
E2	307	89	97	Nx
E3	302	28	95	Nx
E4	234	15	140	DxNx

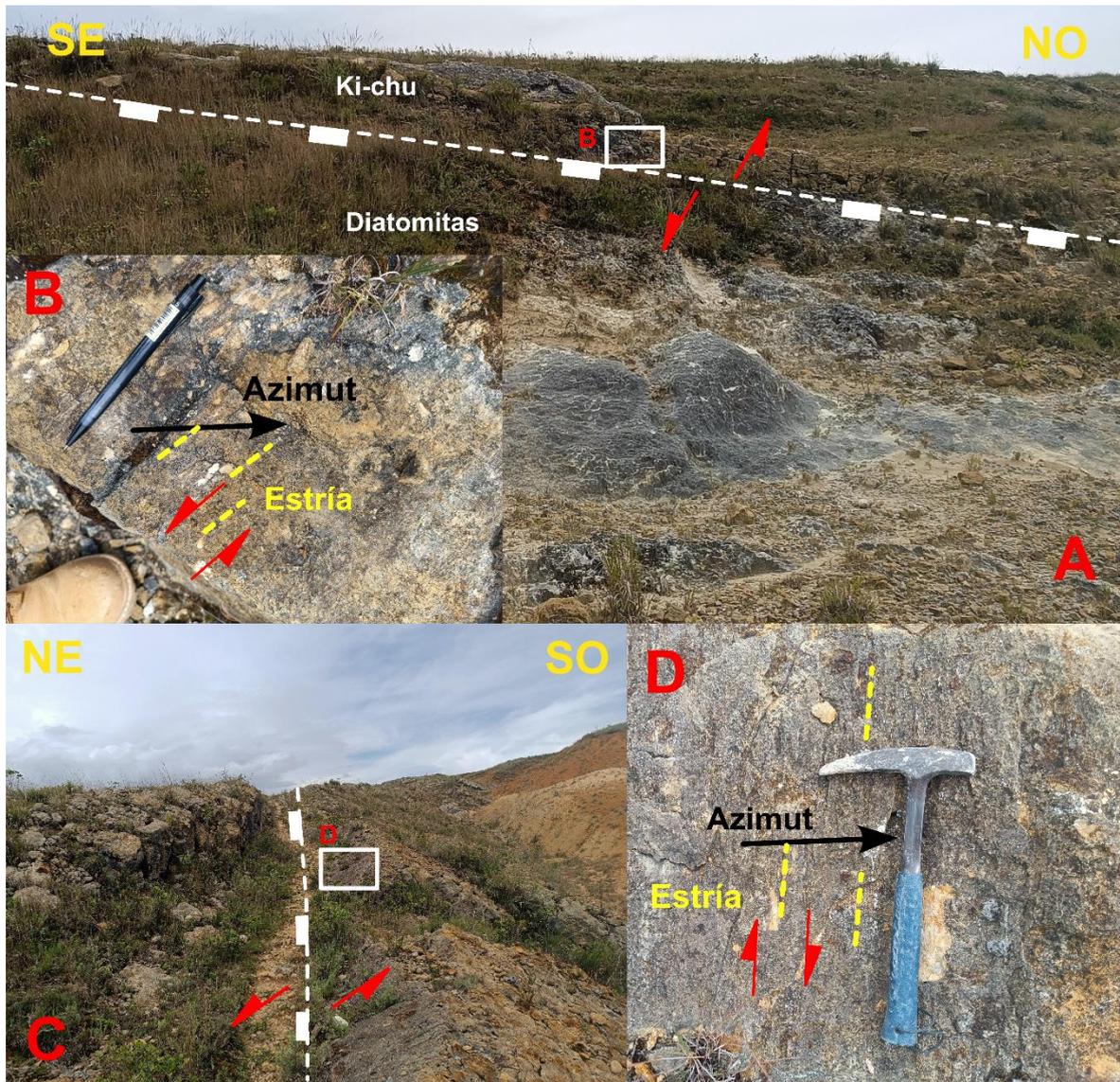


Figura 40. A. Vista panorámica del plano de falla normal, controlando la depositación de diatomitas. B. Detalle del plano, mostrando los indicadores cinemáticos. C. Vista panorámica del plano de falla, afectando a la Formación Chulec. D. Detalle del plano de falla.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NNE-SSO (Figura 41), con un trend y plunge de 031.6° y 0.3° , respectivamente. De acuerdo con el método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

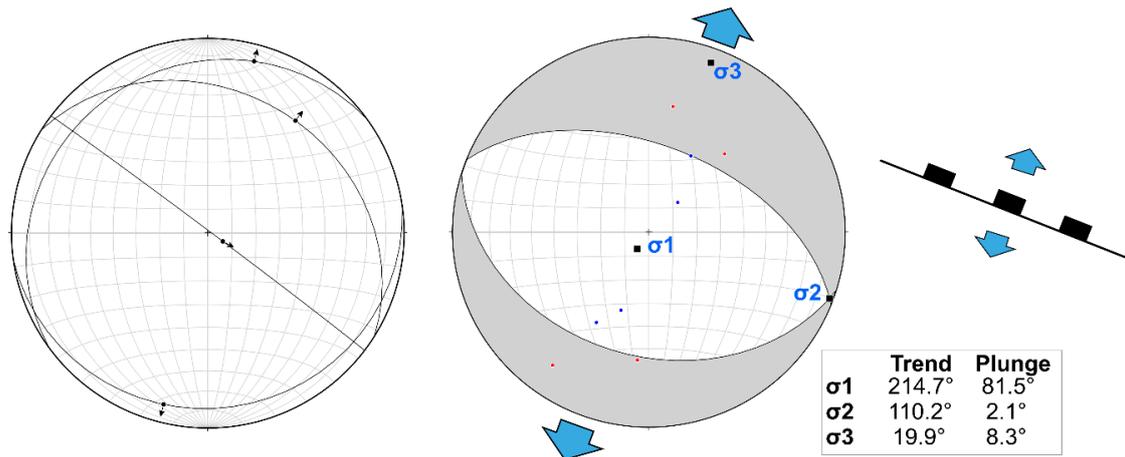


Figura 41. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión ($\sigma 3$) de orientación NNE-SSO.

3.7.1.4. Estación (K-04)

Se localiza en la Quebrada Huacamayo, en el borde Sur de la Cuenca. Tiene como coordenadas E: 791821m, N: 9202780m y Z: 2956. El plano de falla afecta a las areniscas ferruginosas de la Formación Inca; así mismo controla la depositación de las Diatomitas (Figura 42). Se han medido 3 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 8).

Tabla 8. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-04.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	281	87	100	Nx
E2	119	44	80	Nx
E3	105	42	108	Nx



Figura 42. Falla normal, afectando a las areniscas de la Formación inca. A. Detalle del plano de falla, con sus indicadores cinemáticos.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NNE-SSO (Figura 43), con un trend y plunge de 26.6° y 14.1° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

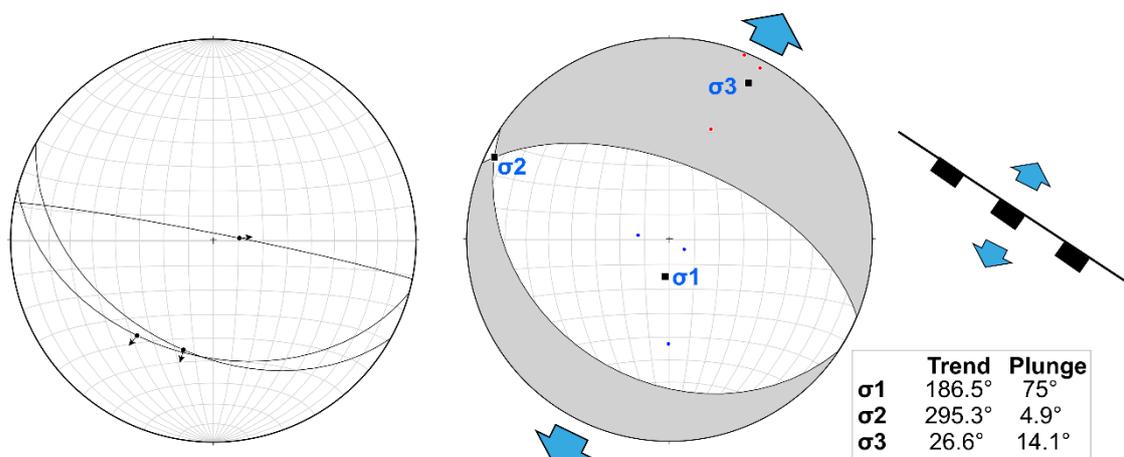


Figura 43. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NNE-SSO.

3.7.1.5. Estación (K-05)

Se localiza en el caserío Sulluscocha. Tiene como coordenadas E: 791569m, N: 9203285m y Z: 2956. El plano de falla afecta a las areniscas de la Formación Carhuaz, y parte del plano se encuentra cubierto por depósito coluvial (Figura 44). Se han medido 2 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 9)

Tabla 9. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-05.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	283	26	110	Nx
E2	285	28	108	Nx



Figura 44. Falla normal observado en el caserío Sulluscocha, que afecta a las areniscas de la Formación Carhuaz. A. Detalle del plano de falla, con sus indicadores cinemáticos.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NNE-SSO (Figura 45), con un trend y plunge de 208.1° y 19.1° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

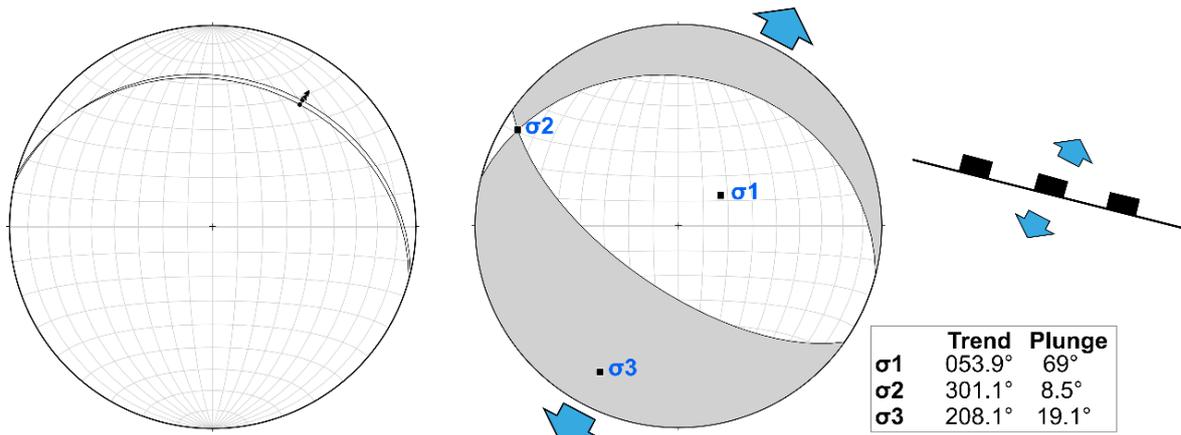


Figura 45. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NNE-SSO.

3.7.1.6. Estación (K-06): Falla Cajamarca

Se localiza en el caserío Sulluscocha; margen izquierdo de la carretera Cajamarca-Namora. Tiene como coordenadas E: 790996m, N: 9204381m y Z: 3021m. El plano de falla corresponde al movimiento inverso de la Falla Cajamarca, el cual pone en contacto la Formación Santa con la Formación Farrat (Figura 46). Se han medido 2 orientaciones de las estrias de falla (Tabla 10).



Figura 46. Falla Cajamarca, que muestra el contacto entre la Formación Farrat y Santa. Mayor zona de daño en la Formación Santa. B. Detalle del plano de falla.

Tabla 10. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-06.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	95	75	110	lx
E2	98	74	108	lx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La compresión (σ_1) muestra una orientación NNE-SSO, con un trend y plunge de 201.5° y 27.01° y la extensión (σ_3) una orientación NO-SE (Figura 47), con un trend y plunge de 341.9° y 56.4° , respectivamente. Las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de Compresión.

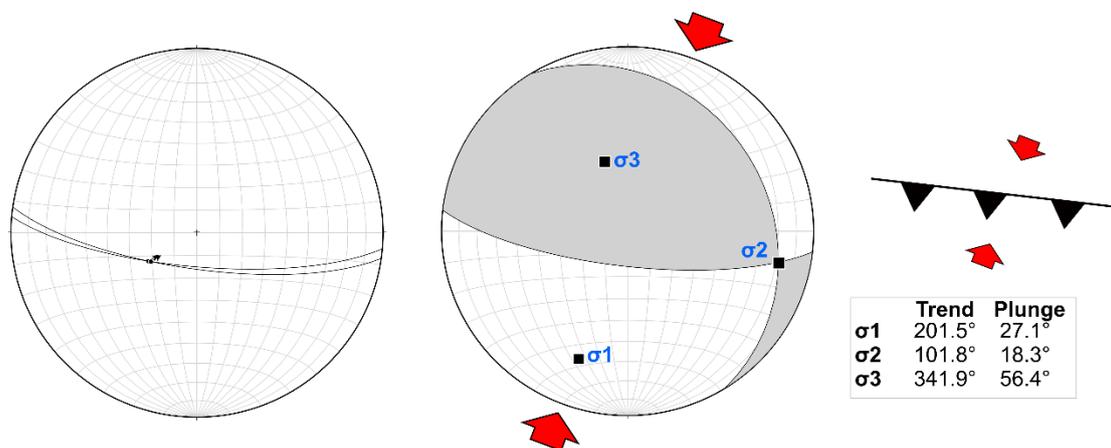


Figura 47. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión NNE-SSO.

3.7.1.7. Estación (K-07)

Se localiza al este de la zona zoolítica Los Sapitos. Tiene como coordenadas E: 792253m, N: 9204404m y Z: 2903m. El plano de falla afecta a las secuencias de areniscas de la Formación Farrat, cuya deformación se acomoda a los planos de la estratificación, en el borde norte de la cuenca (Figura 48). Se han medido 2 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 11).

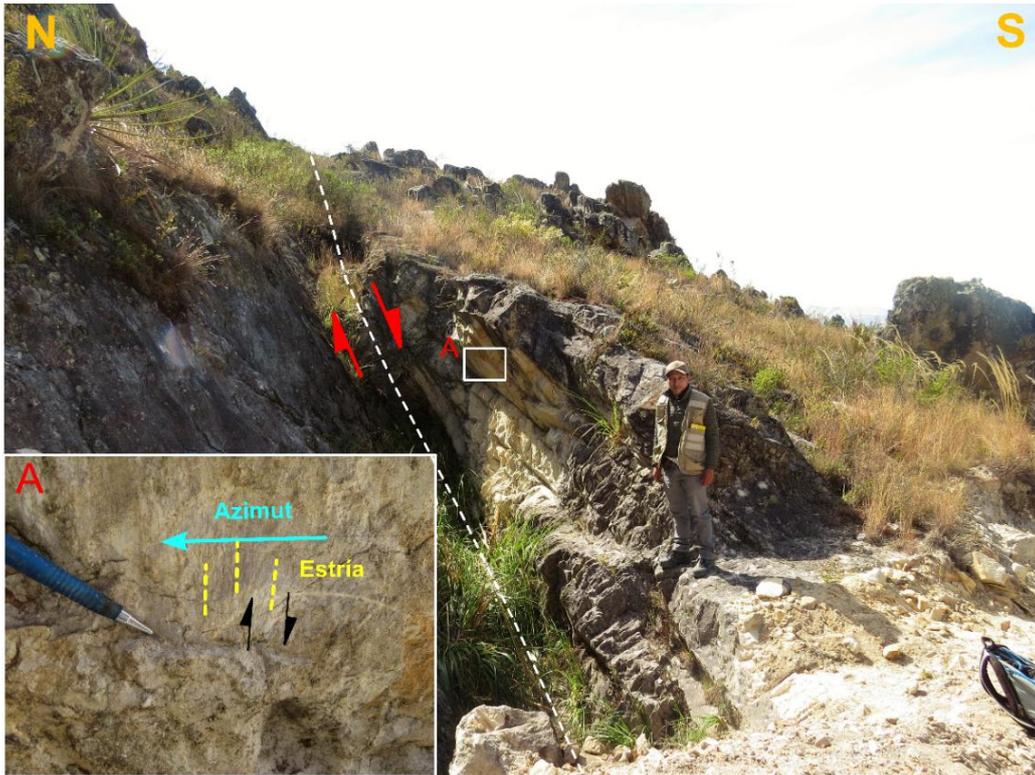


Figura 48. Falla normal en areniscas de la Formación Farrat, al este de los Sapitos. A. Detalle del plano de falla con su indicador cinemático.

Tabla 11. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-07.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	83	57	85	Nx
E2	81	55	87	Nx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación N-S (Figura 49), con un trend y plunge de 169.9° y 10.9° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

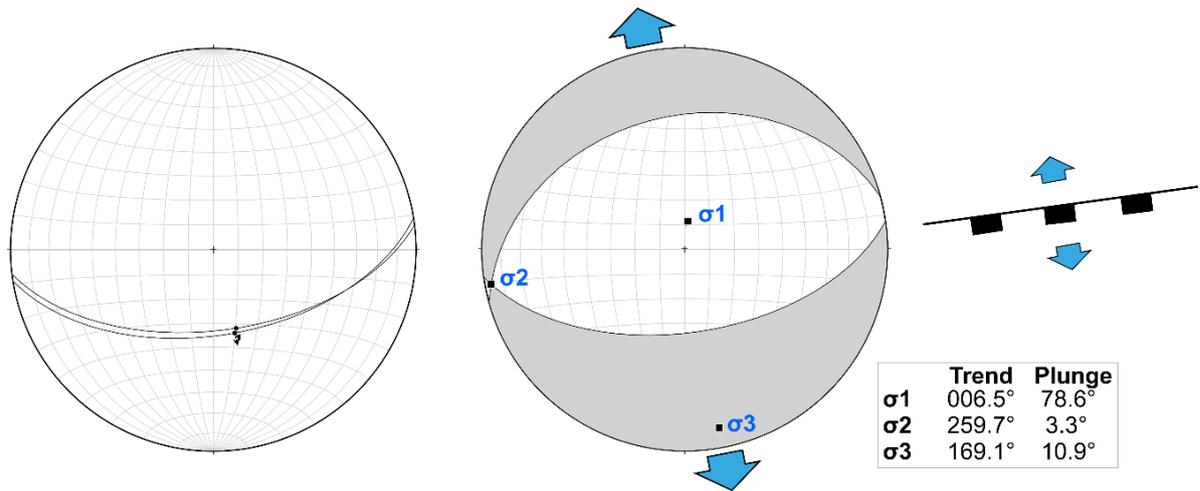


Figura 49. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación N-S.

3.7.1.8. Estación (K-08): Falla Sapitos

Se localiza en la zona Zoolítica de los Sapitos. Tiene como coordenadas E: 791869m, N: 9204401m y Z: 2928m. El plano de falla afecta a las areniscas de la Formación Farrat; esta zona se encuentra intensamente deformada (Figura 50). Se han medido 2 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 12).



Figura 50. Falla de cinemática normal, con intenso fracturamiento de las areniscas de la Formación Farrat. A. detalle del plano de falla mostrando la estría de movimiento.

Tabla 12. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-08.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	32	49	103	Nx
E2	33	50	102	Nx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NO-SE (Figura 51), con un trend y plunge de 130.9° y 3.3° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

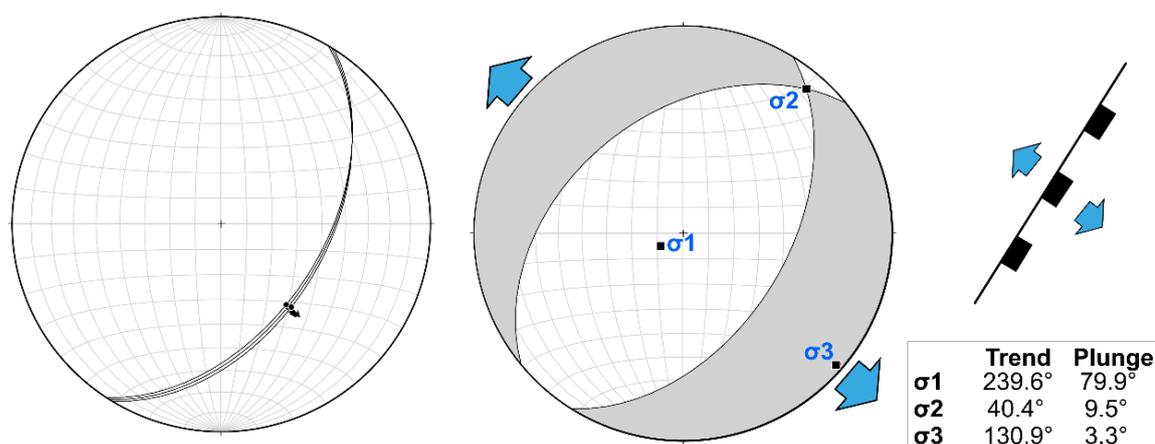


Figura 51. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.

3.7.1.9. Estación (K-09)

Se localiza en el Caserío Bellavista, en el margen izquierdo de la carretera Cajamarca-Namora. Tiene como coordenadas E:792149m, N: 9204223m y Z: 2893m. Esta falla desplaza a las secuencias de la Formación Carhuaz y Farrat en el borde norte de la Cuenca. En el plano de falla se observan recristalización de óxidos (Figura 52) y presencia de dos movimientos, el primero de cinemática normal y el segundo de cinemática Sinistral. Se han medido 2 orientaciones de las estrías de falla, para cada movimiento (Tabla 13).

Tabla 13. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-09.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	19	54	87	Nx
E2	16	54	85	Nx
E3	20	55	26	SxNx
E4	16	54	24	SxNx

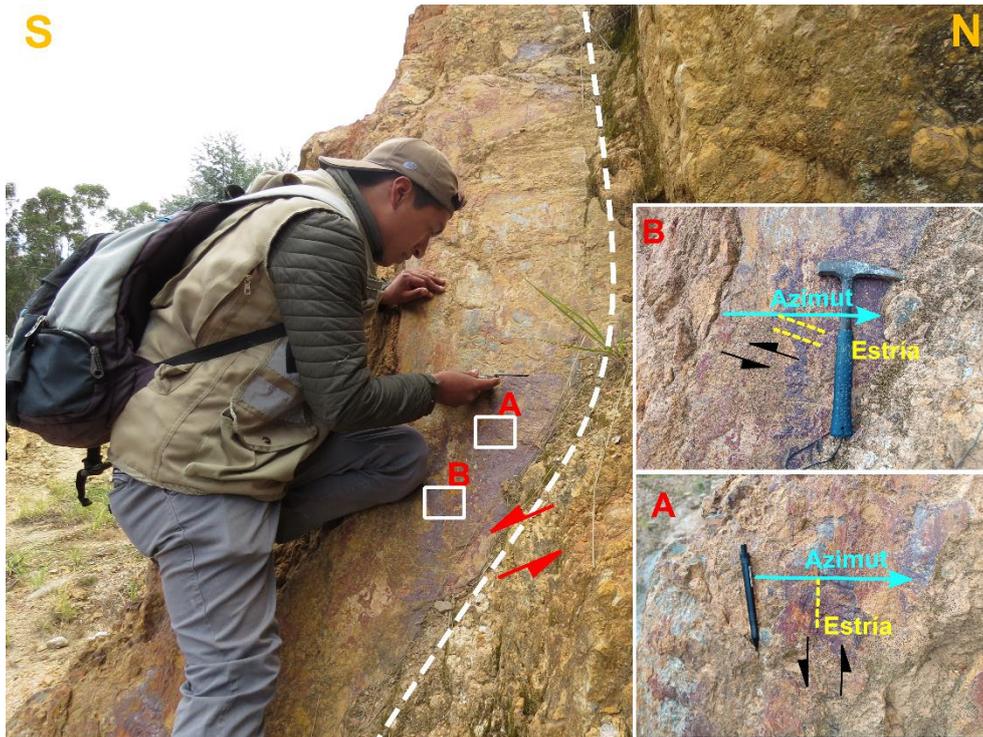


Figura 52. Plano de falla con oxidación que presenta dos movimientos. A. Detalle primer movimiento normal. B. Detalle segundo movimiento sinistral.

La presentación de los planos de fallas de la primera cinemática normal, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación ONO-ESE (Figura 53), con un trend y plunge de 104.6° y 8.9° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

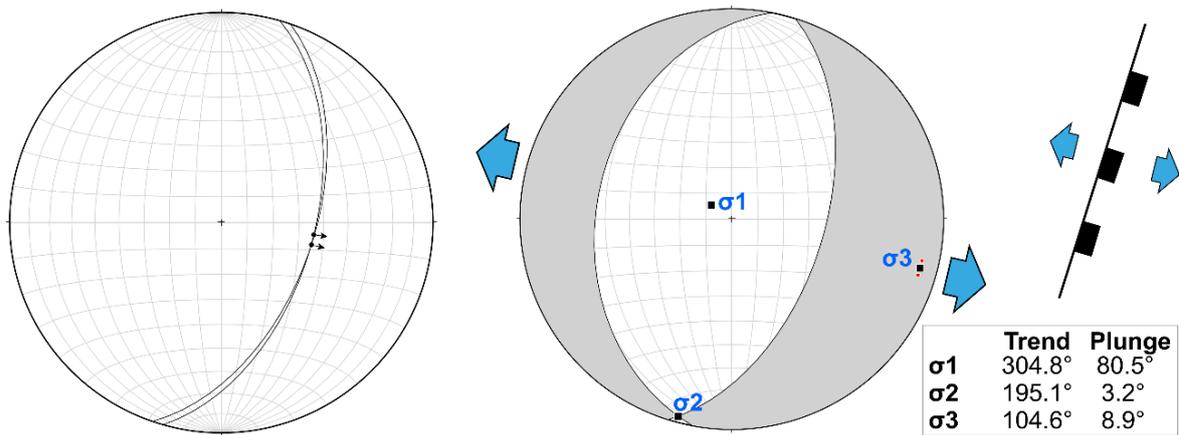


Figura 53. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación ONO-ESE.

La presentación de los planos de fallas de la segunda cinemática sinistral, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La compresión (σ_1) muestra una orientación N-S, con un trend y plunge de 345.9° y 40.9° y la extensión (σ_3) una orientación NE-SO (Figura 54), con un trend y plunge de 247.4° y 9.6°, respectivamente. Las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de transtensión.

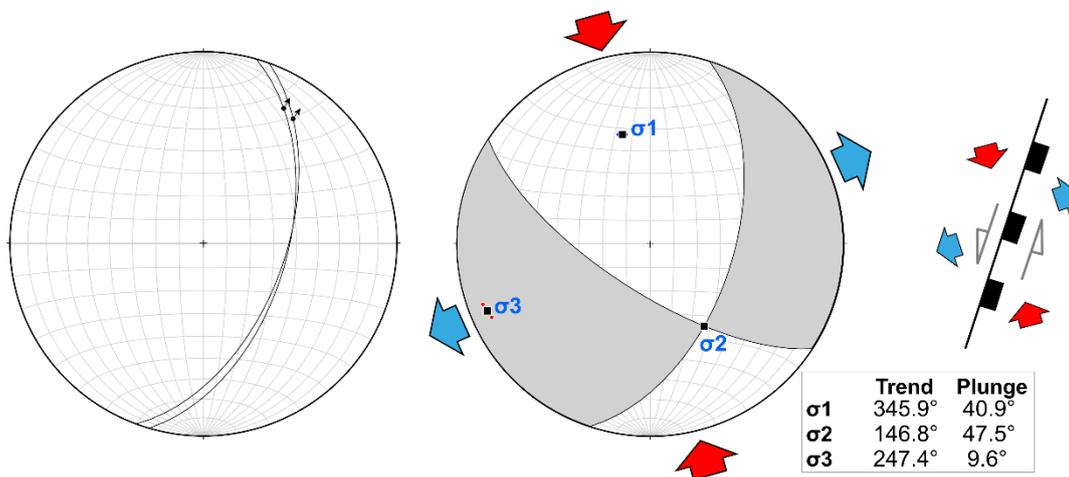


Figura 54. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) N-S y una extensión (σ_3) de orientación NE-SO.

3.7.1.10. Estación (K-10)

Se localiza en el borde izquierdo de la Carretera Cajamarca-Namora. Tiene como coordenadas E: 792863m, N: 9203994m y Z: 2842m. El plano de falla muestra

lateralmente un sistema de fracturas conjugadas en ambos lados de la falla, los cuales afectan a las secuencias de areniscas de la Formación Farrat, observado en el borde norte de la cuenca (Figura 55). Se han medido 2 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 14).

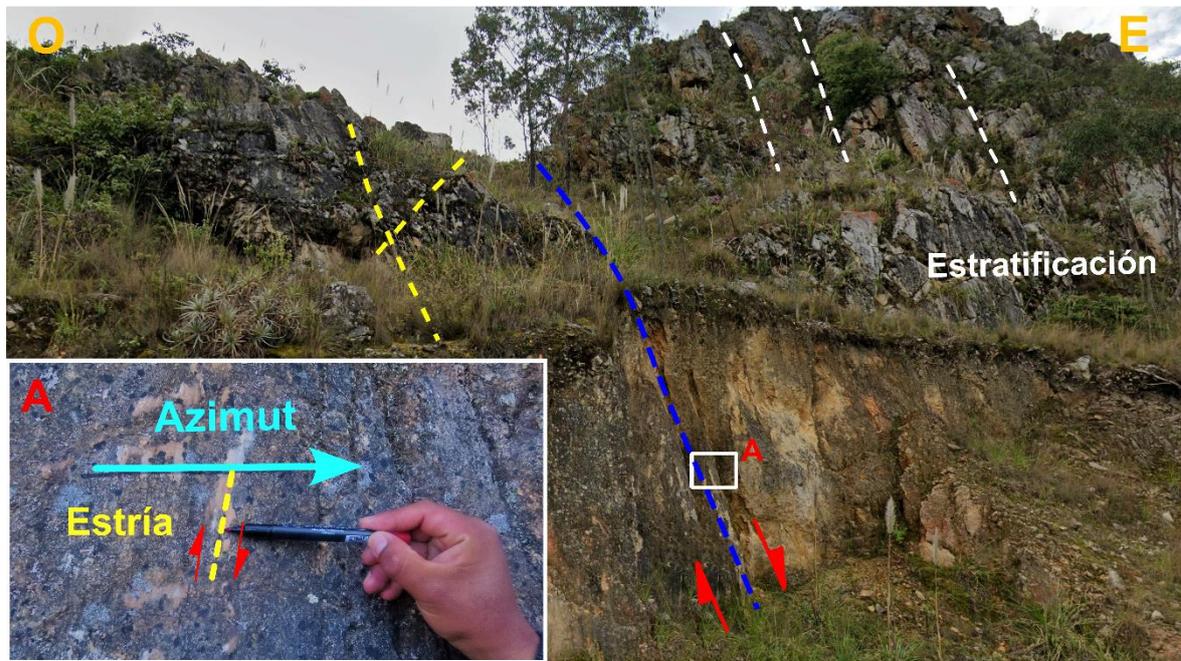


Figura 55. Falla normal y fracturas conjugadas (línea discontinua amarilla) afectando a las areniscas de la Formación Farrat (Línea discontinua blanca). A. Detalle del plano de falla mostrando el indicador cinemático.

Tabla 14. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-10.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	18	77	112	Nx
E2	25	76	108	Nx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NO-SE (Figura 56), con un trend y plunge de 127.4° y 28.7° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

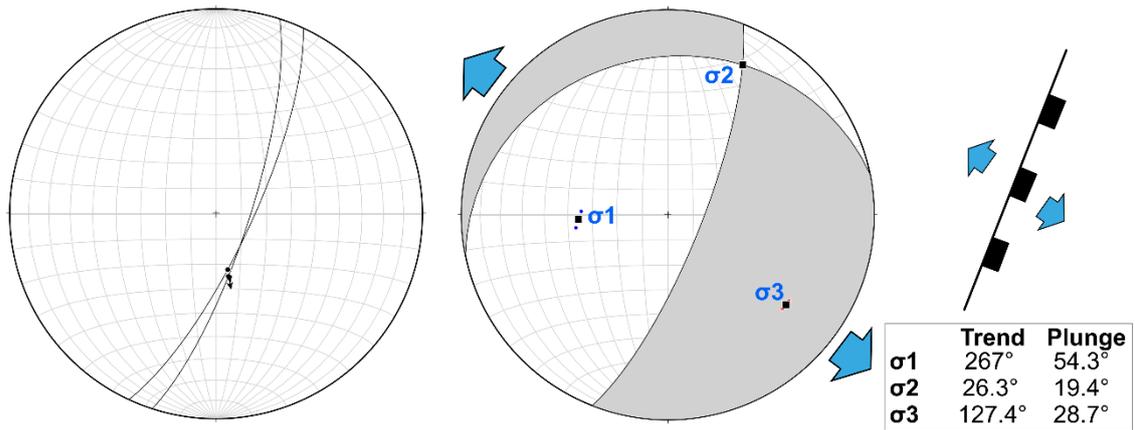


Figura 56. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.

3.7.1.11. Estación (K-11)

Se ubica en el margen izquierdo aguas debajo de la Quebrada Adacucho. Tiene como coordenadas E: 793360m, N: 9204964m y Z: 2890. El plano de falla muestra desplazamiento de las areniscas de la Formación Farrat (Figura 57). Se han medido 2 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 15).

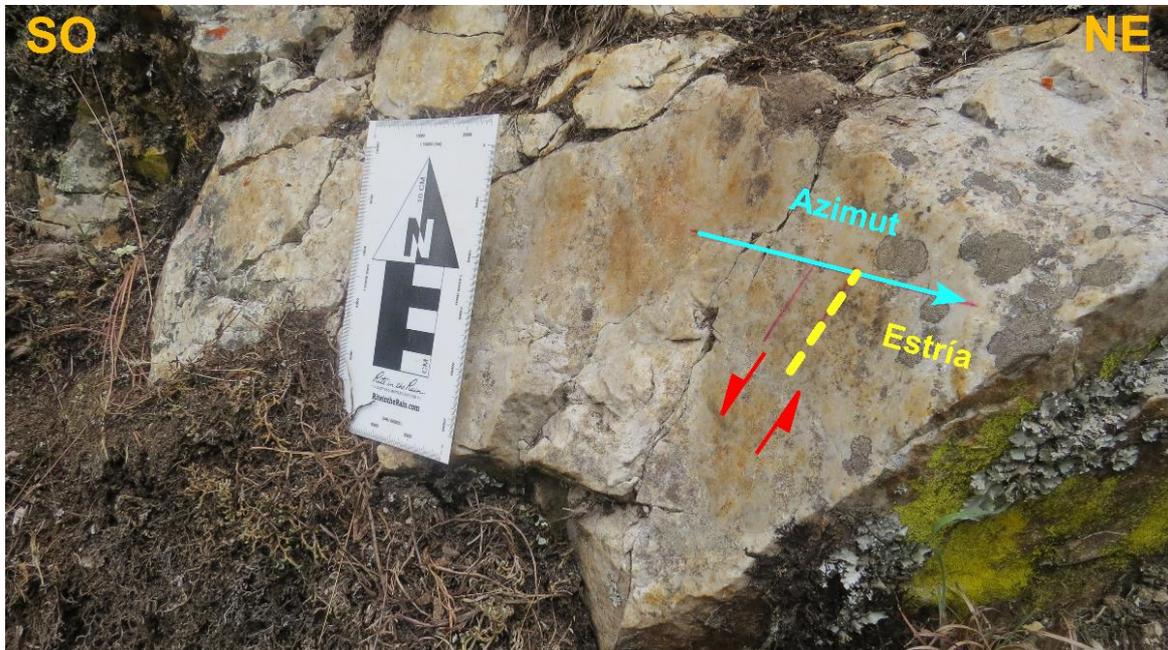


Figura 57. Plano de falla mostrando la cinemática normal en las areniscas de la Formación Farrat.

Tabla 15. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-11.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	49	67	105	Nx
E2	47	65	104	Nx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NO-SE (Figura 58), con un trend y plunge de 148.8° y 19.7° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

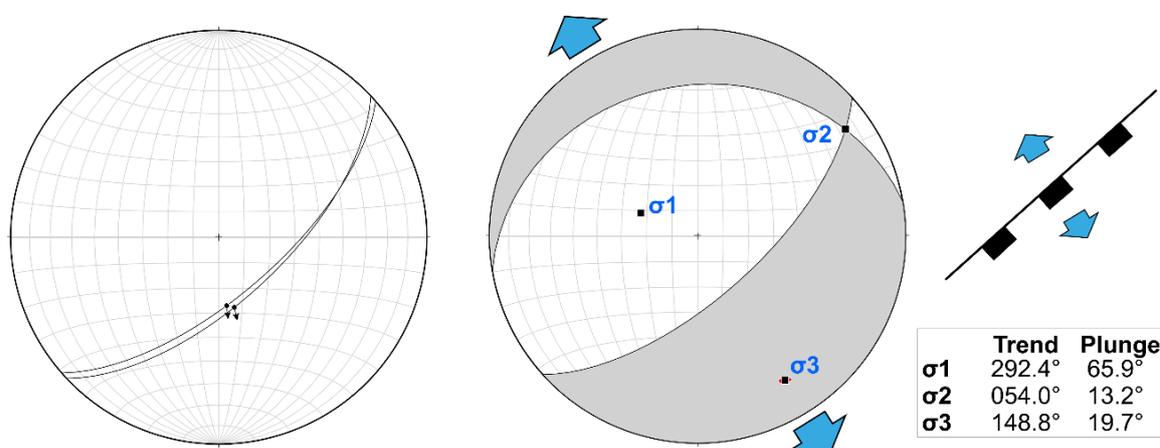


Figura 58. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.

3.7.1.12. Estación (K-12): Falla Chocta

Se localiza en el Cerro Chocta, en el borde sur de la Cuenca Namora. Tiene como coordenadas E: 791668m, N: 9202447m y Z: 3007m. Los planos de fallas, están asociados a un sistema de fracturas conjugadas y con mayor deformación en el bloque techo, afectando a las calizas de la Formación Chúlec y controlan la depositación de las diatomitas, porque solo se observan estas secuencias (diatomitas) en el bloque techo de la falla (Figura 59). Se han identificado 2 planos de fallas (Tabla 16).

Tabla 16. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-12

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	2	80	75	Nx
E2	10	86	32	SxNx

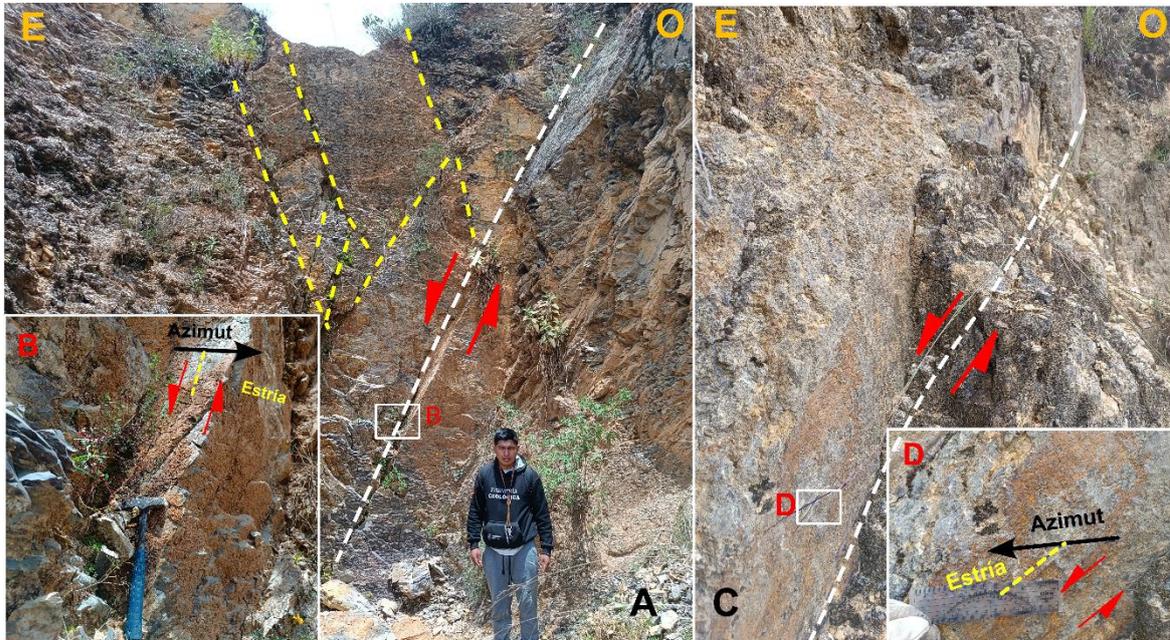


Figura 59. A. Primer plano de falla normal y fracturas conjugadas (línea discontinua amarilla). B. Detalle del plano de Falla, mostrando la cinemática. C. Segundo plano de Falla sinistral. D. Detalle del plano, mostrando la cinemática.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La compresión (σ_1) muestra una orientación NO-SE, con un trend y plunge de 310.7° y 41.1° y la extensión (σ_3) una orientación ENE-OSO (Figura 60), con un trend y plunge de 68.1° y 27.8° , respectivamente. Las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de transtensión.

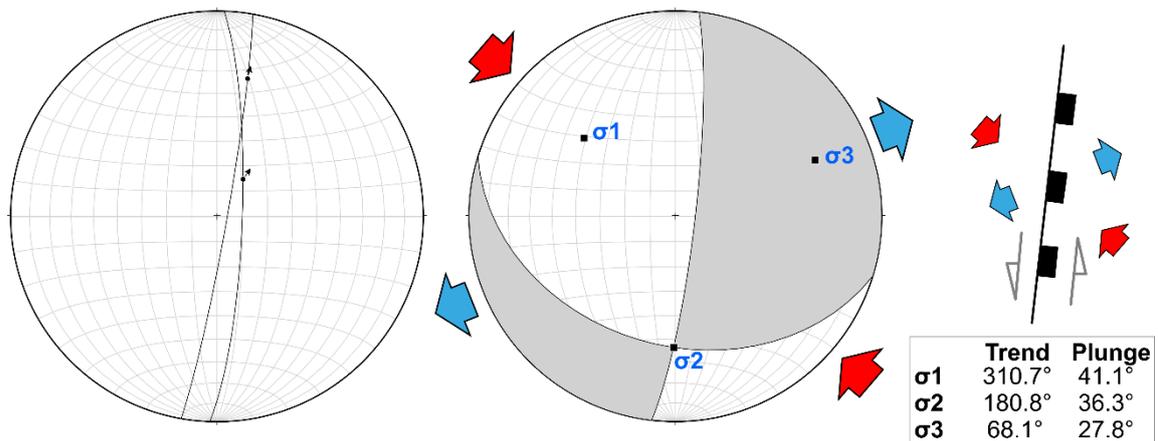


Figura 60. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NO-SE y una extensión (σ_3) de orientación ENE-OSO.

3.7.1.13. Estación (K-13)

Se localiza en el borde Sur de la cuenca. Tiene como coordenadas E: 791692m, N: 9203137m y Z: 2974m. El plano de falla afecta a los estratos de areniscas de la Formación Farrat (Figura 61); así mismo se comporta como falla de borde de la cuenca, porque limita la depositación de las secuencias de diatomitas hacia el oeste de la falla. Se han medido 2 planos de fallas (Tabla 17).

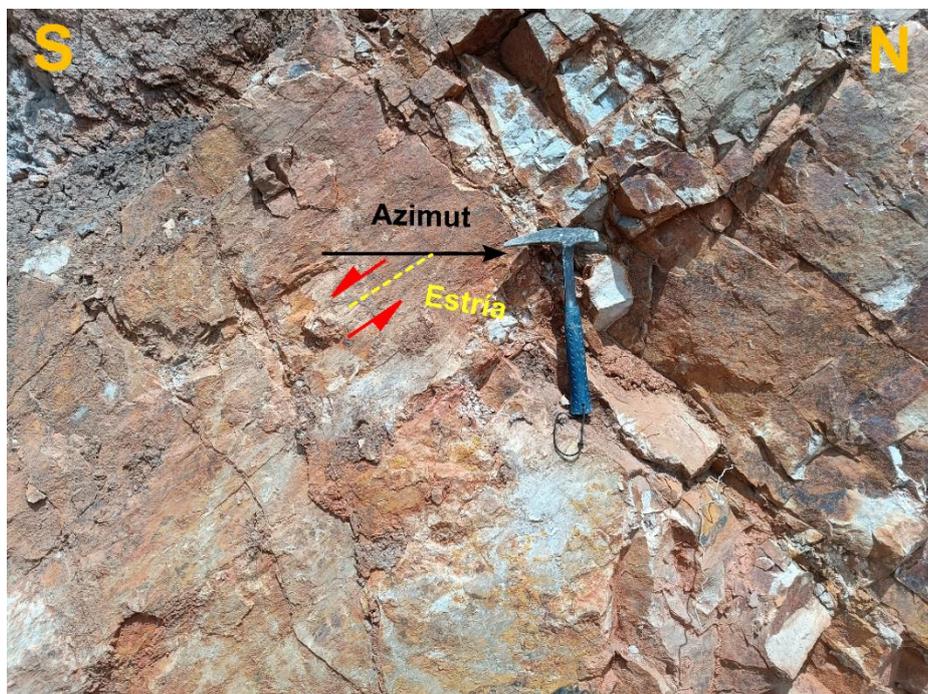


Figura 61. Plano de falla mostrando una cinemática sinistral normal, en areniscas de la Formación Farrat.

Tabla 17. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-13.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	3	80	158	SxNx
E2	8	80	152	SxNx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La compresión (σ_1) muestra una orientación NE-SO, con un trend y plunge de 231.6° y 24.6° y la extensión (σ_3) una orientación NO-SE (Figura 62), con un trend y plunge de 137.0° y 9.9° , respectivamente. Las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de transtensión.

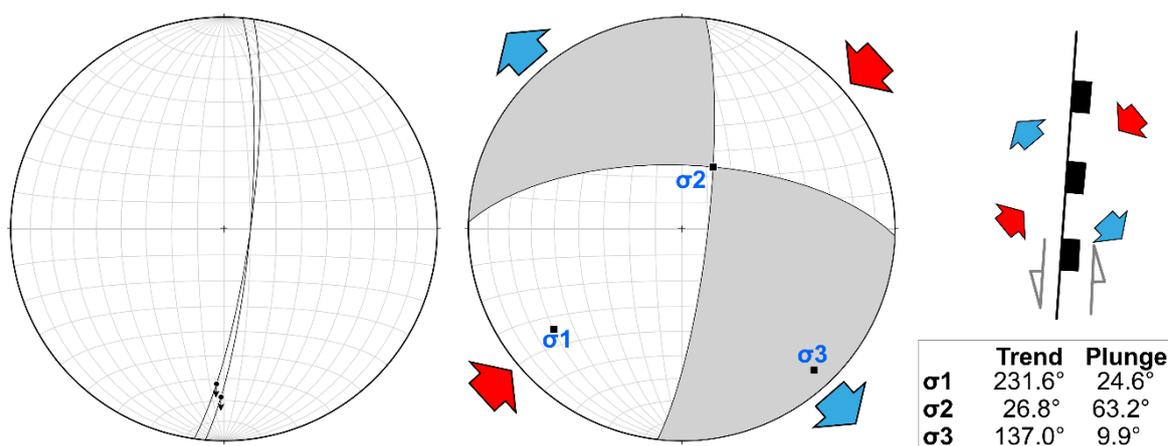


Figura 62. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NE-SO y una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.

3.7.1.14. Estación (K-14)

Se localiza al Sureste de Sulluscocha. Tiene como coordenadas E: 791428m, N: 9203379m y Z: 2947m. En esta estación se observa una intensa deformación en las rocas areniscas de la Formación Farrat (Figura 63); así mismo se comporta como falla de borde, ya que limita la continuidad de secuencias del relleno de la cuenca, ya que recortar transversalmente a la cuenca. Se han medido 2 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 18).

Tabla 18. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-14.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	8	74	141	DxNx
E2	9	75	140	DxNx

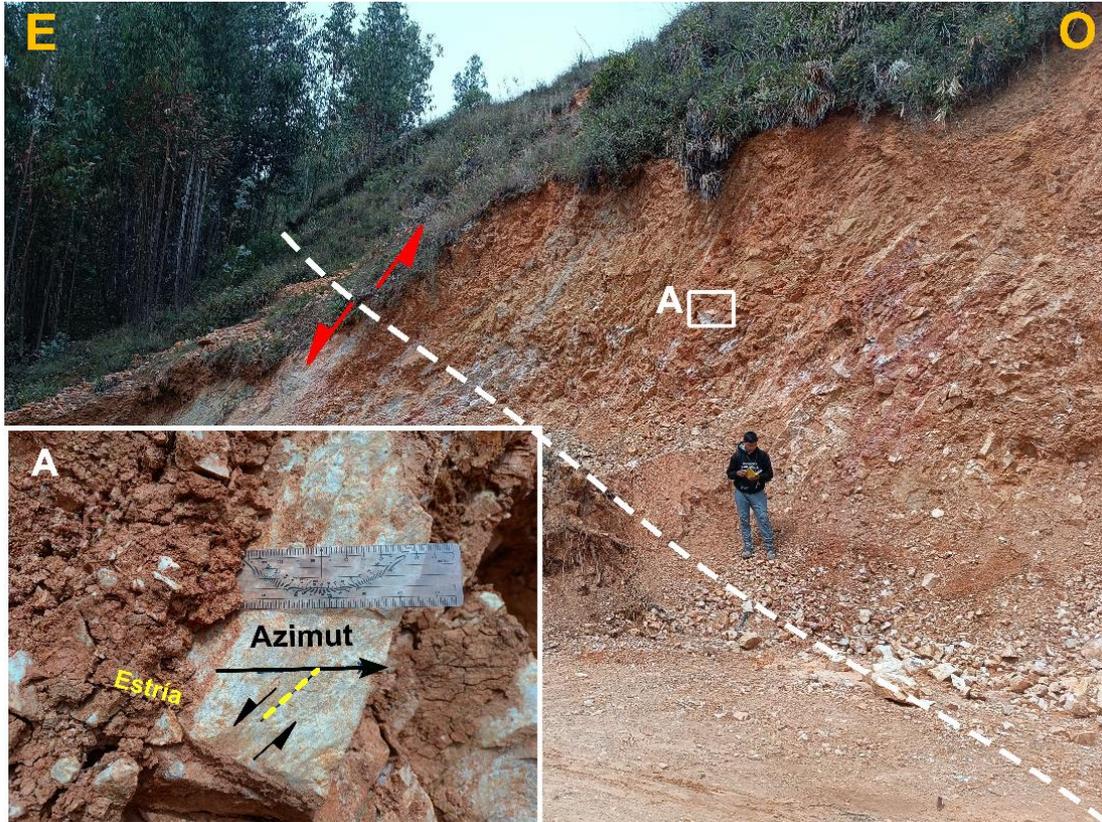


Figura 63. Areniscas intensamente fracturado por fallas normales de borde de cuenca. A. Detalle del indicador cinemático.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La compresión (σ_1) muestra una orientación NE-SO, con un trend y plunge de 234° y 38.5° y la extensión (σ_3) una orientación NO-SE (Figura 64), con un trend y plunge de 132.7° y 14.2° , respectivamente. Las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de transtensión.

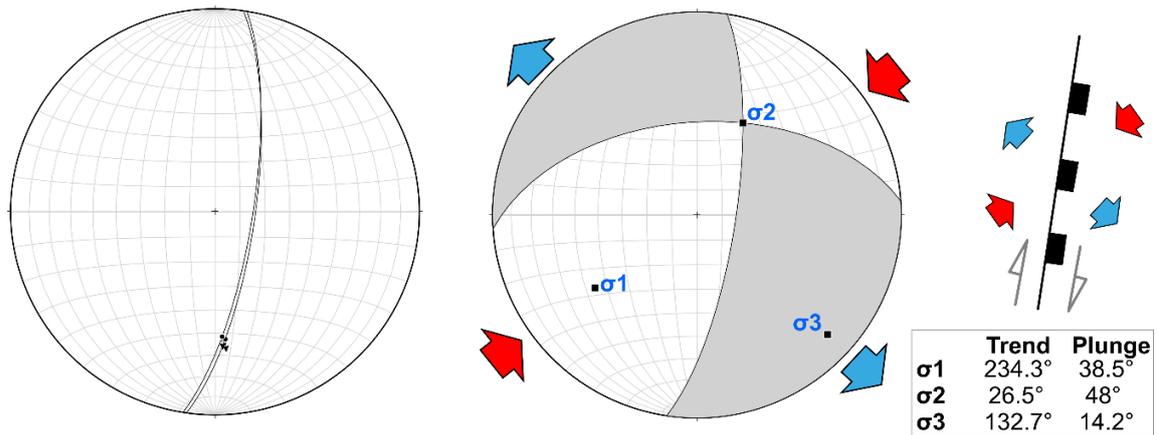


Figura 64. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NE-SO y una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.

3.7.1.15. Estación (K-15)

Se localiza en la Quebrada Huacamayo. Tiene como coordenadas E: 792870m, N: 9203421m y Z: 2833m. El plano de falla afecta a la Formación Chimu y lateralmente muestran un conjunto de fracturas conjugadas al plano principal. Esta estructura se observa en la base de la cuenca, y le sobreyacen en forma de discordancia angular las secuencias proximales del relleno de la cuenca (diatomitas) (Figura 65). Se han medido 2 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 19).

Tabla 19. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-15.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	12	65	57	SxNx
E2	15	64	50	SxNx

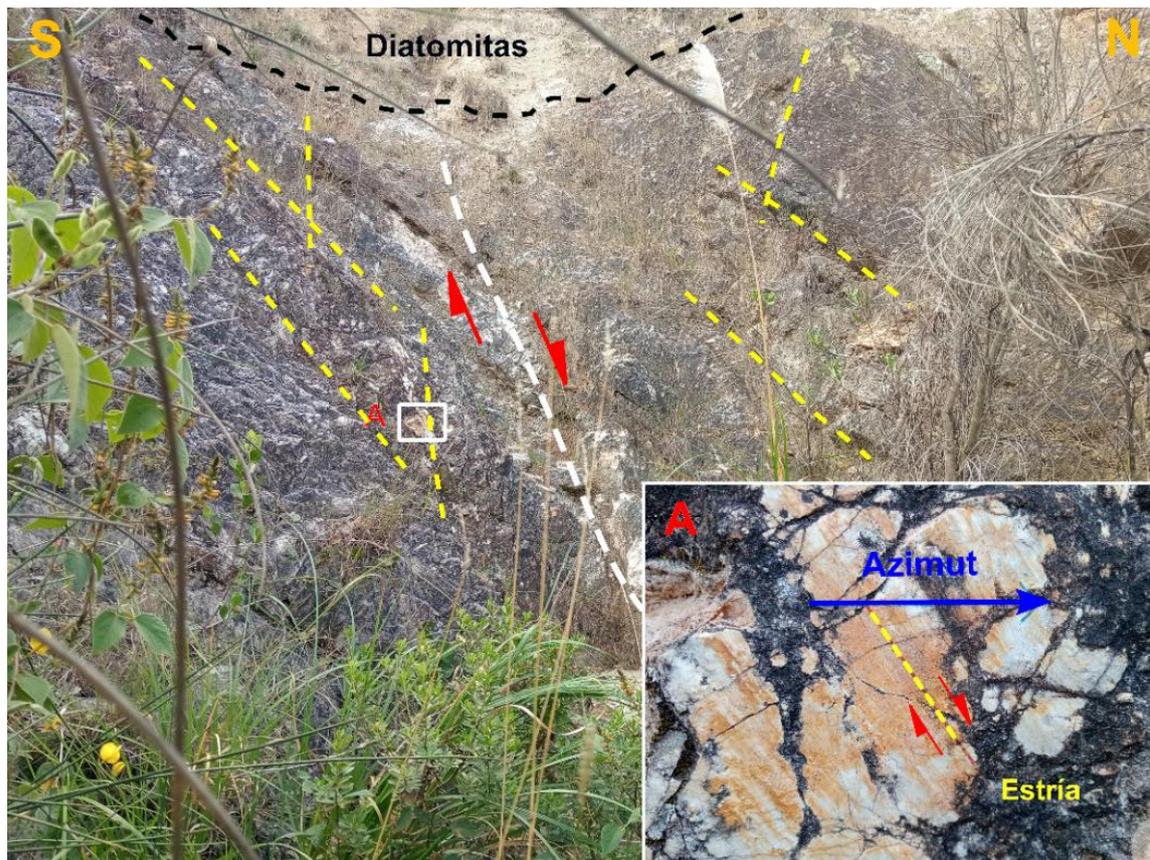


Figura 65. Falla normal, mostrando un conjunto de fracturas conjugadas (línea discontinua amarilla), le sobreyacen en forma de discordancia angular las secuencias de diatomitas A. Detalle del plano mostrando la cinemática.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La compresión (σ_1) muestra una orientación NO-SE, con un trend y plunge de 330.5° y 54.8° y la extensión (σ_3) una orientación ENE-OSO (Figura 66), con un trend y plunge de 078.1° y 12.1° , respectivamente. Las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de transtensión.

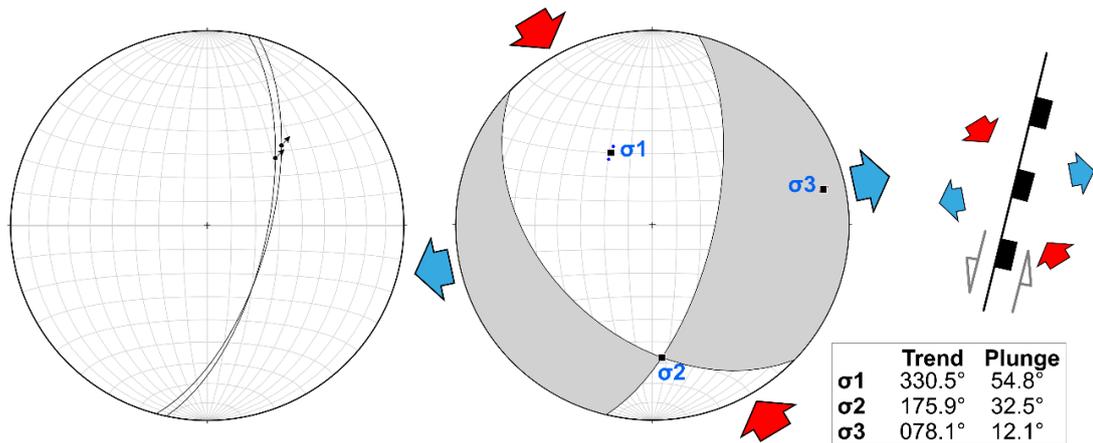


Figura 66. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NO-SE y una extensión (σ_3) de orientación ENE-OSO.

3.7.1.16. Estación (K-16): Falla Las Lomas

se localiza en el cerro Las Lomas, en el borde sur de la cuenca. Tienen como coordenadas E. 793554m, N. 9201817 y Z. 3001. El plano de falla muestra el desplazamiento de cinemática dextral normal, evidenciado en las estrías y en el desplazamiento de las Formaciones Farrat, Inca y Chulec (Figura 67). Se ha medido una orientación de estría de la falla (Tabla 20).

Tabla 20. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-16.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	195	70	110	DxNx

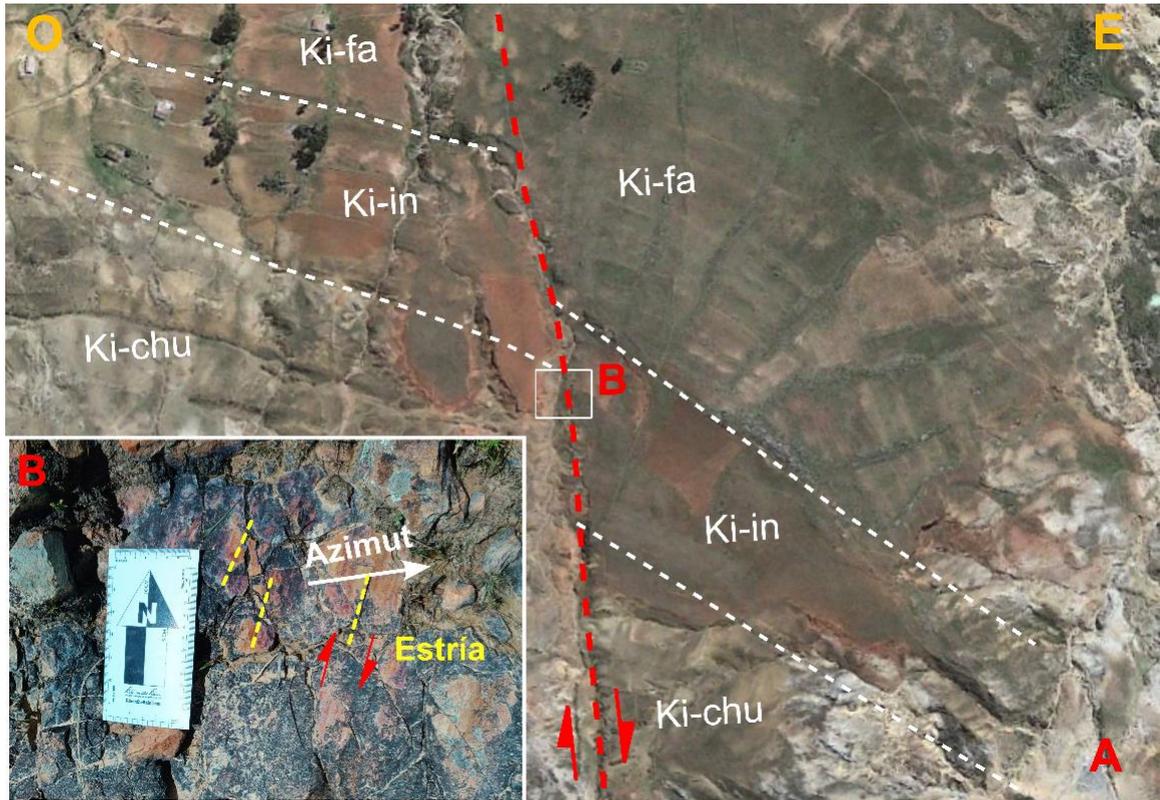


Figura 67. A. Vista satelital de la falla mostrando el desplazamiento de las Formaciones, Farrat, Inca y Chulec. B. Detalle del plano de falla de cinemática dextral.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La compresión (σ_1) muestra una orientación NNE-SSO, con un trend y plunge de 076.1° y 60° y la extensión (σ_3) una orientación NO-SE (Figura 68), con un trend y plunge de 300.2° y 22.5° , respectivamente. Las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

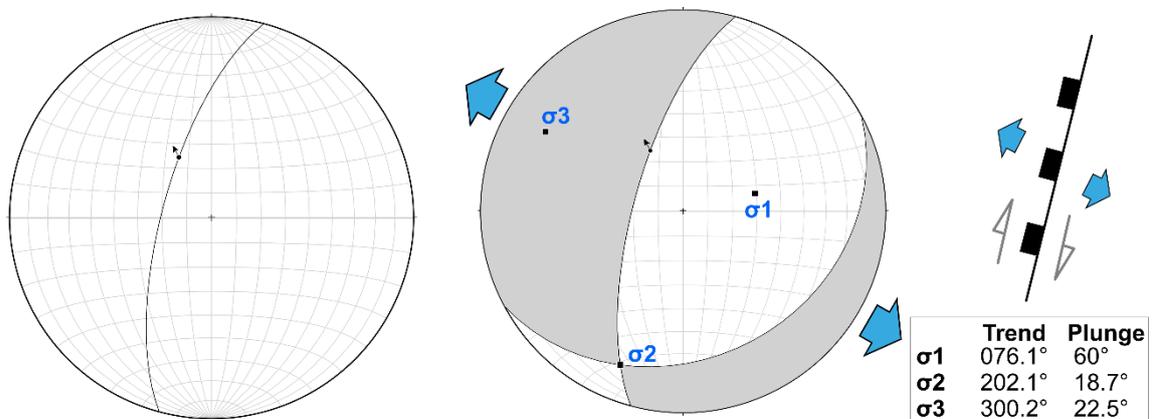


Figura 68. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_1) ENE-OSO y una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.

3.7.1.17. Estación (K-17): Falla Tuyorco

Se localiza en el Cerro las Lomas. Tiene como coordenadas E. 793953, N. 9201799, Z. 2938. La falla desplaza presenta una cinemática dextral normal, afectando a las areniscas de la Formación Farrat. En el extremo sur de la falla se tiene una secuencia de diatomitas y arcillitas, que cubre en discordancia a las areniscas ferruginosas de la Formación Inca (Figura 69). Esta estructura controla la depositación de las secuencias distales hacia el sureste. Se ha medido una orientación de estría de la falla (Tabla 21).



Figura 69. Vista panorámica de la falla que controla la depositación de la secuencia proximal hacia el sureste de la cuenca. A. Detalle del plano de falla.

Tabla 21. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-17.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	189	85	130	DxNx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La compresión (σ_1) muestra una orientación NE-SO, con un trend y plunge de 064.3° y 37° y la extensión (σ_3) una orientación NO-SE (Figura 70), con un trend y plunge de 310.2° y 28.6° , respectivamente. Las

orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de transtensión.

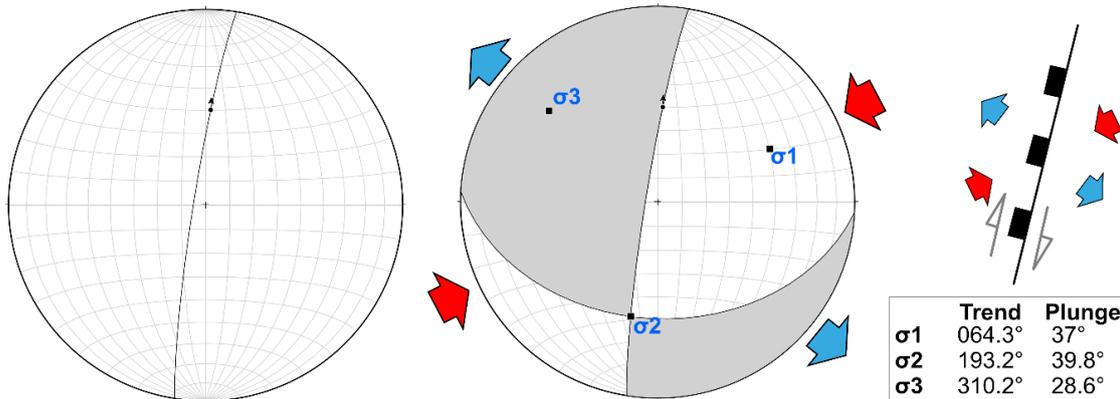


Figura 70. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NE-SO y una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.

3.7.1.18. Estación (K-18): Falla Sulluscocha

Se localiza en el caserío Sulluscocha, en el margen izquierdo de la carretera Cajamarca – Namora. Tiene como coordenadas E. 791071m, N. 9204312m y Z. 2981m. El plano de falla de cinemática normal, marca el contacto entre la Formación Santa y el relleno Lacustre de la cuenca. En el bloque techo se tiene a las secuencias de arenas del relleno de la cuenca. Esta falla recorta transversalmente a toda la cuenca (Figura 71). Se ha medido 1 orientación de la estría de falla (Tabla 22).

Tabla 22. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación K-18.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	350	60	110	Nx

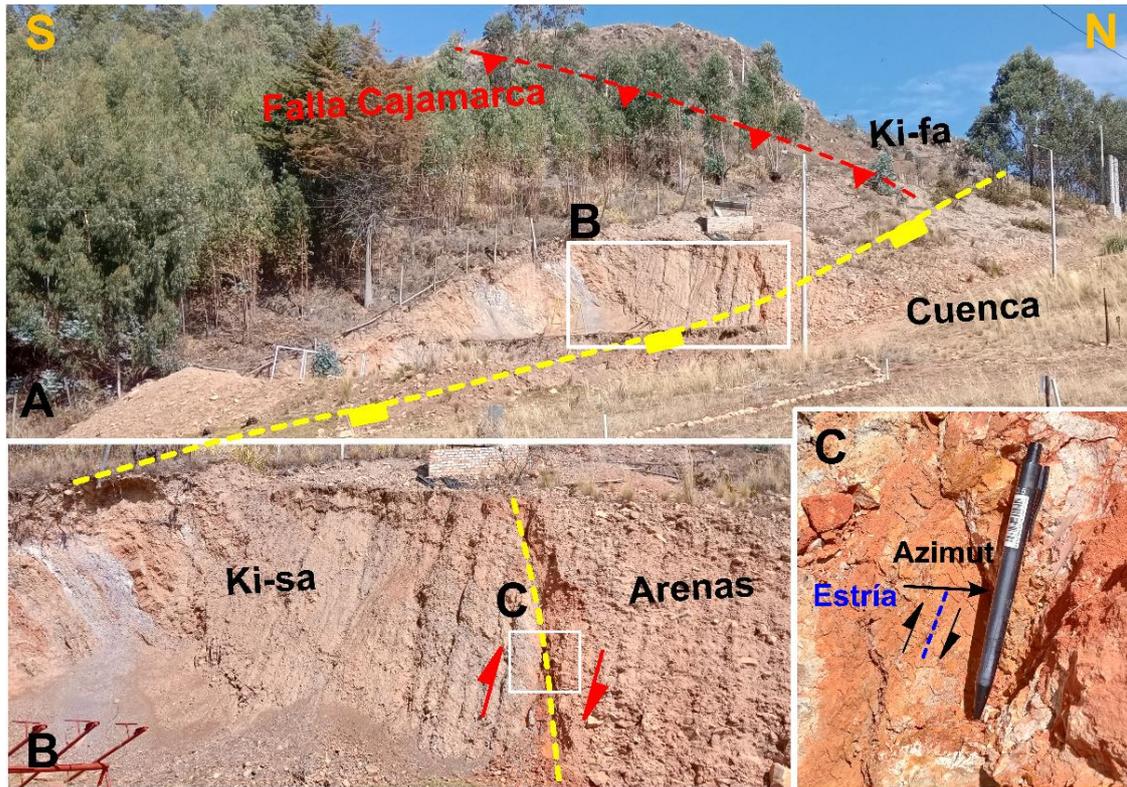


Figura 71. A. Vista panorámica de la falla normal, observado en el borde oeste de la cuenca. B y C. Detalles de los planos de falla mostrando el indicador cinemático.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación O-E (Figura 72), con un trend y plunge de 94.4° y 12.8° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

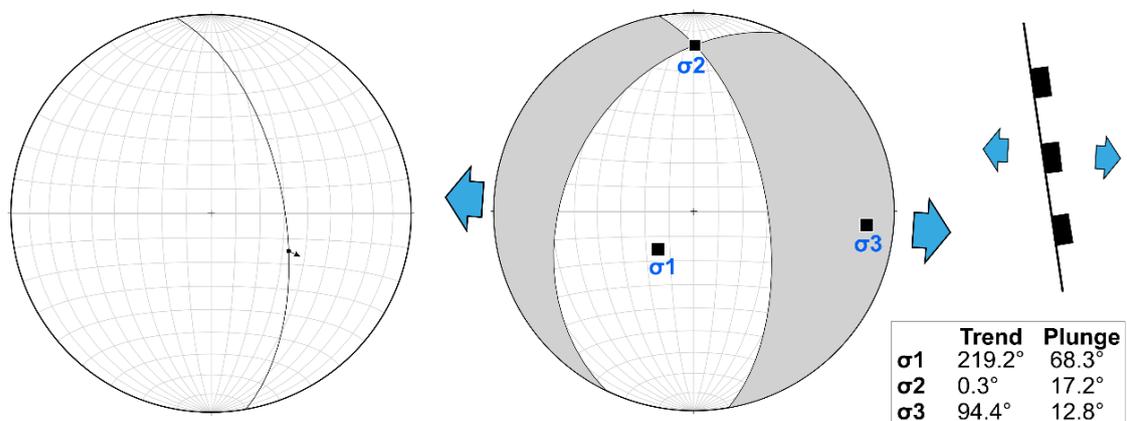


Figura 72. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación ONO-ESE.

3.7.2. Fallas en secuencias del Mioceno

3.7.2.1. Estación (M-01)

Localizada en la quebrada Bellavista, hacia el Sureste de la zona Zoolítica de los Sapitos. Tiene coordenadas E: 792201m, N: 9203864m, y Z: 2853. El plano de falla observado desplaza a las secuencias de limoarenitas y diatomitas (secuencia distal) de las secuencias de conglomerados (secuencia proximal) (Figura 73), además se tiene una fractura conjugada al plano de falla principal, desplazando las arcillitas violáceas. Se han medido 5 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 23)

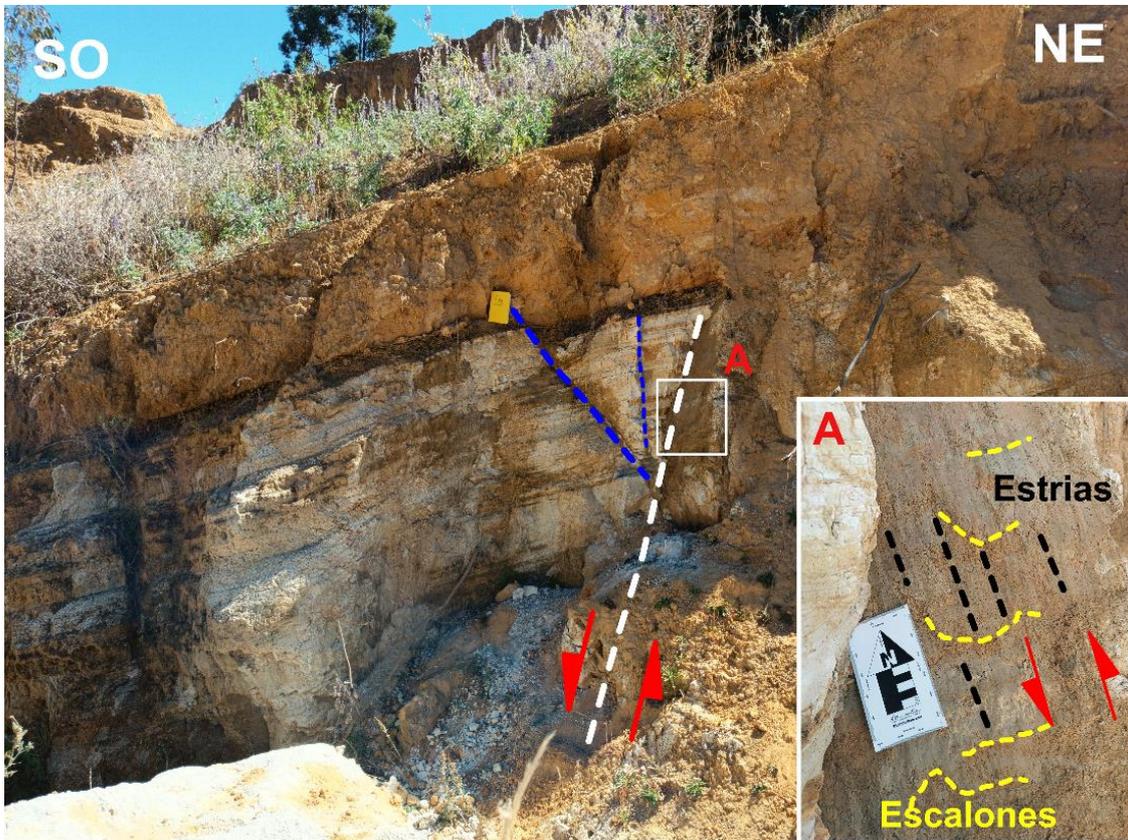


Figura 73. Falla Normal que desplaza secuencias de limoarenitas y diatomitas (línea discontinua azul) y plano conjugado (línea discontinua azul). A. detalle del plano de los indicadores cinemáticos.

Tabla 23. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-01.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	147	76	75	Nx
E2	146	74	80	Nx
E3	148	77	76	Nx
E4	150	79	78	Nx
E5	145	73	77	Nx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NE-SO (Figura 74), con un trend y plunge de 226.7° y 29.6° respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

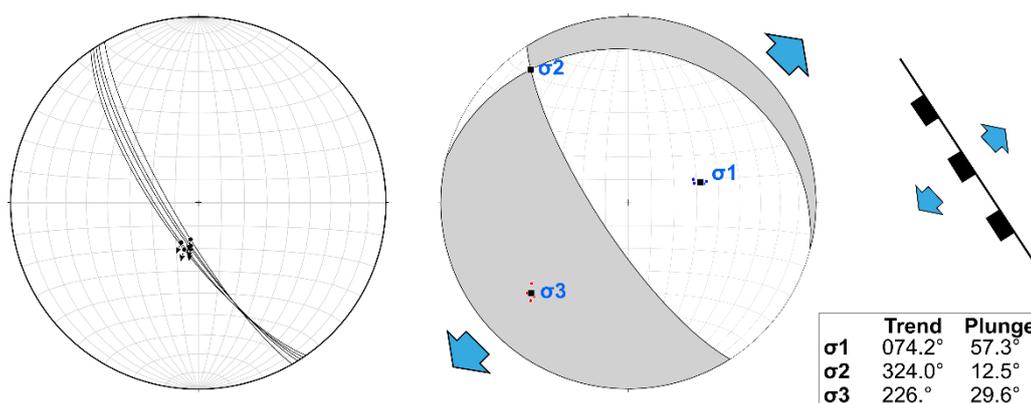


Figura 74. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NE-SO.

3.7.2.2. Estación (M-02)

Se localiza en el margen derecho de la quebrada Bellavista, hacia el Sureste de la estación M-01. Tiene coordenadas E: 792404m, N: 9203640m y Z: 2841. Los planos son fallas segmentadas que muestran desplazamientos de arcillitas violáceas, diatomitas y areniscas. Así mismo, se observan fallas conjugadas (línea discontinua amarillo) (Figura 75). Se han medido 4 orientaciones de las estrías de falla de cinemática Normal distribuidas en los dos planos de fallas (Tabla 24)

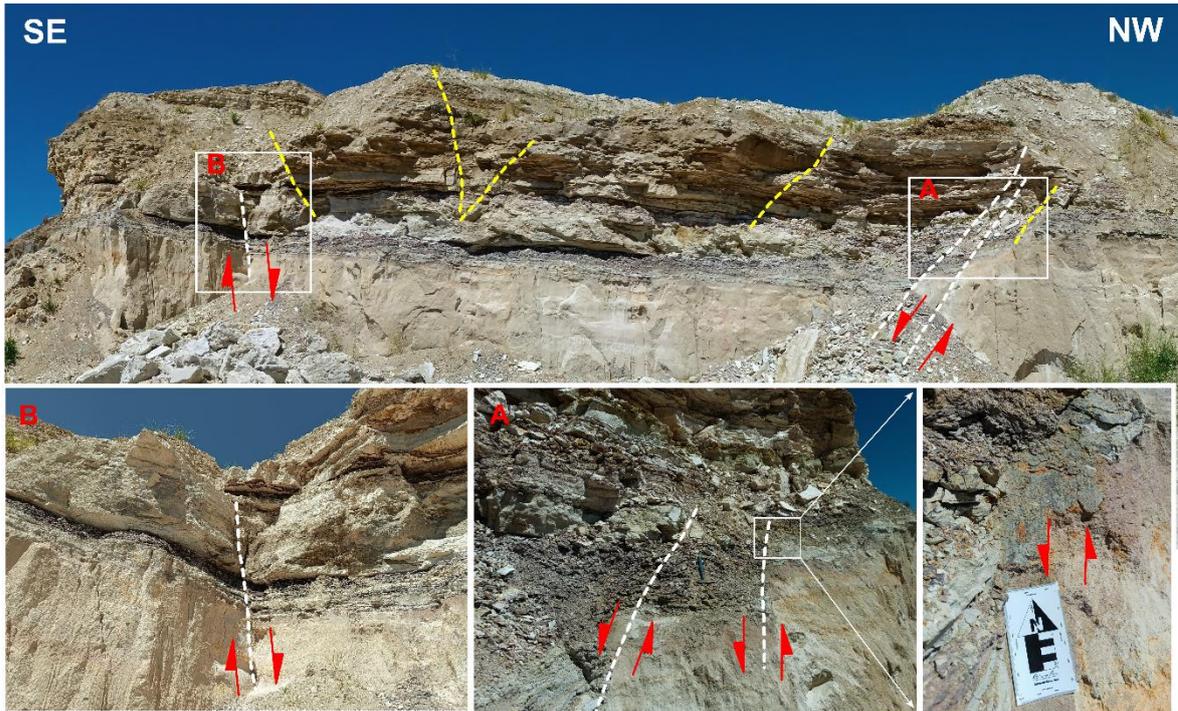


Figura 75. Vista panorámica de las fallas normales (líneas blancas) y fallas conjugadas (líneas amarillas), que afectan a secuencias de diatomitas y areniscas. A. detalle de los planos de fallas. B. Detalle del desplazamiento de arcillitas violáceas y diatomita.

Tabla 24. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-02.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	340	44	110	Nx
E1	342	42	115	Nx
E2	000	50	75	Nx
E2	355	48	73	Nx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación E-O (Figura 76), con un trend y plunge de 080.8° y 0° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

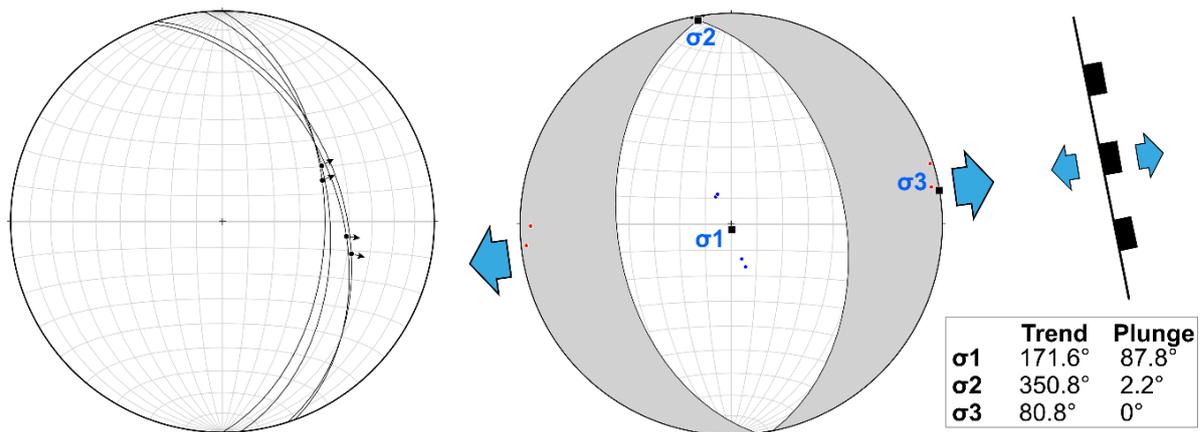


Figura 76. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación E-O.

3.7.2.3. Estación (M-03)

Se localiza el Sureste del caserío Sulluscocha. Tiene coordenadas E: 791056m, N: 9203760m y Z: 2955,8. Este plano de falla muestra un desplazamiento centimétrico de las secuencias horizontales (5° de buzamiento) de diatomitas y arcillitas (Figura 77). Parte de la continuidad del plano de falla se encuentra cubierto por depósito cuaternario. Se han medido 2 orientaciones de las estrías de falla de cinemática Normal (Tabla 25)

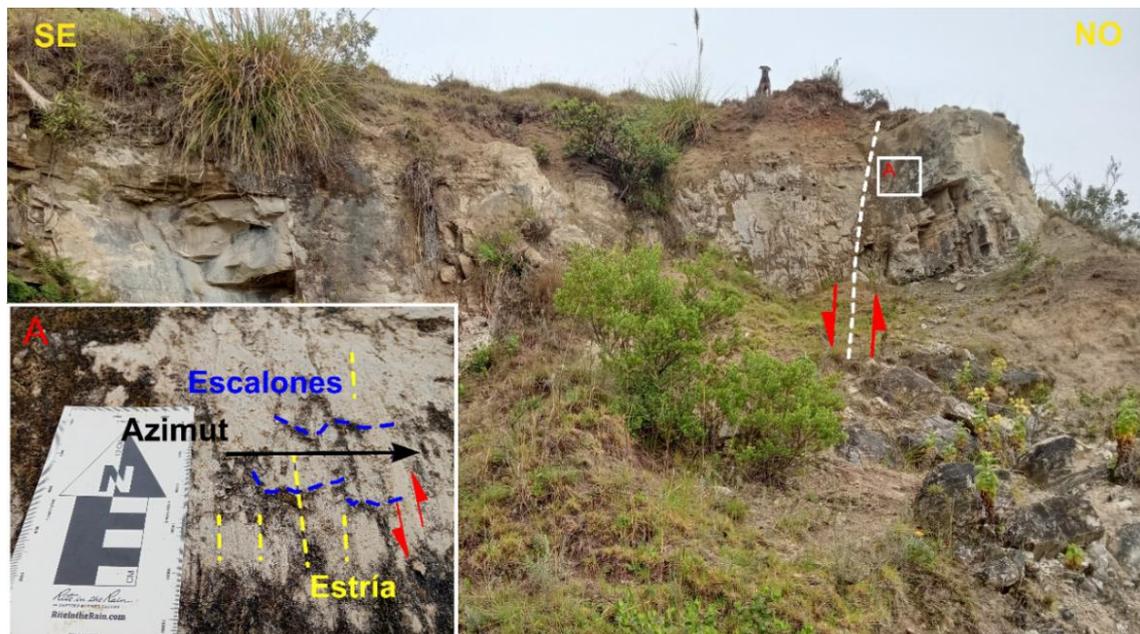


Figura 77. Plano de falla que afecta a secuencias de diatomitas y arcillitas en la parte superior. A. detalle del plano de falla mostrando los indicadores cinemáticos.

Tabla 25. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-03.

Estría	Azimut	Buzamiento	rake	Cinemática
E1	89	84	85	Nx
E2	88	75	85	Nx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación N-S (Figura 78), con un trend y plunge de 174.1° y 34.3° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

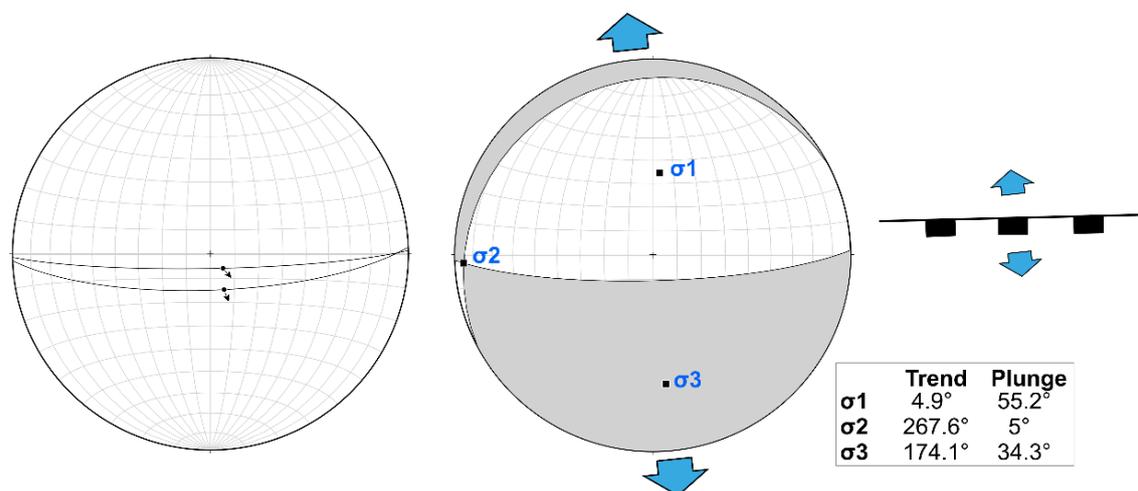


Figura 78. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación N-S.

3.7.2.3.1. Estación (M-04)

Se localiza al Sureste del caserío Sulluscocha. Tiene coordenadas E: 791079m, N: 9203746m y Z: 2952m. El plano de falla, también desplaza a las secuencias horizontales de diatomitas y arcillitas, además se muestra relleno de aragonito (Figura 79) y la continuidad de la estructura se encuentra cubierto por depósito cuaternario. Se han medido 2 orientaciones de las estrías de falla (Tabla 26).

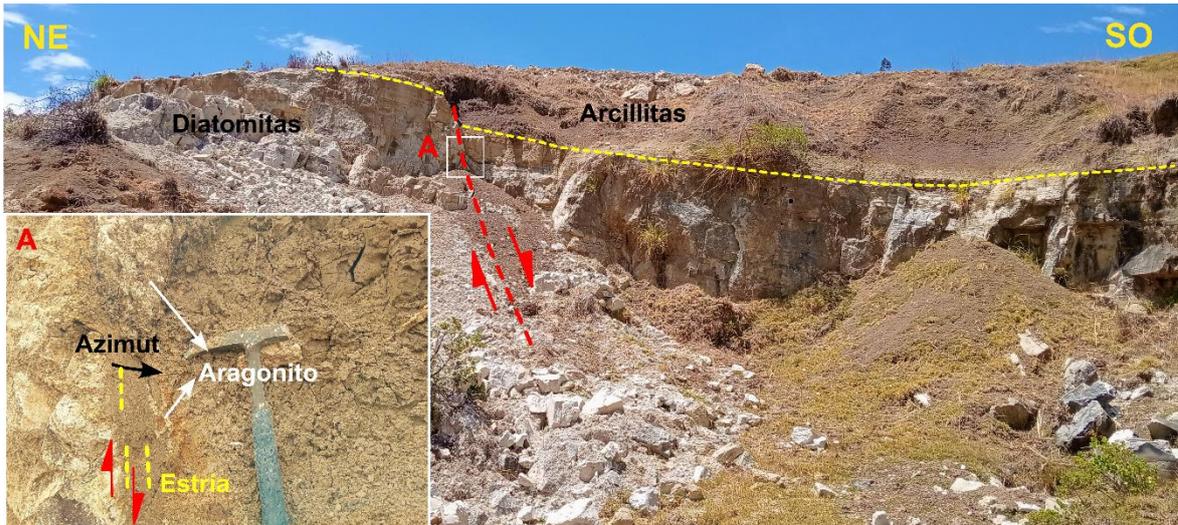


Figura 79. Plano de falla, relleno de aragonito que afecta a secuencias de diatomitas. A. Detalle del plano de falla.

Tabla 26. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-04.

Estría	Azimut	Buzamiento	rake	Cinemática
E1	141	67	107	Nx
E2	139	68	106	Nx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NE-SO (Figura 80), con un trend y plunge de 242.4° y 20.8° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

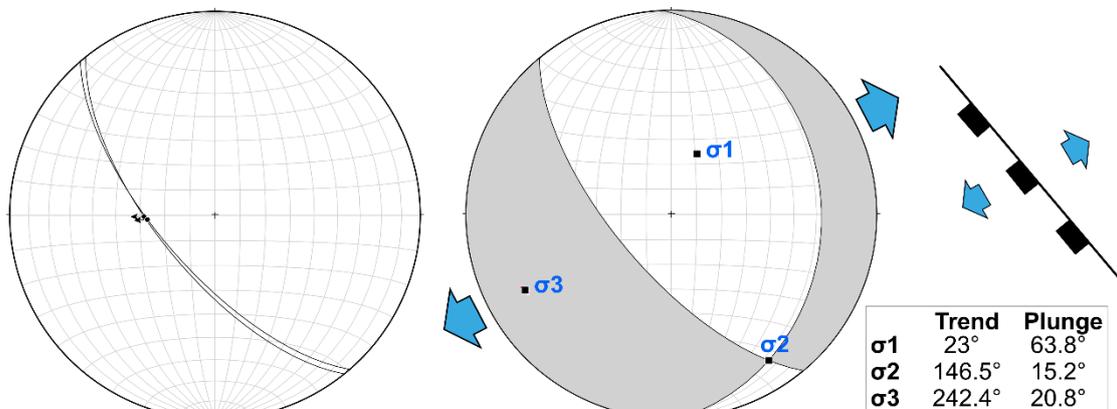


Figura 80. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.

3.7.2.4. Estación (M-05)

Se localiza en el caserío Sulluscocha. Tiene como coordenadas E: 791131m, N: 9203704m y Z: 2953 m. El plano de falla muestra un desplazamiento métrico de las secuencias de conglomerados, arcillitas y diatomitas de la Formación Namora (Figura 81). Se han medido 2 orientaciones de estrías de falla (Tabla 27).

Tabla 27. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-05.

Estría	Azimut	Buzamiento	Rake	Cinemática
E1	11	64	50	SxNx
E2	10	61	44	SxNx

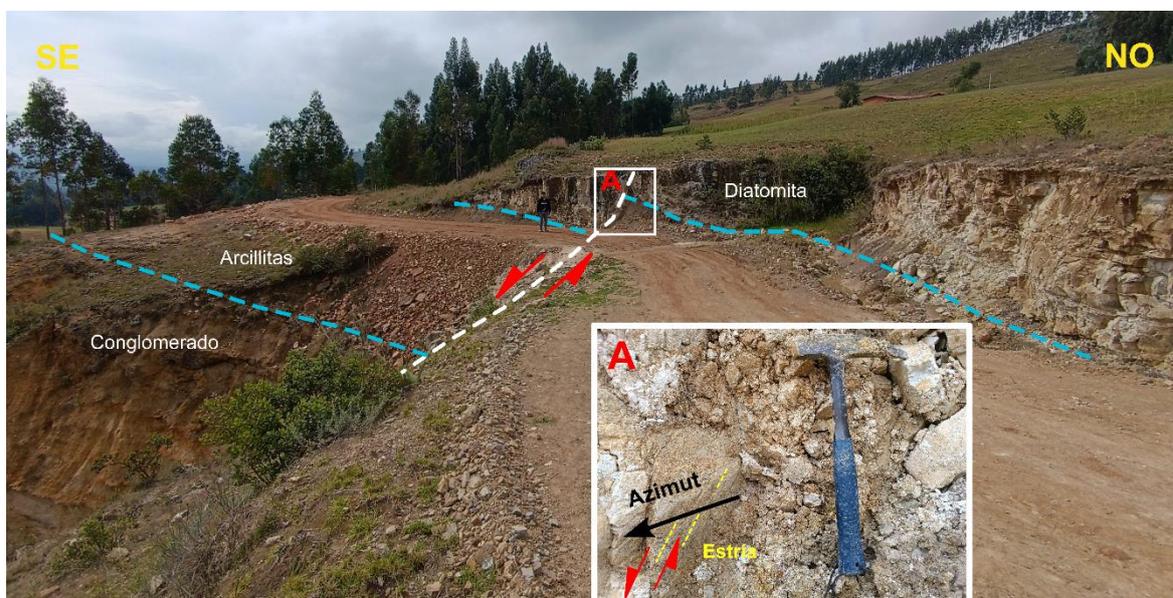


Figura 81. Vista panorámica de la falla normal, que desplaza secuencias de conglomerados, arcillitas y diatomitas. A. Detalle de la falla mostrando la cinemática.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La compresión (σ_1) muestra una orientación NO-SE, con un trend y plunge de 331.6° y 51.7° y la extensión (σ_3) una orientación ENE-OSO (Figura 82), con un trend y plunge de 071.4° y 7.6° , respectivamente. Las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de transtensión.

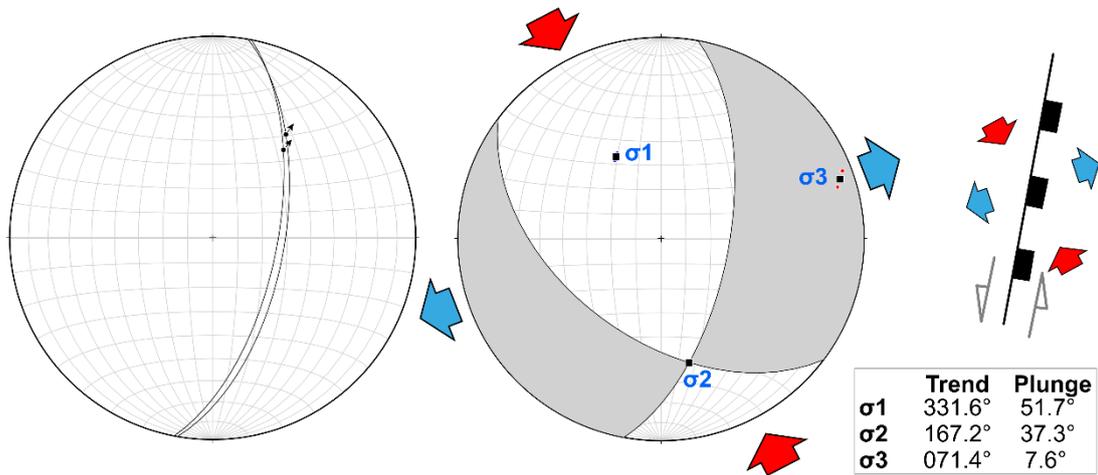


Figura 82. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) NO-SE y una extensión (σ_3) de orientación ENE-OSO.

3.7.2.5. Estación (M-06)

Se localiza en el margen izquierdo (aguas abajo) de la Quebrada Huacamayo. Tiene coordenadas E: 791773m, N: 9202716m y Z: 2965m. Se identifican un conjunto de fallas sinestrales inversas (Sxlx), evidenciado en los indicadores cinemáticos y en el desplazamiento estratigráfico de la secuencia de arcillitas grises (Figura 83). Se han medido 2 orientaciones de estrías de falla (Tabla 28)

Tabla 28. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-06.

Estría	Azimut	Buzamiento	rake	Cinemática
E1	310	89	145	Sxlx
E2	311	85	140	Sxlx

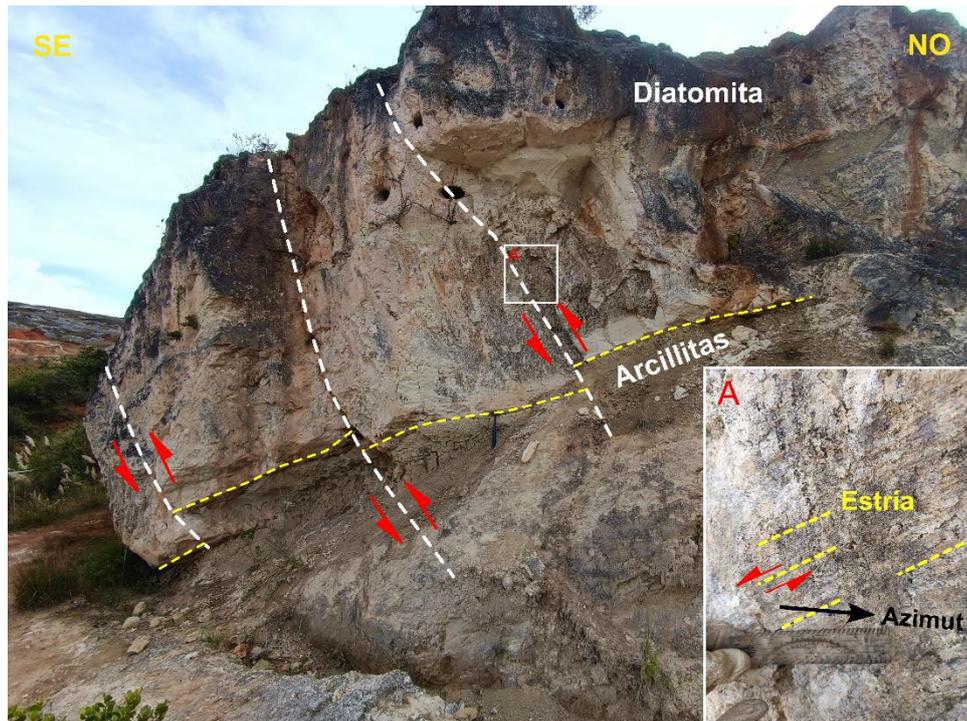


Figura 83. Sistema de fallas inversas, mostrando desplazamiento estratigráfico de las secuencias de diatomitas y arcillitas. A. Detalle del plano de falla, con el indicador cinemático.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La compresión (σ_1) muestra una orientación E-O, con un trend y plunge de 078.1° y 23.1° y la extensión (σ_3) una orientación N-S (Figura 84), con un trend y plunge de 181.1° y 27.8° , respectivamente. Las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de compresión.

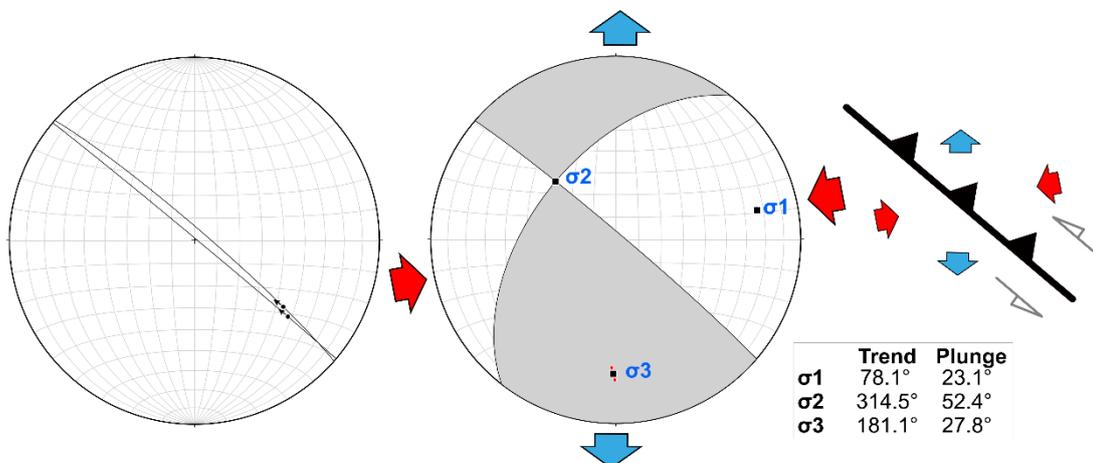


Figura 84. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una compresión (σ_1) E-O y una extensión (σ_3) de orientación N-S.

3.7.2.6. Estación (M-07)

Se ubica en el margen izquierdo aguas abajo de la quebrada Huacamayo. Tiene como coordenadas E: 792716m, N: 9203378m y Z: 2840m. El plano de falla desplaza a las secuencias de diatomitas. Sin embargo, esta estructura también tiene la misma orientación del plano de falla (cubierto) que afecta a las secuencias de diatomitas y a las arcillitas de la Formación Santa (basamento), observado en la base de la Quebrada (Figura 85). Se han medido 2 orientaciones de estrías de falla (Tabla 29).

Tabla 29. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-07.

Estría	Azimut	Buzamiento	rake	Cinemática
E1	10	42	120	Nx
E2	12	44	115	Nx

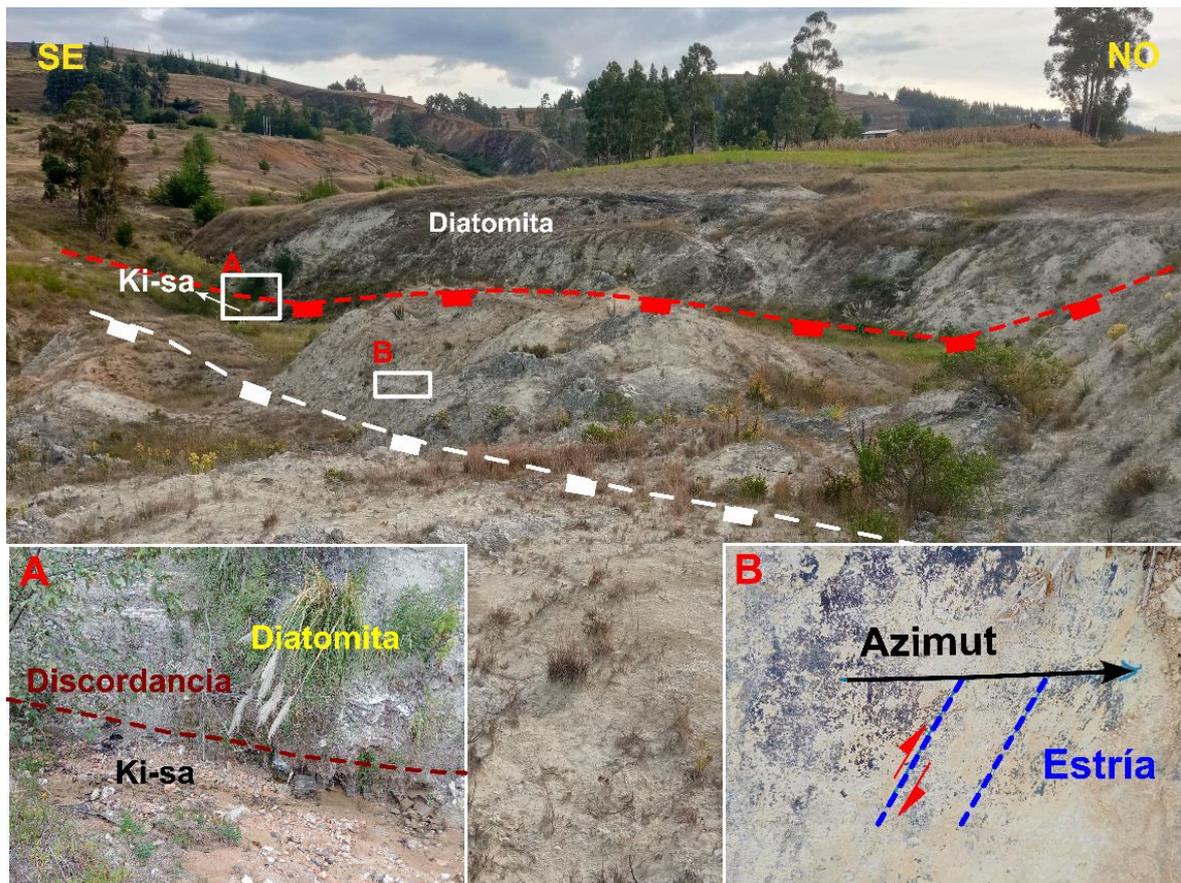


Figura 85. Vista panorámica de las secuencias de diatomitas, que sobreyacen en discordancia angular a la Formación Santa. A. detalle del contacto discordante de la Formación Santa y las diatomitas. B. Detalle del plano de Falla.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NO-SE (Figura 86), con un trend y plunge de 300.1° y 5.1° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

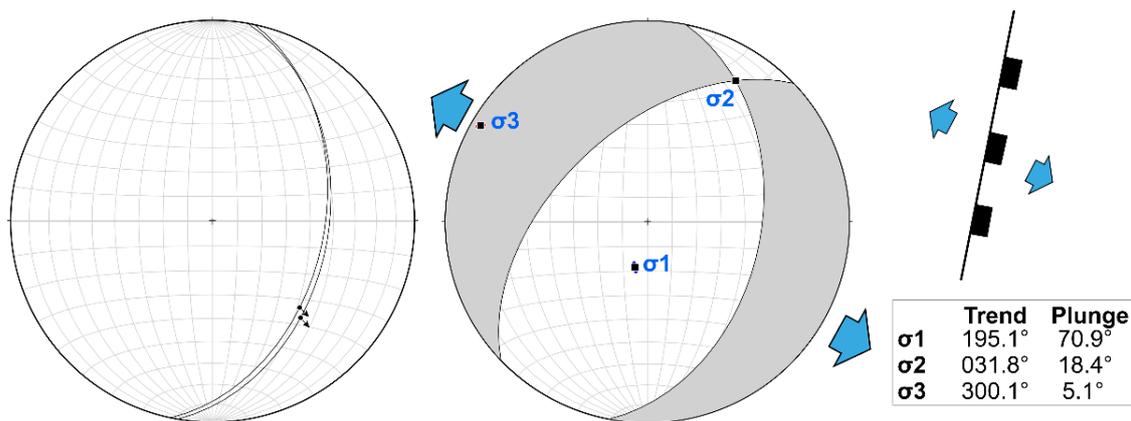


Figura 86. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.

3.7.2.7. Estación (M-08)

Se localiza en el margen derecho de la Quebrada Bellavista. Tiene como coordenadas E: 792707m, N: 9203516m y Z: 2853. El plano de falla muestra un desplazamiento estratigráfico y un pliegue de arrastre de las arcillitas de violáceas y diatomitas de la cuenca (Figura 87). La diferencia de espesores de las capas de diatomitas en el bloque techo (mayor espesor) y piso (menor espesor) de falla refleja variaciones en la actividad de la falla a lo largo del tiempo. Se han medido 2 orientaciones de estrías de falla (Tabla 30).

Tabla 30. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-08.

Estría	Azimut	Buzamiento	rake	Cinemática
E1	35	40	85	Nx
E2	30	42	80	Nx

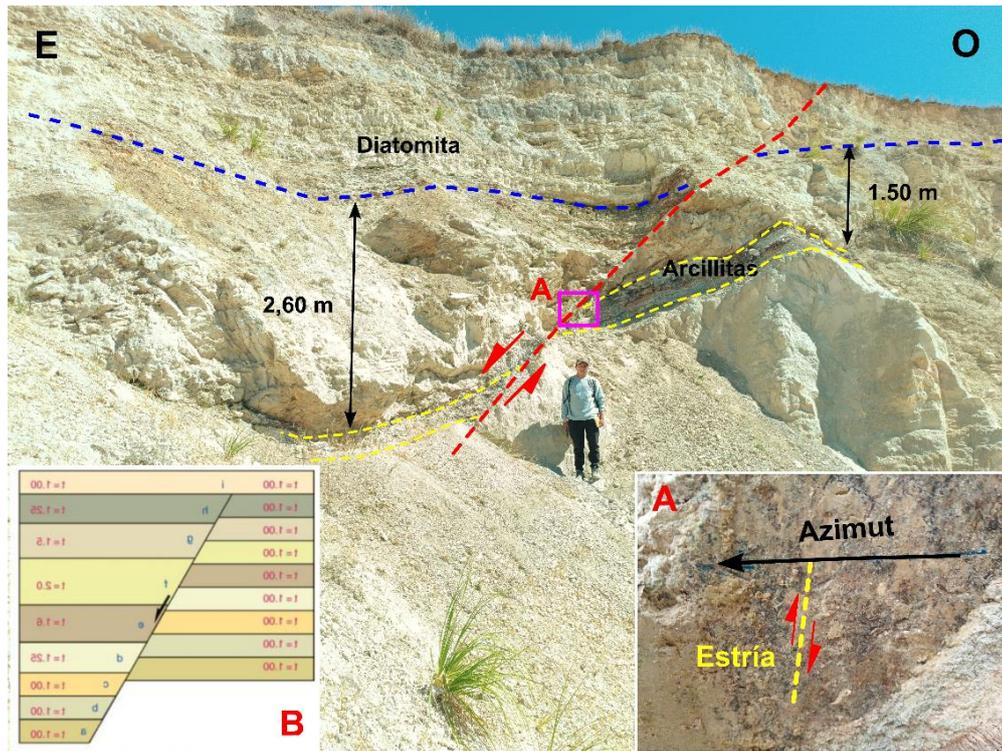


Figura 87. Falla normal que muestra pliegue de arrastre en las arcillitas, y la diferencia de espesores de las diatomitas. A. detalle del plano de falla con el indicador cinemático. B. Esquema idealizado de fallas sinsedimentrias mostrando la diferencia de espesores (Fossen, 2016).

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación NO-SE (Figura 88), con un trend y plunge de 297.1° y 4.2° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

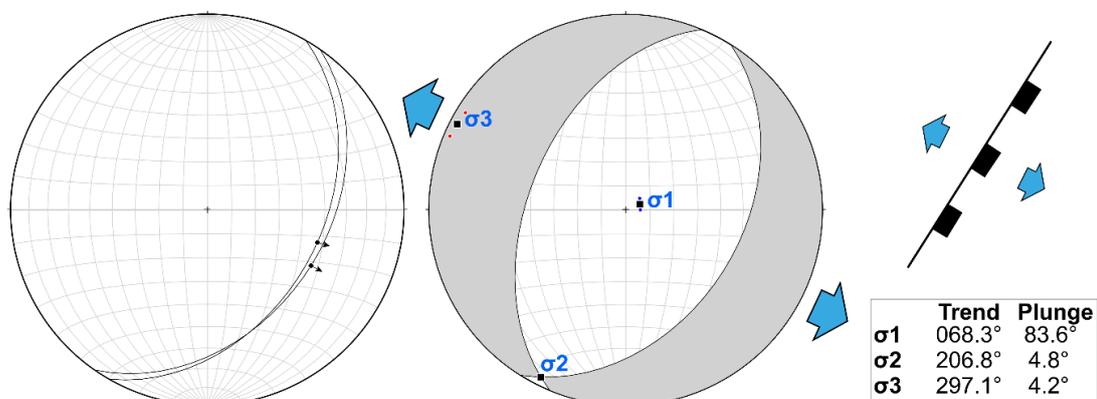


Figura 88. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación NO-SE.

3.7.2.8. Estación (M-09)

Se localiza en el margen izquierdo (aguas abajo) de la Quebrada Huacamayo. Tiene como coordenadas E: 792905m, N: 9203473m, Z: 2827m. El afloramiento muestra planos de fallas conjugados de cinemática normal, desplazando secuencias de arcillitas, arenas de grano fino y secuencias de tobas (Figura 89). Se han medido 3 orientaciones de estrías de falla (Tabla 31).

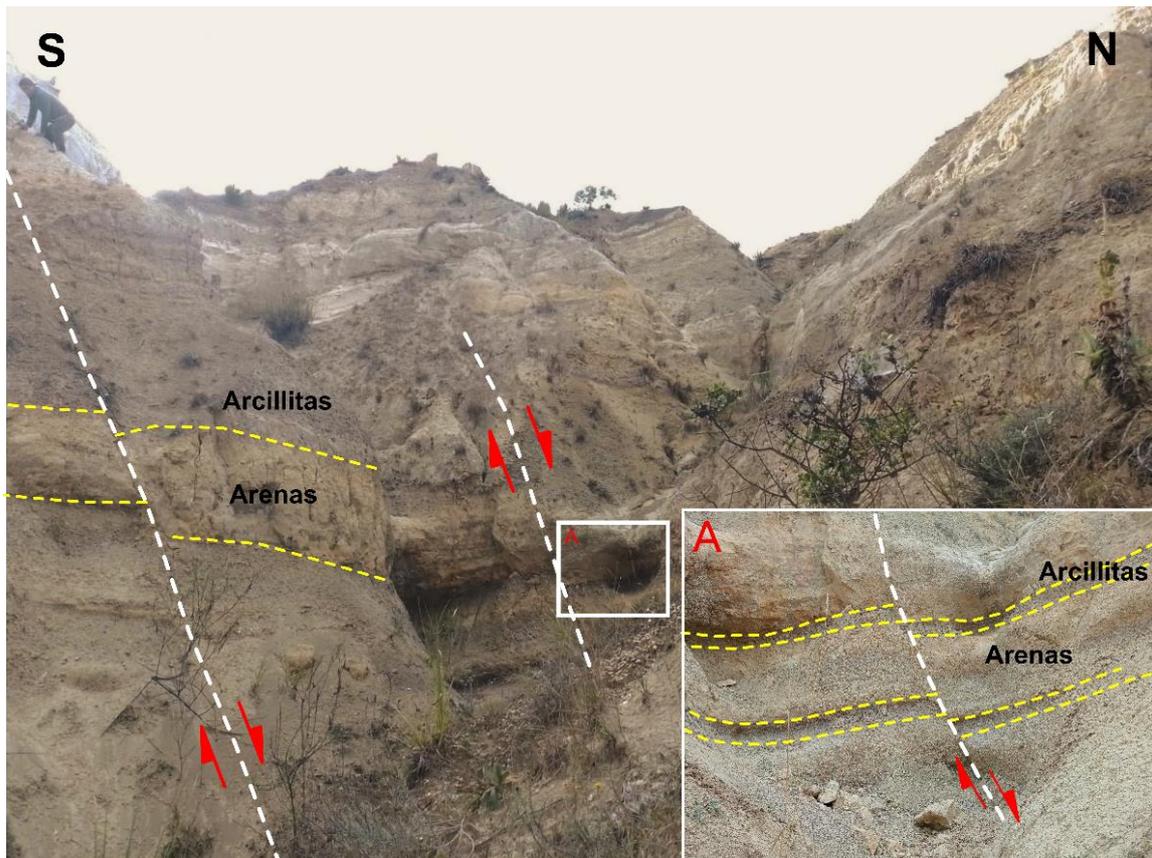


Figura 89. Fallas normales (líneas discontinuas blancas), mostrándolo desplazamiento estratigráfico de secuencias de arcillitas y arenas (línea discontinua amarilla). A. Detalle del plano de falla mostrando desplazamiento normal.

Tabla 31. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-09.

Estría	Azimut	Buzamiento	rake	Cinemática
E1	185	72	103	Nx
E2	352	55	93	Nx
E3	320	49	127	Nx

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación E-O (Figura 90), con un trend y plunge de 268.2° y 7.3° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

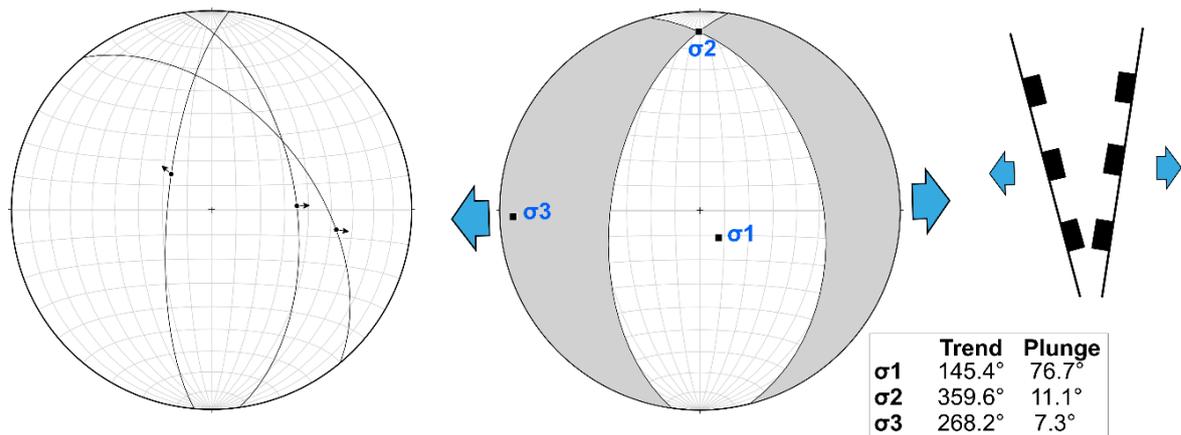


Figura 90. Análisis estereográfico de los planos de fallas conjugados, que indican una extensión (σ_3) de orientación E-O.

3.7.2.9. Estación (M-10)

Se localiza en el margen izquierdo (aguas abajo) de la Quebrada Bellavista. Tiene como coordenadas E: 791897m, Z: 9203886m y Z: 2869m. El plano de falla desplaza a las secuencias de arcillitas violáceas y diatomitas; tiene una zona de daño asociado de 2 metros (Figura 91). Se han medido 2 orientaciones de estrías de falla (Tabla 32)

Tabla 32. Indicadores cinemáticos del plano de falla de la estación M-10.

Estría	Azimut	Buzamiento	rake	Cinemática
E1	10	73	85	Nx
E2	355	72	88	Nx

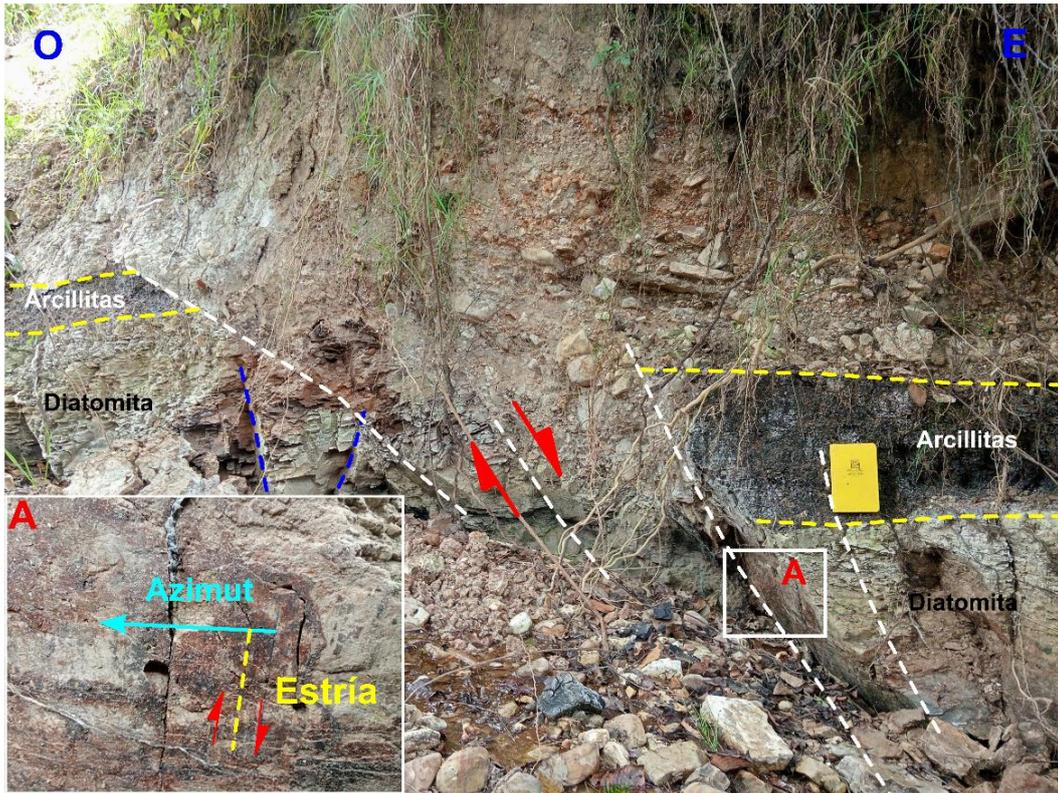


Figura 91. Falla normal, asociado una zona de daño de 2 metros, fracturas conjugadas (línea discontinua azul). A. detalle del plano de falla con su indicador cinemático.

La presentación de los planos de fallas, realizados mediante el método de diedros rectos (Marret y Allmendinger, 1990), indican campos de extensión (color gris) y compresión (color blanco). La extensión (σ_3) muestra una orientación E-O (Figura 92), con un trend y plunge de 89.7° y 27.3° , respectivamente. De acuerdo al método de Anderson, 1905; las orientaciones de los paleoesfuerzos (σ_1 , σ_2 y σ_3), indican un régimen de extensión.

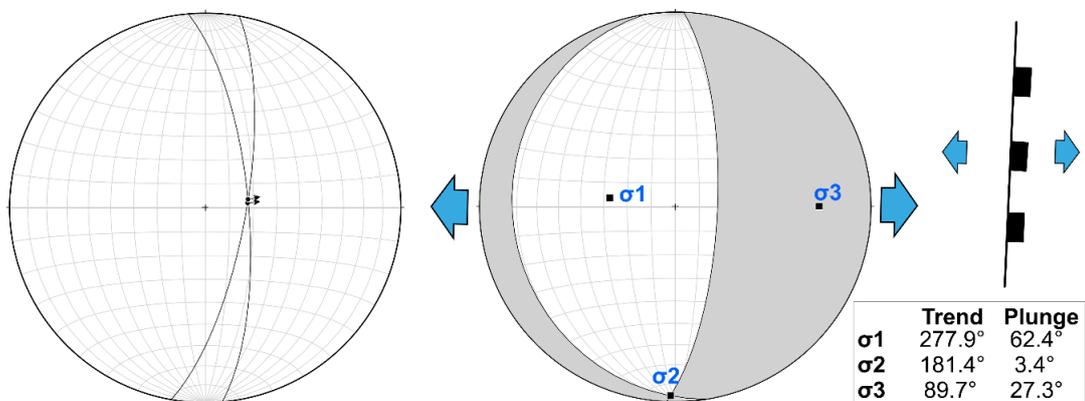


Figura 92. Análisis estereográfico de los planos de fallas, que indican una extensión (σ_3) de orientación E-O.

3.7.2.10. Estación (M-11)

Se localiza en la Quebrada Bellavista. Tiene como coordenadas E: 791469m, N: 9203800m y Z: 2911. En esta estación se muestra una falla sinsedimentaria, que afecta a la secuencia fluvio lacustre de la cuenca. La diferencia de espesores de las capas de grava en el bloque techo (mayor espesor) y piso (menor espesor) de falla refleja variaciones en la actividad de la falla a lo largo del tiempo (Figura 93) se ha medido la orientación del plano falla, pero no se evidencia estrías debido a la erosión. La cinemática se ha determinado debido al desplazamiento estratigráfico.

Tabla 33. Datos del plano de falla de la estación M-11.

Estructura	Azimut	Buzamiento	rake	Cinemática
Falla	15	75	-	Nx

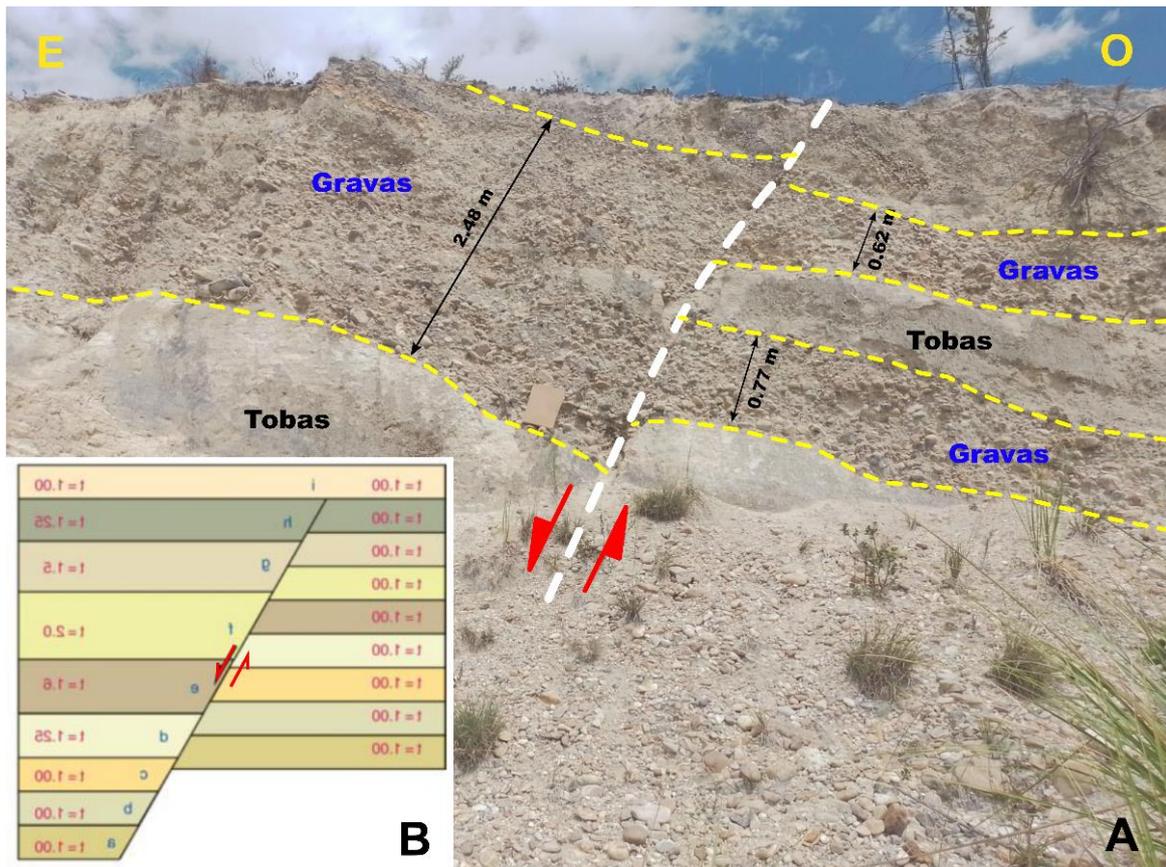


Figura 93. A. Falla sinsedimentaria, que muestra la variación de espesor de las capas de gravas en ambos lados del plano de falla (línea discontinua blanca). B. Esquema idealizado de fallas sinsedimentarias mostrando la diferencia de espesores (Fossen, 2016).

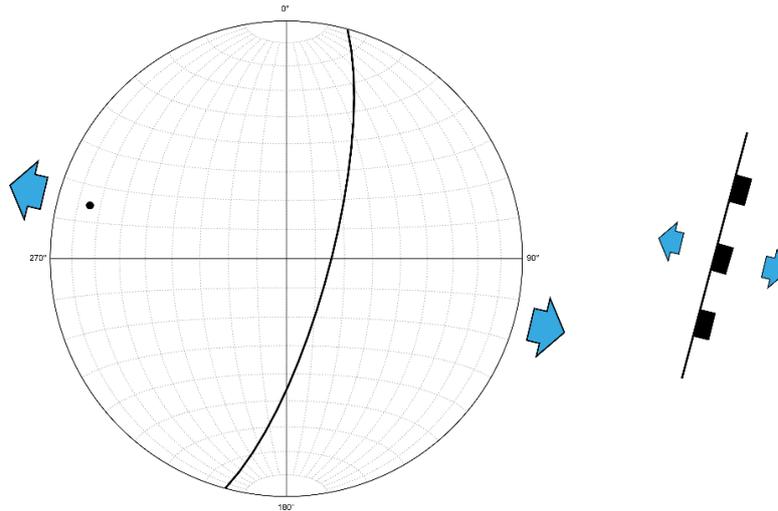


Figura 94. Diagrama de la red estereográfica con el ploteo del plano y el polo de la falla y la ubicación interpretada del tensor esfuerzo de extensión (σ_3) de orientación ONO-ESE.

3.7.3. Análisis de Fracturas.

El análisis de poblaciones de fracturas se ha realizado con la aplicación de técnicas estadísticas a partir del tratamiento de los datos de orientación (azimut) de las fracturas, estas se realizan con el software libre de Stereonet (Allmendinger et al., 2012).

3.7.3.1. Fracturas en secuencias Cretácicas

Con un total de 117 datos de fracturas, se realiza el gráfico de proyección estereográfica (Figura 95) observando Cuatro conjuntos de datos (familias estructurales). Los dos primeros con orientación ONO-ESE, con buzamiento hacia el Sur (D1) y norte (D2), respectivamente; el tercero con una orientación NNE-SSO, con buzamiento hacia el Este y el cuarto con NNO-SSE, con buzamientos hacia el Suroeste y noreste, respectivamente (Figura 95).

Los planos de las fracturas D3 y D4 corresponden a fracturas extensionales que son perpendiculares a los planos de estratificación (D1). Estas fracturas son paralelas al esfuerzo máximo de deformación (σ_1) y se asocia a una compresión de dirección NNO-SSE y con una ligera rotación hacia el NNE-SSO. Esta misma orientación muestra el primer evento de deformación para la zona de estudio. Así mismo esta compresión genera una distensión de dirección E-O (Figura 96).

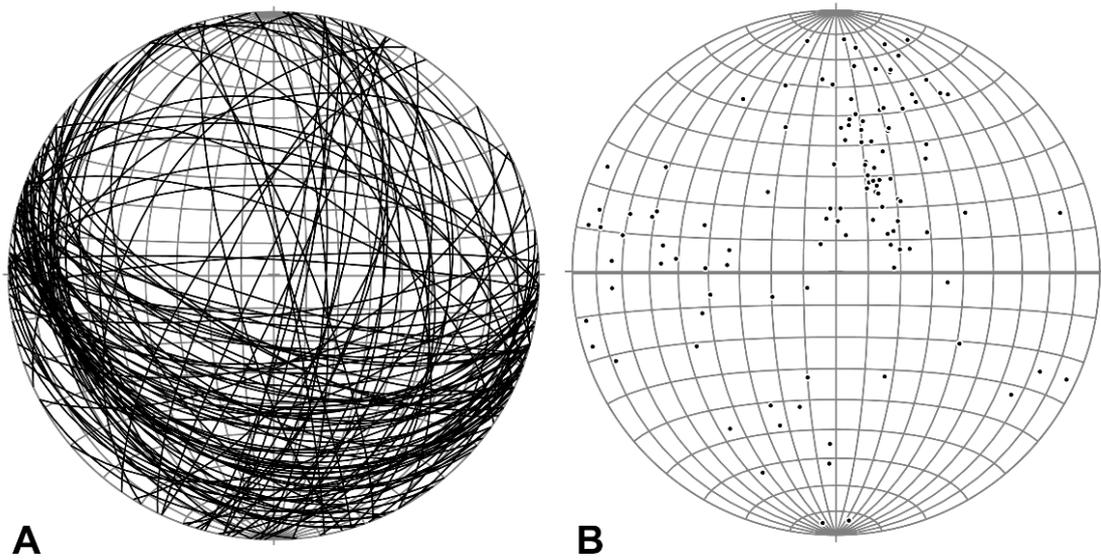


Figura 95. A. Representación de planos en estereograma de Schmidt. B. Ploteo de polos.

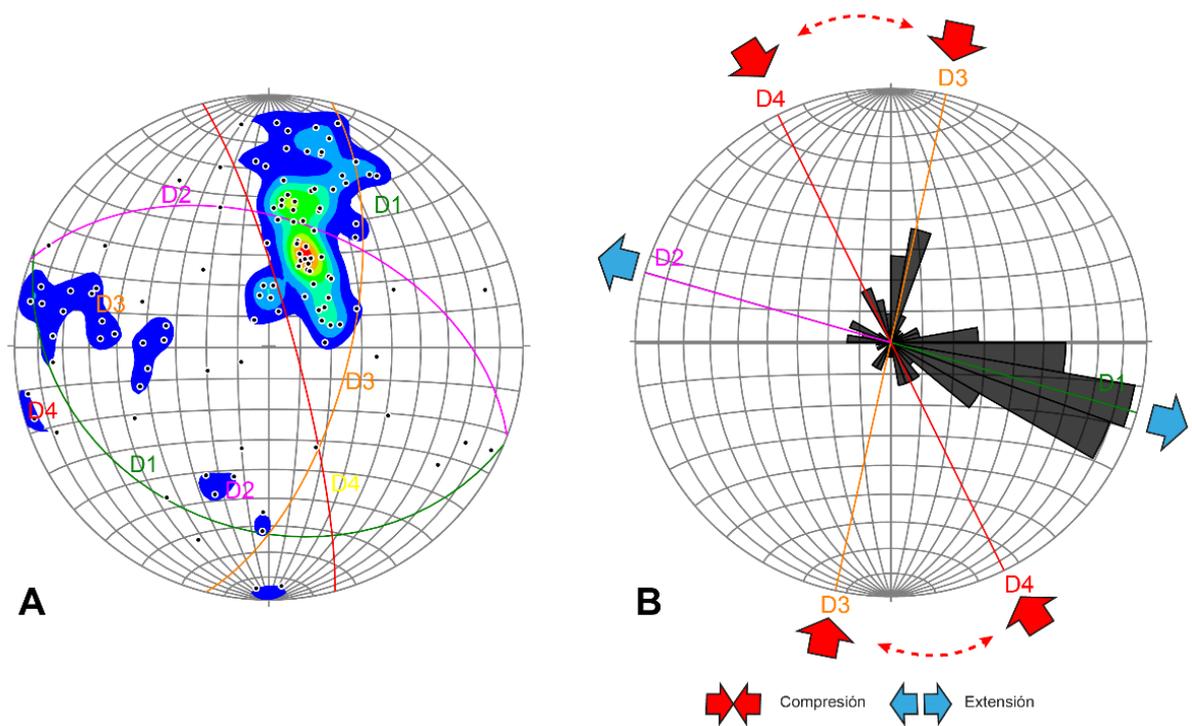


Figura 96. A. Diagrama de contornos, mostrando la concentración de polos. B. Diagrama de rosetas, mostrando las principales tendencias estructurales y la orientación interpretada de los paleoesfuerzos.

3.7.3.2. Fracturas en secuencias del Mioceno

Con un total de 110 datos de fracturas, se realiza el gráfico de proyección estereográfica (Figura 97) observando seis conjuntos de datos (familias estructurales). El set de fracturas F1, muestra una orientación NO-SE, con buzamiento hacia el sur este; las fracturas F2 tiene una orientación NNO-SSE, con buzamiento hacia el Este; F3 con una orientación NE-SO y buzamiento hacia el sureste; F4 muestra una orientación NE-SO, con buzamiento hacia el Noroeste, F5, tiene una orientación O-E, con buzamiento hacia el norte y F6 tiene una orientación ONO-ESE, con buzamiento hacia el sur.

Los sets de fracturas muestran planos conjugados, tal es el caso de las fracturas F2 y F6, que muestran una compresión NO-SE y una extensión NE-SO y las fracturas F5 y F6 con una compresión ONO-ESE y una extensión NNE-SSO. Estas orientaciones de extensión muestran una ligera dispersión en sentido horario (Figura 98) y son compatibles con el análisis de las fallas, que ha producido la apertura de la cuenca.

Las fracturas F4 y F2, son planos conjugados que muestran una compresión N-S y una extensión O-E. Esta misma orientación de extensión se muestran en las fallas sinsedimentarias de la cuenca; por lo tanto, estas fracturas se formaron bajo el mismo régimen de esfuerzo ya que existe una correlación. Así mismo los planos conjugados F4 y F3, muestran una compresión NE-SO y una Extensión NO-SE, los mismo que también son compatibles con las fallas, tanto dentro de la cuenca, así como en sus bordes.

Por lo tanto, los sets de fracturas analizadas muestran una extensión radial, cuyo componente principal de extensión tiene una orientación NNE-SSO con una ligera rotación en sentido Horario (Figura 98), tal y como lo demuestran el análisis de fracturas y fallas.

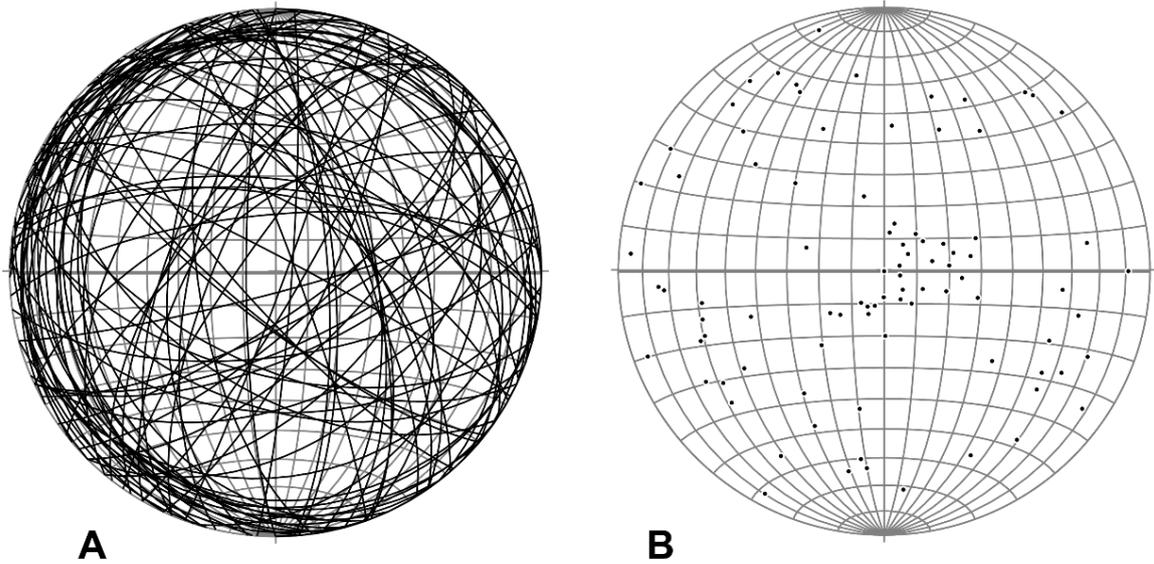


Figura 97. A. Representación de planos en estereograma de Schmidt. B. Ploteo de polos.

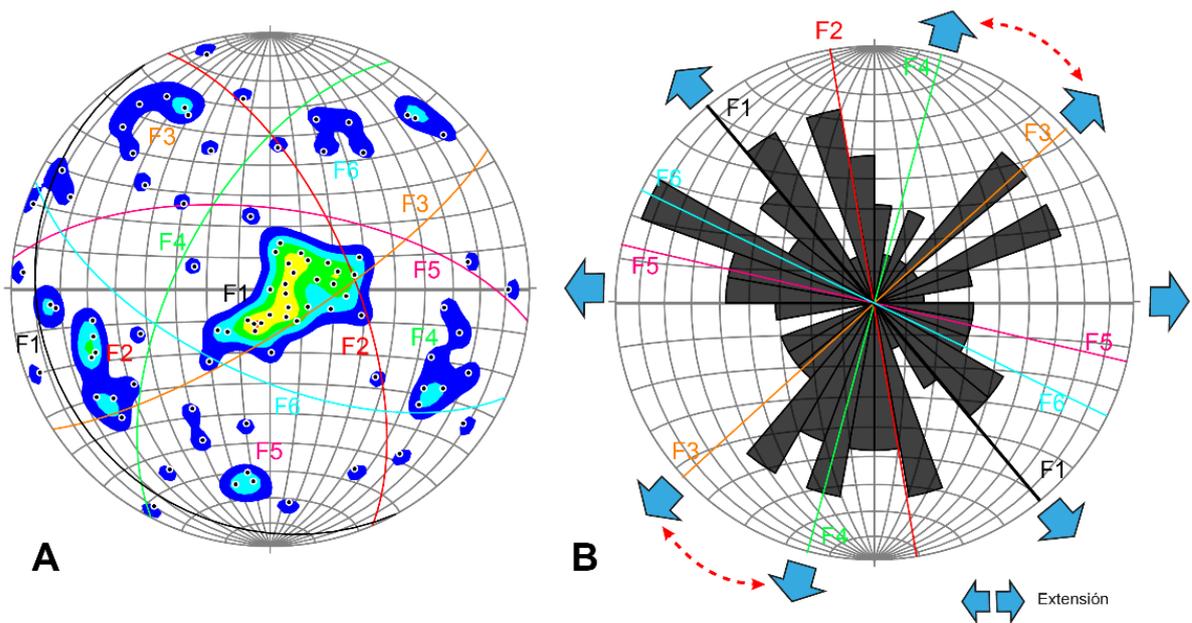


Figura 98. A. Diagrama de contornos, mostrando la concentración de polos. B. Diagrama de rosetas, mostrando una extensión radial con un componente principal de extensión NNE-SSO, rotando en sentido horario (línea discontinua roja.)

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para comprender el estilo estructural de la cuenca de Namora, se ha realizado el análisis estructural de la deformación en los estratos, fracturas y fallas. Para ello, se han estudiado 18 estaciones estructurales en secuencias cretácicas de la Formación Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca y Chúlec, para comprender el estilo estructural de las fallas que dieron origen; y 11 estaciones en secuencias del relleno de la cuenca, para comprender la evolución de la cuenca.

4.1. ANÁLISIS DE LOS EVENTOS DE DEFORMACIÓN

La dirección de los paleoesfuerzos, de las 29 estaciones estructurales, permiten establecer los eventos de deformación, que generaron los planos de debilidad (fracturas y Fallas) para la Formación y evolución de la Cuenca de Namora. Así mismo se usa la clasificación de Fases Tectónicas de Benavides, (1999).

4.1.1. Primer evento de deformación: Compresión NNE-SSO

Es el evento más antiguo registrado en la zona de estudio. Está asociada a la deformación de los estratos de las secuencias Cretácicas y a las fracturas extensionales (D3). Este evento de deformación se ha calculado con el plano promedio de la concentración de polos de los estratos, donde la deformación máxima de compresión (σ_1) es paralelo al plano promedio π . Así mismo, el análisis de las fracturas muestra una compatibilidad con la deformación de los estratos. De acuerdo a sus características estructurales este evento de deformación se asocia a la fase tectónica Inca I.

4.1.2. Segundo evento de Deformación: Compresión NE-SO

Este evento de deformación es definido a partir de la compatibilidad tectónica de las estaciones K-06, K-13, K-14 y K-17. Las fallas tienen una orientación NNE-SSO,

con desplazamiento de rumbo de las Formaciones Farrat, Inca y Chúlec, observado en la parte Sur de la cuenca. Así mismo este evento es el responsable de la formación de la falla Cajamarca (K-06), que cruza por todo el pueblo de Namora. Este evento de deformación se asocia a las Fase tectónica Inca II.

4.1.3. Tercer evento de Deformación: Compresión NO-SE

Definido a partir de las estaciones K-12 y K-15. Estas fallas tienen una orientación NO-SE a NNE-SSO. Este evento es el responsable de la reactivación de la falla Cajamarca (Falla Dextral), y genera una distensión para en la zona de Llacanora y Namora, tal como describe Vigo, (2014).

Antes del segundo evento de deformación existe una sobre imposición de eventos de deformación, ya que la fase tectónica Quechua I, no se acentúa bien en el área de estudio, porque la extensión borra el registro de esta fase tectónica.

4.1.4. Cuarto evento de deformación: Extensión NNE-SSO

Este evento de deformación es definido a partir de las estaciones K-01, K-02, K-03, K-04, K-05, en el borde la cuenca. Las fallas tienen una orientación preferentemente E-O a NO-SE y son paralelas a los estratos; esta geometría de las fallas es porque heredan la fábrica estructural de los planos de debilidad de los estratos. Este evento reactivo las principales estructuras Incaicas (Falla Cajamarca), tal como lo afirma Megard, (1984), Bellier et al. (1989), Prudhomme, et al. (2019) y los controles de campo. Por lo tanto, esta extensión inicia la formación de la cuenca de Namora, posterior al desarrollo de la Fase Tectónica Quechua I (Benavides, 1999; Megard, 1984).

A medida que se produce la apertura de la cuenca (extensión NNE-SSO), se van formando fallas de orientación NNE-SSO, los cuales son casi ortogonales a las estructuras reactivadas y generan una extensión local de dirección NO-SE, evidenciadas en las estaciones K-08, K-09, K-10, K-11 y K-18. También se genera las reactivaciones de las fallas mayores NNE-SSO en el borde sur de la Cuenca, los cuales también presentan material de relleno de la cuenca (secuencia de diatomitas). Esta misma orientación de extensión también se muestran en el

análisis de las fracturas en el relleno de la cuenca. Sin embargo, según Peacock and Sanderson, (1994) estas estructuras se forman bajo el mismo régimen tectónico y como respuesta al movimiento continuo de las fallas de primer orden (extensión NNE-SSO).

Este evento de deformación continua durante la evolución de la cuenca y forma fallas sinsedimentarias de orientación NNE-SSO, que generan una extensión local de orientación E-O

4.1.5. Quinto evento de deformación: Extensión ONO-ESE

Evento de deformación local, evidenciado en las estaciones M-08, M-09, M-10 y M-11, observadas en el relleno de la cuenca, están asociadas a fallas sinsedimentarias, con relleno de tobas andesíticas (estación M-11) y diatomitas (estación M-08), que muestran una extensión local de dirección ONO-ESE; este mismo patrón de extensión también se muestran en el análisis de fracturas de las secuencias proximales y distales. La presencia de tobas volcánicas intercaladas con conglomerados y diatomitas en las fallas normales sinsedimentarias, indican que el vulcanismo y el tectonismo estuvieron activos durante la sedimentación lacustre (Fourtanier et al., 1993). Así mismo esta deformación local continúa posterior a la depositación de las secuencias proximales, tal como se muestran en las estaciones M-09 y M-10. Este evento de deformación se asocia a la fase Tectónica Quechua II; ya que según Fourtanier, et al., (1993) las secuencias de tobas y diatomitas tienen una edad de 7.2 Ma.

4.1.6. Sexto evento de deformación: Extensión NE-SO

Después de la generación de las fallas sinsedimentarias, continua la extensión, pero como una leve rotación de la orientación de extensión (σ_3) en sentido Horario, por lo que la extensión se hace más NE-SO. Este evento se evidencia bien en la estación M-01, M-04 y M-05 del relleno de la cuenca, donde se muestra el desplazamiento entre las secuencias proximales y distales. Así mismo los estratos de diatomitas también muestran esta dirección de extensión y están asociados a pliegues de arrastre (estación M-08). Esta extensión también genera fallas inversas,

documentadas en la estación M-06. Este evento se asocia a la Fase Tectónica Quechua III.

4.1.7. Séptimo evento de deformación: Extensión NNE-SSO

Esta extensión está bien demostrada por fallas menores que afectan a las secuencias lacustres y fluviales, observado en el caserío Bellavista (estación M-03).

La cuenca se caracteriza por una etapa de esfuerzo dominante (extensión NE-SO), la que duró más tiempo y controló la mayor parte de la sedimentación de la cuenca y la deformación de sus alrededores, ya que esta extensión inició la apertura y se prolongó hasta después de la diagénesis (Bellier et al. 1989 A).

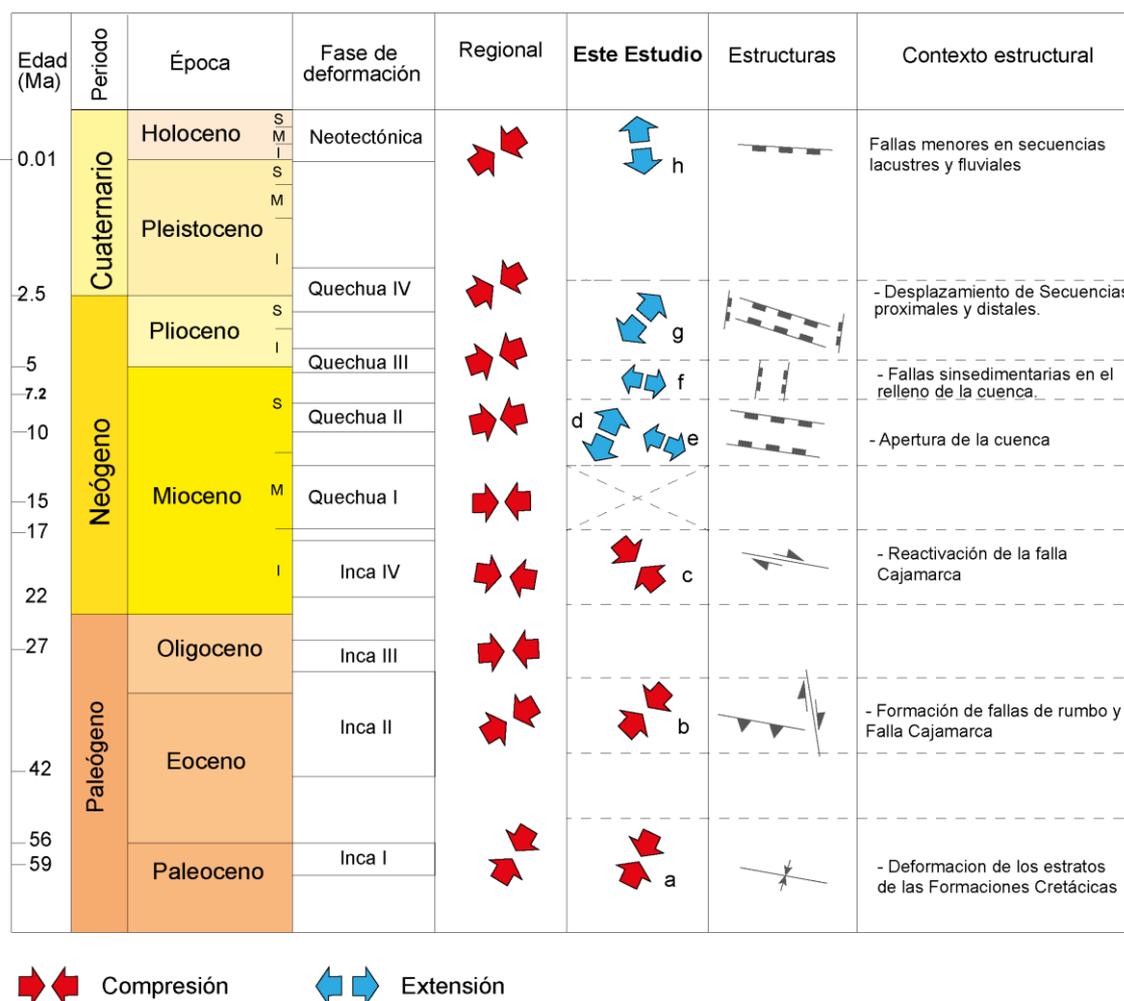


Figura 99. Correlación entre los eventos tectónicos durante el Mioceno hasta el Holoceno, las letras a, b, c, d, e, f, g, h, i corresponden a los estereogramas de la figura 99.

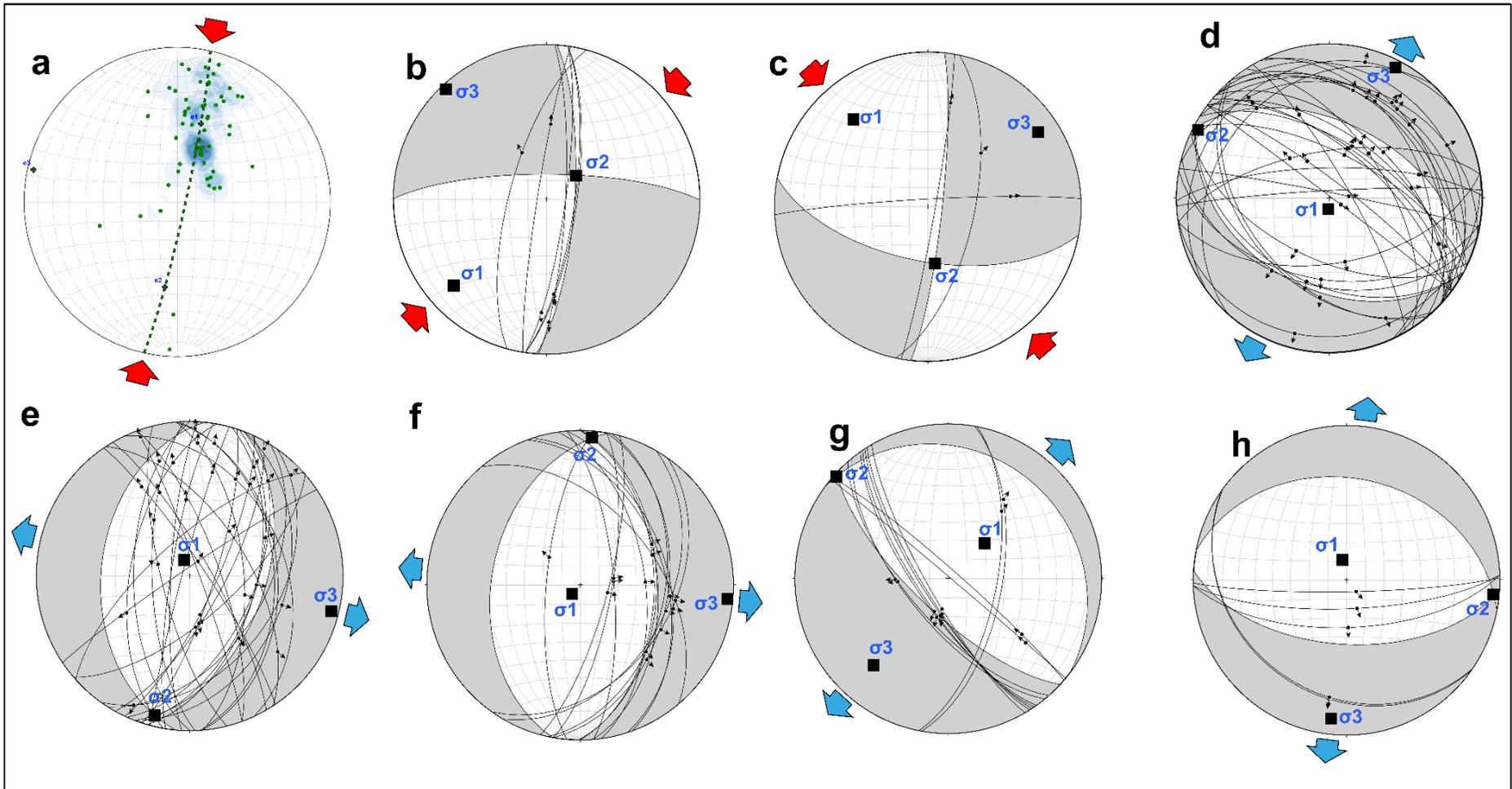


Figura 100. Resumen de los eventos de deformación asociado al área de estudio.

4.2. ESTILO ESTRUCTURAL

Para interpretar estilo estructural y la deformación implicada en la configuración estructural de la cuenca Namora en la parte noroeste; analizamos los rasgos estructurales, realizamos un mapa estructural, elaboramos 2 secciones geológicas y finalmente con ello elaborar el modelo geológico estructural en 3D, haciendo uso del software Leapfrog geo v5.1, para mostrar las principales geometrías y características estructurales que deforman la zona de estudio.

4.2.1. Estilos extensionales

El área de estudio muestra dos tendencias estructurales bien marcadas, tanto en las secuencias cretácicas, así como en el relleno de la cuenca. Estas tendencias tienen una orientación principal E-O a NO-SE, dominado por fallas de primer orden y una tendencia bien marcada de orientación N-S, de fallas asociadas a las estructuras principales.

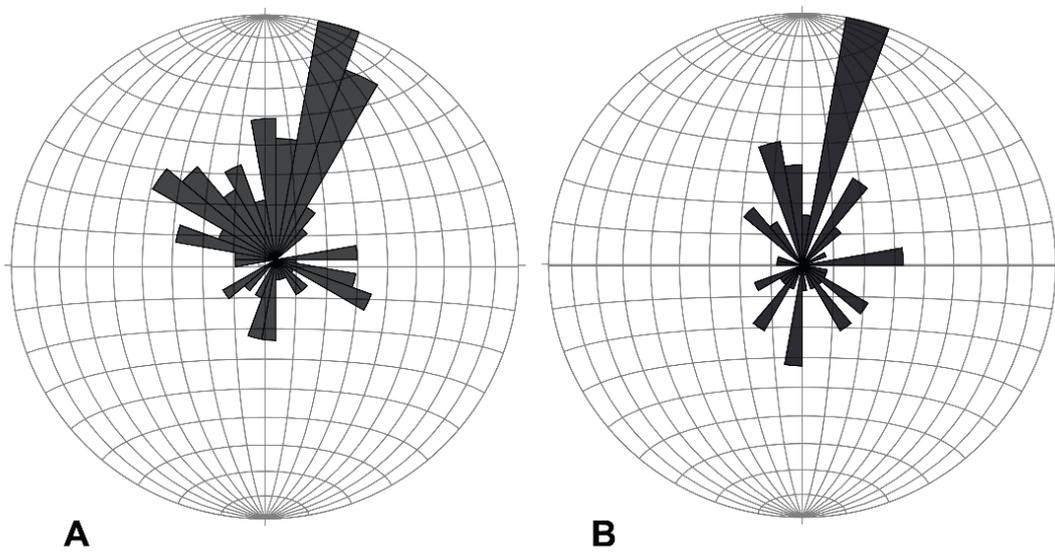


Figura 101. Diagrama de rosetas mostrando las principales tendencias estructurales. A. en secuencias Cretácicas. B. En el relleno de la cuenca.

4.2.1.1. Estructuras extensionales ONO-ESE/NO-SE

Están registradas en el mapa geológico (ANEXO N° 06) y son fallas normales de 80° a 116° y 267° a 330°, con buzamientos moderados de 60° a 70° y direcciones de inclinación de Suroeste y noreste, los cuales afectan a las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca y Chúlec.

En el borde norte se observa, el escarpe constituido por la geometría de las superficies de la estratificación de las areniscas de la Formación Farrat. Esta superficie estructural presenta estriaciones tectónicas el cual evidencia la cinemática normal de la falla, que da lugar a la formación del semi graben Namora. Esta estructura posee el lineamiento de la Falla Cajamarca, el cual cruza por todo el pueblo de Namora (Lagos, 2012) (Figura 102)

Según Benavides, (1999), después de la fase Tectónica Quechua I, las condiciones extensionales asociadas con al levantamiento de los Andes desarrollaron varias cuencas Intramontañas importantes y es allí donde se forma la cuenca de Namora. Por lo tanto, la principal estructura que crea el semi graben es la reactivación de la Falla Cajamarca.

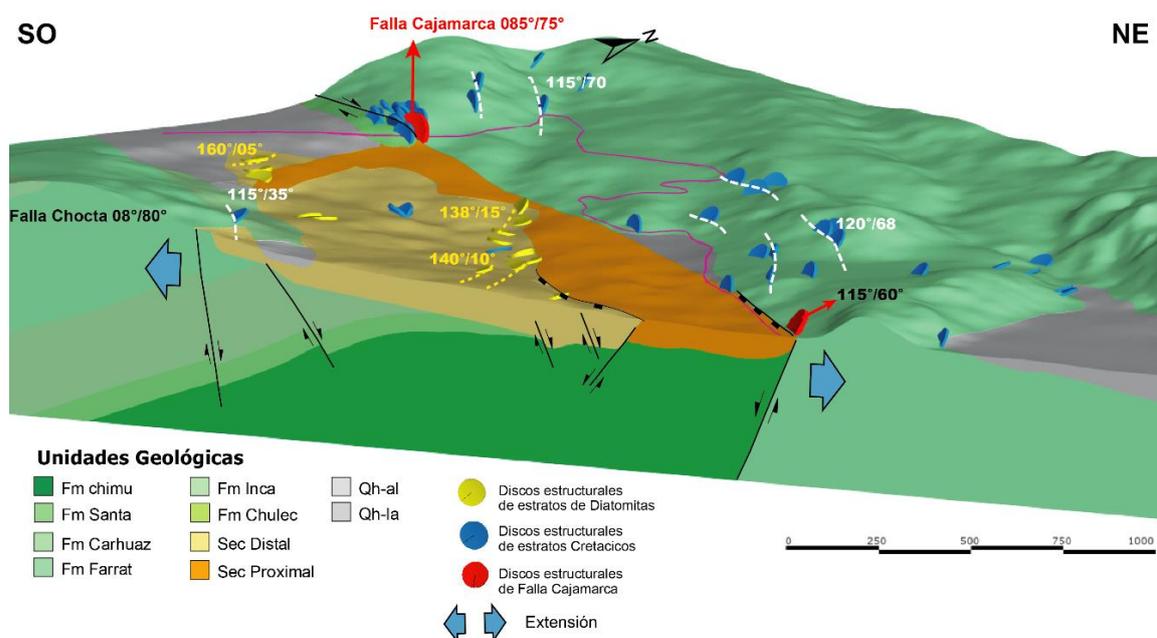


Figura 102. Modelo geológico, mostrando la orientación de la falla Cajamarca y las estructuras asociadas creando un semi graben.

Las estructuras extensionales en el borde sur de la cuenca tienen una orientación de 267° a 307°, los que afectan a las Formación Carhuaz y Farrat, los cuales se observan en las Localidades de Jigon y al este de Sulluscocha. Estas fallas controlan la apertura de la cuenca creando un semi graben, junto con la Falla reactivada.

En el sector norte las estructuras de primer orden son cortadas por fallas locales de cinemática normal, los cuales han sido observadas a lo largo de la Carretera desde los Sapitos hasta el Cerro Namora. En el Sector sur, son cortadas por las fallas de rumbo Toyurco, Las Lomas y Chocta, los cuales tienen una orientación N-S.

Así mismo las estructuras extensionales dentro de la cuenca, poseen la misma geometría que las estructuras principales debido a que la deformación se acomoda a las estructuras preexistentes. Estas fallas desplazan las secuencias proximales (arenas y conglomerados) de las distales (arcillitas y diatomitas), observado en la quebrada Bellavista. Estas fallas son de escala métrica y tienen una orientación promedio de 147°/77°, hacia el SO. (Figura 103)

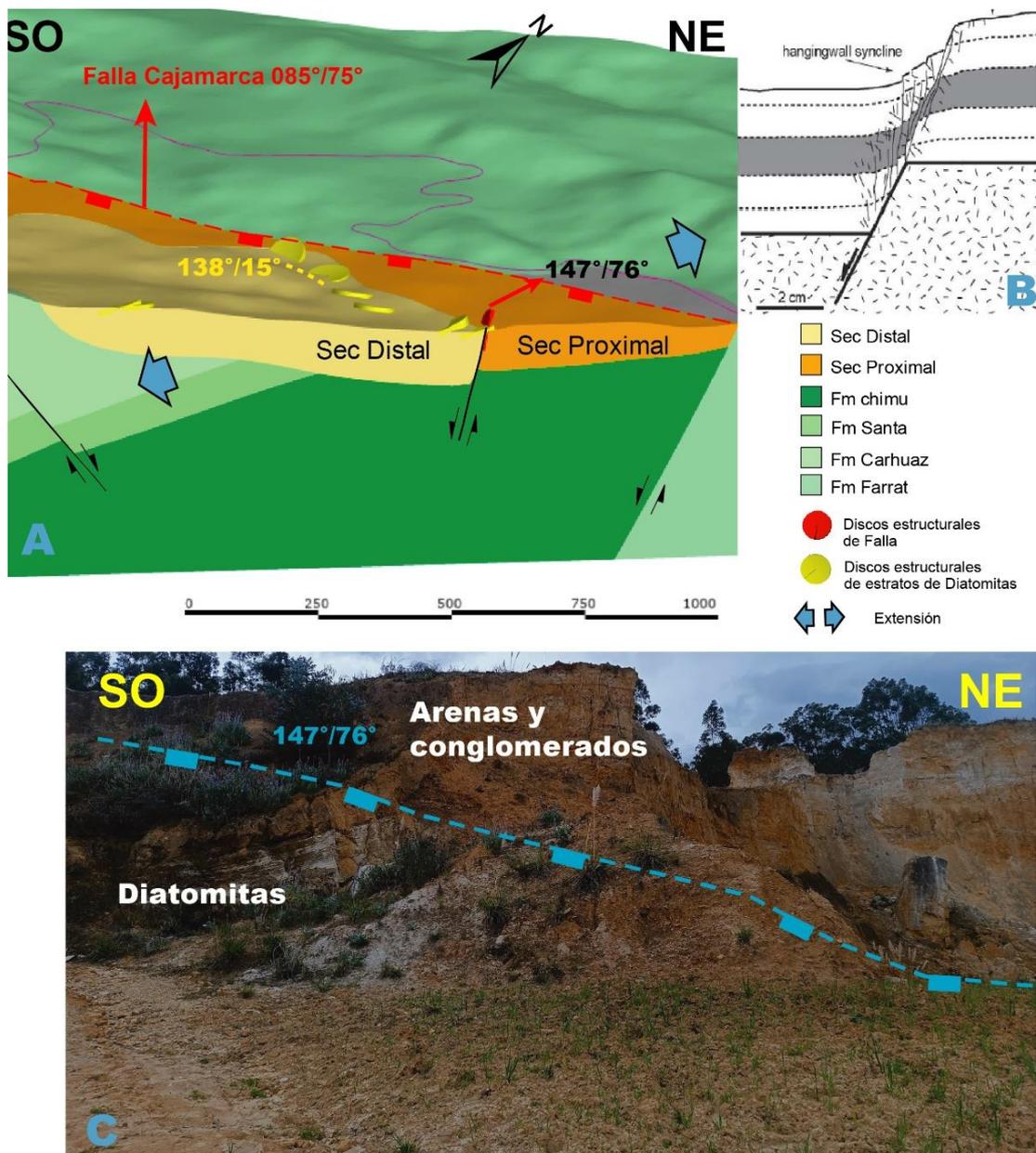


Figura 103. A. modelo Geológico mostrando el desplazamiento de las secuencias proximales (arenas y conglomerados) y distales (diatomitas y arcillitas). B. Diagrama esquemático de fallas menores asociadas a una falla maestra (Jackson, et al., 2006), C. Fotografía de campo, mostrando la estructura.

4.2.1.2. Estructuras Extensionales NNE-S/NE-SO

Están registradas en el mapa geológico (Anexo N° 07) y son fallas normales de dirección 350° a 40°, con buzamientos altos de (70°- 80°), moderados (~60°) y de direcciones de inclinación hacia Este y sureste, los cuales afectan a las Formaciones de Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat, Inca y Chúlec.

En el sector norte y sur cortan a estructuras extensionales (estructura principal) de orientación ONO-ESE. En el norte estas fallas, tienen una orientación promedio de $025^{\circ}/55^{\circ}-70^{\circ}$ y se observan al oeste y al este de la zona zoolítica de los Sapitos (estación K-08, K-09, K-10), afectando a las areniscas blanquecinas de la Formación Carhuaz y Farrat.

En la parte central de cuenca, específicamente en la quebrada Huacamayo, se observan estructuras, que cortan a las secuencias de diatomitas y a las arcillitas carbonosas de la Formación Santa, lo mismo ocurre con la Formación Chimú en el mismo sector (ver Anexo 10). En el mismo lineamiento se observan fallas sinsedimentarias, que presentan arrastre de los estratos de Arcillitas (M-08). Lo cual indica el reacomodo de las fallas producto de la extensión de la cuenca. Las fallas poseen la misma geometría y orientación que las estructuras que afectan a las series cretácicas, como respuesta a la geometría de las estructuras preexistentes. En el lado sur tienen una orientación que varía de $2^{\circ}-10^{\circ}$ a 190° con buzamientos moderados ($60^{\circ}-70^{\circ}$) hacia en Este y Oeste, respectivamente.

La mayor parte de estas estructuras contienen relleno de la secuencia distal de la cuenca (diatomitas y arcillitas). La falla Tuyorco probablemente esté actuando como una estructura que limita la depositación de las secuencias lacustres, ya que más hacia el este ya no se evidencia el relleno lacustre, pero si existe una continuidad de las secuencias de arenas y conglomerados (Base de la secuencia) (Figura 104).

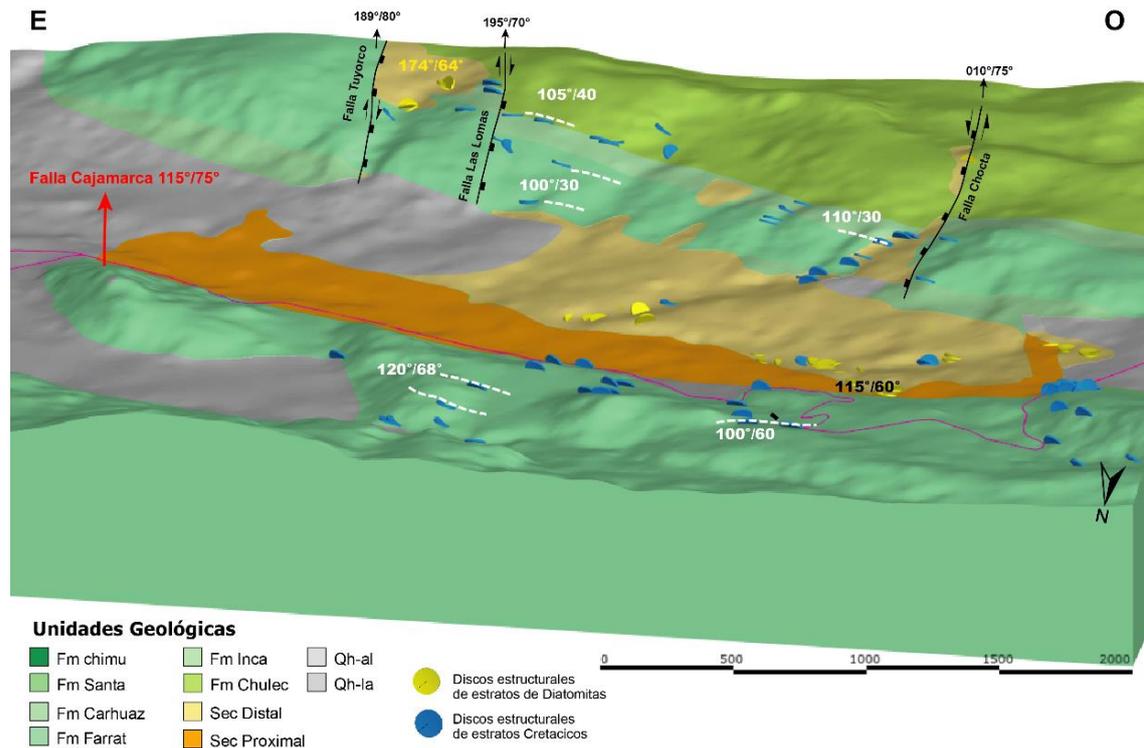


Figura 104. Modelo Geológico con vista E-O, mostrando las estructuras NNE-SSO, que contienen relleno de la cuenca.

La falla Sulluscocha (estación K-18), en el oeste de la cuenca, recorta transversalmente el área y desplaza a las secuencias proximales (arenas y conglomerados) de las distales (arcillitas y diatomitas). Esta Falla probablemente sea el límite del semi graben, ya que a partir de ello se muestra la depresión y el relleno fluvio lacustre de la cuenca (Figura 105).

Así mismo Reyes, (1980), menciona la existencia de un graben dentro del cual se halla los pueblos de Namora, San Marcos e Ichocan, sin embargo, el sector norte a partir de Namora parece ser un Horts, lo que da soporte a la interpretación.

Dentro de la cuenca, las series fluviales que inician el relleno de la cuenca, durante la extensión (NE-SO), tienen geometrías tabulares y en Cuña que muestran variaciones sistemáticas de espesor en las arenas y conglomerados que se engrosan hacia el bloque techo de la falla, observados en el caserío de Bellavista. Estas geometrías también se muestran en el relleno de tobas y conglomerados, en la estación M-10. Por lo tanto, las tobas y las fallas sinsedimentarias encontradas dentro de la cuenca sugieren que el vulcanismo y el tectonismo estuvieron activos

durante la sedimentación (Bellier et al., 1989; Mercier et al., 1992). Entonces, estas observaciones indican que las fallas pre cuenca (Fallas maestras) y las N-S, estuvieron activas.

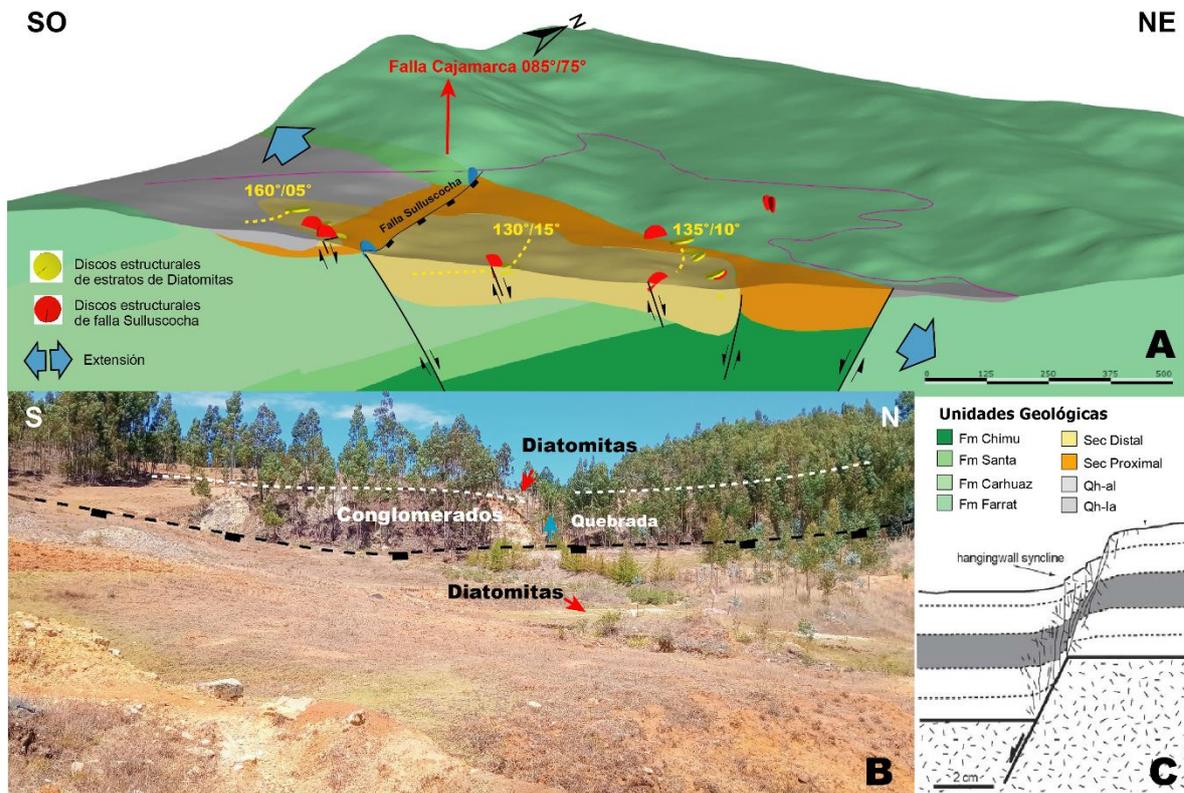


Figura 105. A. Modelo geológico del desplazamiento normal de las secuencias de conglomerados y diatomitas. B. vista panorámica de la falla. C. Diagrama esquemático de fallas menores asociadas a una falla maestra (Jackson, et al., 2006),

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Mediante la investigación se contrasto la hipótesis, la cual afirma que el comportamiento cinemático y la geometría de las estructuras tectónicas del Noroeste de la Cuenca Namora indican que se formó bajo un estilo estructural extensional cuya dirección de extensión es NNE-SSO, generando fallas normales de orientación ONO-ESE y fallas locales NNE-SSO. Esta extensión dio lugar a la apertura y se prolongó hasta después de la sedimentación de las secuencias lacustres. Todas las fallas posteriores a la sedimentación, también obedecen a un sistema extensional, debido a que la deformación se acomoda a las estructuras preexistentes.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El comportamiento cinemático, la geometría de las fallas y fracturas muestran un estilo estructural extensional de dirección NNE-SSO, el que reactiva y genera fallas normales de orientación ONO-ESE y fallas locales NNE-SSO, como producto de la misma dirección de extensión NNE-SSO.

Las fallas de primer orden del borde de la cuenca son de cinemática normal y de alto ángulo (60°-70°) de dirección ONO-ESE y están asociados a un sistema de fallas locales también de cinemática normal de orientación NNE-SSO, que obedecen al mismo evento tectónico de extensión NNE-SSO.

Las Fallas dentro de la cuenca son de cinemática normal, de orientación NNE-SSO para fallas sinsedimentarias y postsedimentarias, y algunas de orientación NO-SE que desplazan las secuencias de conglomerados y arenas de la secuencia lacustre de arcillitas y diatomitas

Se ha definido 7 eventos de deformación: Compresión NNE-SSO (Fase Inca), deformando los estratos de las series cretácicas; compresión NE-SO (Fase Inca II) que genera fallas de rumbo y falla Cajamarca; compresión NO-SE, que reactiva a la falla Cajamarca (Fase Inca IV); Extensión NNE-SSO (Quechua I), que da origen a la cuenca. Localmente ocurre una extensión ONO-ESE, asociado a fallas sinsedimentarias (Quechua II). Continúa la extensión NE-SO (Quechua III) deformando los estratos del relleno de la cuenca y finalmente una extensión NNE-SSO (Cuaternario).

El origen de la cuenca corresponde al estado de extensión del Mioceno tardío en la Falla Cajamarca, probablemente ocurrido después de la fase Tectónica Quechua I.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los docentes, egresados y estudiantes de la escuela profesional de ingeniería geológica los siguiente:

Realizar un estudio detallado de la bioestratigrafía del relleno de cuenca, para definir las edades con mayor precisión para las secuencias aflorantes.

Realizar un análisis microestructural en secciones delgadas en las fallas de las estaciones, para tener un mejor panorama de la configuración estructural.

Aplicar dataciones radiométricas en fallas mediante el método (U-Th) /He con la finalidad de tener una edad absoluta de los esfuerzos que han generado el semi graben de Namora, ya que no se han realizado estas dataciones.

Realizar estudios estructurales y estratigráficos en las cuencas vecinas de San Marcos y Cajabamba, ya que estas cuencas también forman parte del sistema de cuencas Intracordilleranas del norte del Perú.

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. Lima, Perú.
- Allmendinger, R. 1987. Técnicas Modernas de Análisis Estructural. Asociación Geológica Argentina. Serie B: Didáctica y Complementaria N°16, 90p.
- Anderson, E. 1905. The dynamics of faulting. Transactions of the Edinburgh Geological Society, 8. p: 387-402.
- Anderson, E. 1951. The dynamics of faulting and dike formation with application to Britain. Oliver and Boyd, second Edition, Edinburgh. 241p.
- Bellier, O; Sébrier, M; Gasse, F; Fourtanier, E; Robles, I. 1989. Late Cenozoic of the E-W striking Cajamarca deflection in the Namora Basins (Andes of Northern Peru). Annales Tectonicae. Vol III, p. 77-98
- Bellier, O; Sébrier, M. 1991. Late Cenozoic Normal and strike-slip faulting in north Peruvian western cordillera: An example of alternate extensional and compressional tectonic regimes in high andes. Geophysique et géodynamique. Paris. P. 111-114.
- Bellier, O; Sébrier, M; Gasse, F; Fourtanier, E; Robles, I. 1989. Évolution géodynamique mio-pliocène et quaternaire des bassins de la cordillère occidentale du NordPérou: les bassins de Cajabamba, San Marcos et Namora (Département de Cajamarca): Géodynamique, Paris, v.4, p. 93–118.
- Brogi, A. 2011. Variation in fracture patterns in damage zones related to strike-slip faults interfering with pre-existing fractures in sandstone (Calcione area, southern Tuscany, Italy). Journal of Structural Geology 33, p: 644-661.
- Casas, M. 1990. Los Métodos de Análisis de Paleoesfuerzos a partir de Poblaciones de Fallas: Sistemática y Técnicas de Aplicación.
- Chester, F; Evans, J; Biegel, R. 1993. Internal structure and weakening mechanism of the S. Andreas Fault. J. Geoph. Res. 98, p: 771-786.
- Doblas, M. 1998. Slickenside kinematic indicators. Tectonophysics 295, p: 187-197.
- Fossen, H. 2016. Structural Geology. University of Bergen, Norway. Second edition. Cambridge University Press.

- Fourtanier, E; Gasse, F; Bellier, O; Bonhomme, M; Robles, I. 1993. Miocene Non-Marine Diatoms from the Western Cordillera Basins of Northern Peru. *Diatom Research*, p. 13-30.
- Fuentes, M. 2019. Estudio de la evolución tectónica de la cuenca intramontañosa de Huancayo durante el Neógeno Tardío y el Cuaternario. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Perú
- Gabrielsen, R; Braathen, A; Kjemperud, M; Valdresbra, M. 2016. The geometry and dimensions of fault-core lenses. The Geological Society of London.
- Groshong, R. 2006. 3-D Structural Geology: A Practical Guide to Quantitative Surface and Subsurface Map Interpretation. Second edition. Verlag Berlin Heidelberg.
- Hatcher, R; Bailey, C. 2020. Structural Geology Principles, Concepts, and Problems. Third edition. Oxford University Press. 286p.
- Holcombe, R. 2016. Mapping and structural geology in mineral exploration: where theory hits the fan. HCOV Global.
- Kim, Y; Peacock, P; Sanderson, J. 2003. Mesoscale strike-slip faults and damage zones at Marsalforn, Gozo Island, Malta. *Journal of Structural Geology* 25. p: 793-812.
- Kim, Y; Peacock, D; Sanderson, D. 2004. Fault damage zones. *Journal of Structural Geology* 26. p: 503–517
- León, A; Ripa, A. 2016. La cuenca intramontañosa de Cajamarca: significado del registro de incisiones y relleno para la orogenia andina en el norte del Perú. Resúmenes extendidos del XIX Congreso Peruano de Geología, Sociedad Geológica del Perú.
- Lin, A; Yamashita, K. 2013. Spatial variations in damage zone width along strike-slip faults: An example from active faults in southwest Japan. *Journal of Structural Geology* 57. p: 1-15.
- Marocco, R; Egüez, A; Lavenu, A; Noblet, C; Baudino, R; Winter, T. 1993. Las cuencas Intramontañas Neógenas del Ecuador.
- Marocco, R; Lavenu, A; Baudino, R. 1995. Intermontane late Paleogene-Neogene basins of the Andes of Ecuador and Peru: sedimentologic and tectonic characteristics, in Tankard, A., J., Suárez, S., R. and Welsink, H., J. (Eds.), *Petroleum basins of South America: AAPG Memoir N° 62*, p. 597-613.

- McClay, K. 1987. *The Mapping of Geological Structures*. Londres: Geological Society of London Handbook.
- Nelson, E. 2011. *Application of Structural Geology in Mineral Exploration and Production*. Notewook workshop. Department of Geology and Geological Engineering Colorado School of Mines.
- Peña, D. 2008. *Estilo estructural y evolución tectónica sedimentaria de la cuenca ENE, sector meridional*. Universidad Nacional de Ingeniería,
- Robles, I. 1991. *Estudio Geológico y Neotectónico de las cuencas Cenozoicas de Namora y San Marcos – Dpto de Cajamarca*. Tesis profesional. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Saber, R; Isik, V; Caglayan, A. 2020. Structural styles of the Aras fault zone with implications for a transpressive fault system in NW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*.
- Sibson, R. 1985. Stopping of earthquake ruptures at dilational fault jogs. *Nature* 316, p: 248-251.
- Scherrenberg, A; Holcombe, R; Rosenbaum, G. 2014. The persistence and role of basin structures on the 3D architecture of the Marañón Fold-Thrust Belt, Peru. *Journal of South American Earth Sciences*. p: 45-58.
- Tamay, J. 2018. *Estructura de cuencas intramontañosas del Sur de Ecuador en relación con la tectónica de la Cordillera de los Andes a partir de datos geofísicos y geológicos*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada-Ecuador. <http://hdl.handle.net/10481/51634>.
- Torres, D. 2011. *Estratigrafía, Sedimentología y Tectónica De La Cuenca Condoroma (Mioceno), Arequipa*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Van Der Pluijm, B; Marshak, S. 2004. *Earth Structure, An Introduction to Structural Geology and Tectonics*. Second Edition. W.W. Norton & Company. 656p.
- Peacock, D; Sanderson, D., 1994. Geometry and development of relay ramps in normal fault systems. *AAPG Bulletin* 78 (2), 147–165.
- Athmer, W; Groenenberg, R; Luthi, S; Donselaar, M; Sokoutis, D; Willingshofer, E. 2010. Relay ramps as pathways for turbidity currents: a study combining analogue sandbox experiments and numerical flow simulations. *Sedimentology* 57 (3), 806–823.

ANEXOS

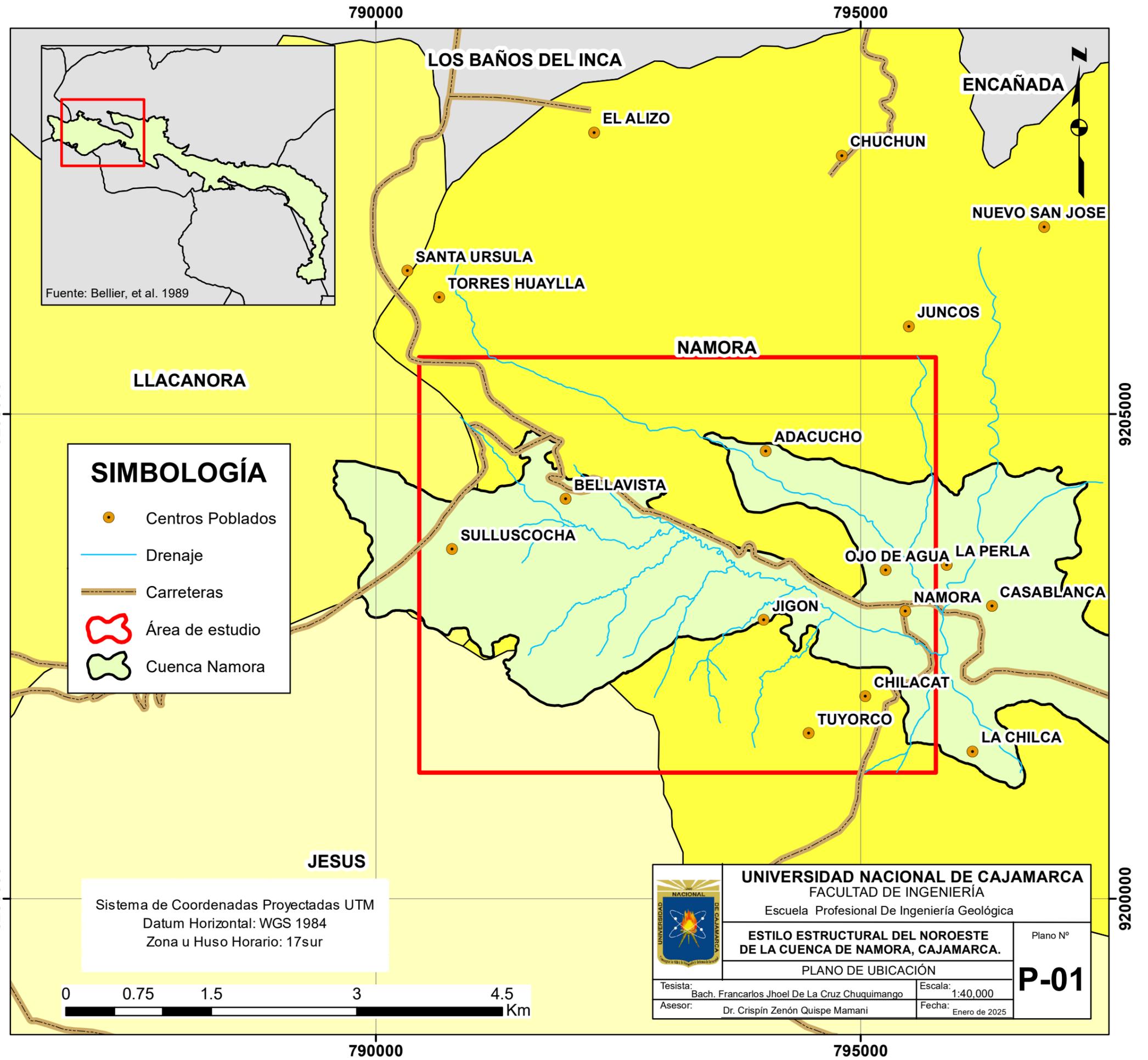
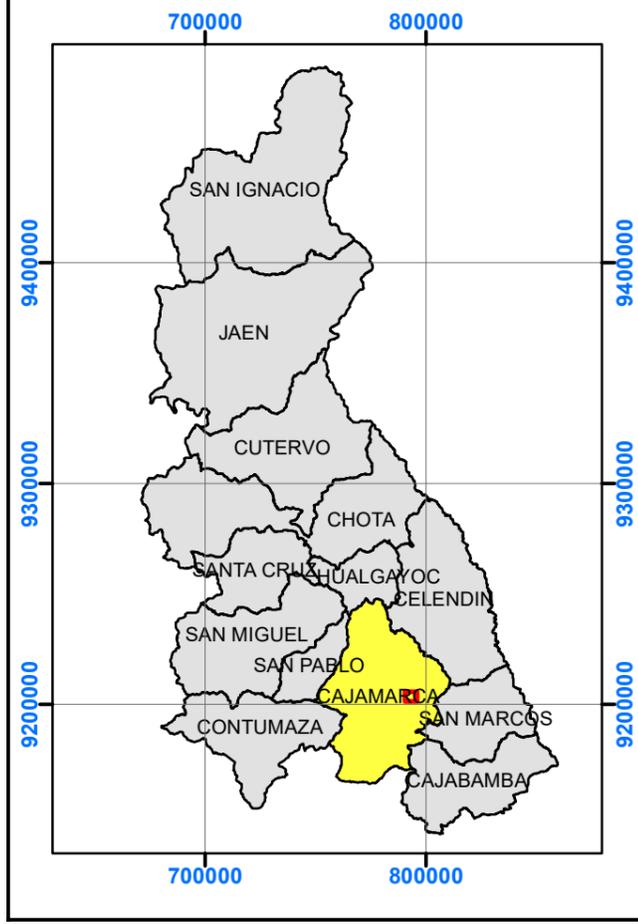
Anexo N° 01: Planos

- Plano de ubicación (P-01)
- Imagen Satelital (P-02)
- Modelo digital de elevación (P-03)
- Plano Unidades Morfogenéticas (P-04)
- Plano Geológico estructural (P-05)
- Estructuras extensionales ONO-ESE-/NO-SE – Cretácico (P-06)
- Estructuras extensionales NNE-SSO – Cretácicas (P-07)
- Estructuras extensionales en secuencias del Mioceno (P-08)

Anexo N° 02: Secciones Geológicas

- Sección Geológico A-A' (S-1)
- Sección Geológico B-B' (S-2)

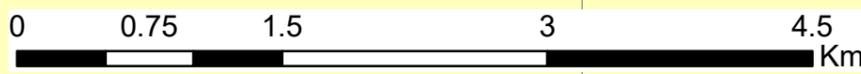
Anexo N° 01: Planos



SIMBOLOGÍA

- Centros Poblados
- Drenaje
- - - Carreteras
- Área de estudio
- Cuenca Namora

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		Plano N° P-01
	ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA. PLANO DE UBICACIÓN		
Tesisista: Bach. Francarlos Jhoel De La Cruz Chuquimango	Escala: 1:40,000	Fecha: Enero de 2025	
Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani			



SIMBOLOGÍA

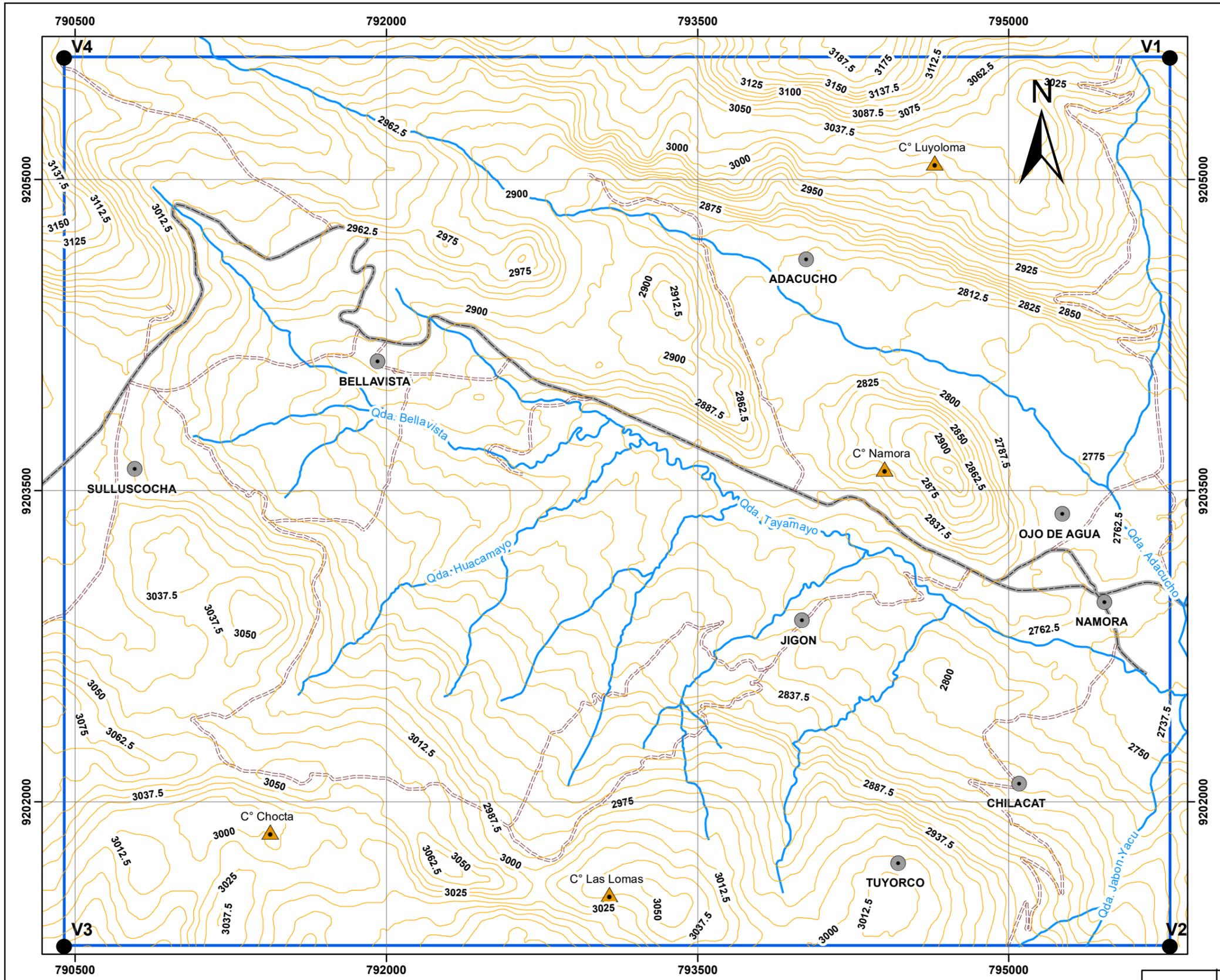
- VERTICES
- Cerros
- Centros Poblados
- Drenaje
- Carretera asfaltado
- Trocha Carrozable
- Área

VÉRTICE	COORDENADAS	
	Este	Norte
V1	795776	9205585
V2	795776	9201300
V3	790447	9201300
V4	790447	9205585



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	
ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA.		Plano N°
PLANO DE IMAGEN SATELITAL		P-02
Tesisista:	Bach. Francarlos Jhoel De La Cruz Chuquimango	Escala: 1:20,000
Asesor:	Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	Fecha: Enero de 2025



SIMBOLOGÍA

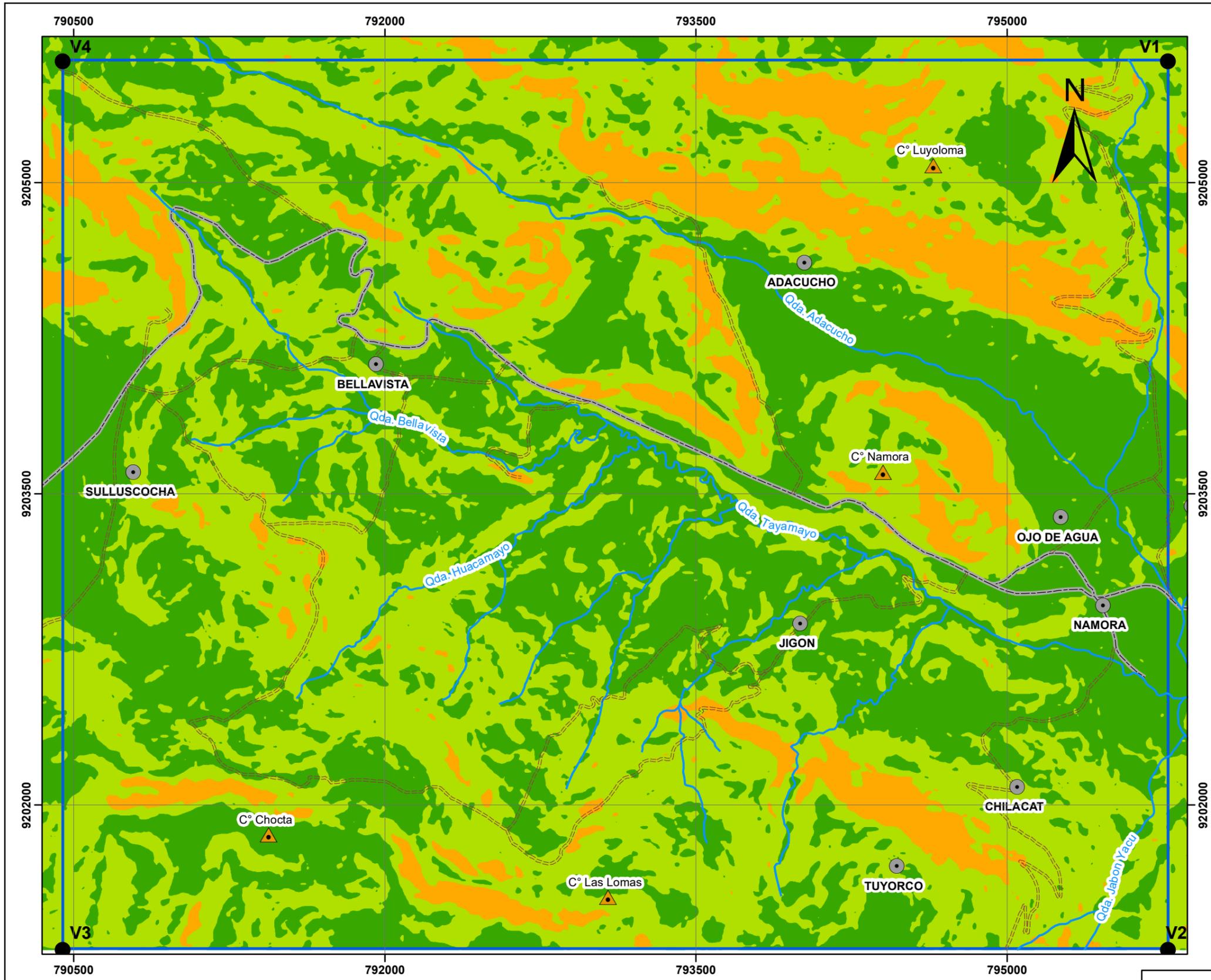
- VERTICES
- ▲ Cerros
- Centros Poblados
- ~ Drenaje
- ~ Carretera asfaltado
- - - Trocha Carrozable
- ~ Curvas de Nivel
- Área

VÉRTICE	COORDENADAS	
	Este	Norte
V1	795776	9205585
V2	795776	9201300
V3	790447	9201300
V4	790447	9205585



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	
	ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA.	
	TOPOGRÁFICO-MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN	
Tesis: Bach. Francarlos Jhoel De La Cruz Chuquimango	Escala: 1:20,000	P-03
Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	Fecha: Enero de 2025	



SIMBOLOGÍA

- Vértices
- ▲ Cerros
- Centros Poblados
- ~ Drenaje
- ~ Carretera asfaltado
- ~ Trocha Carrozable
- Área

LEYENDA

UNIDADES MORFOGENÉTICAS

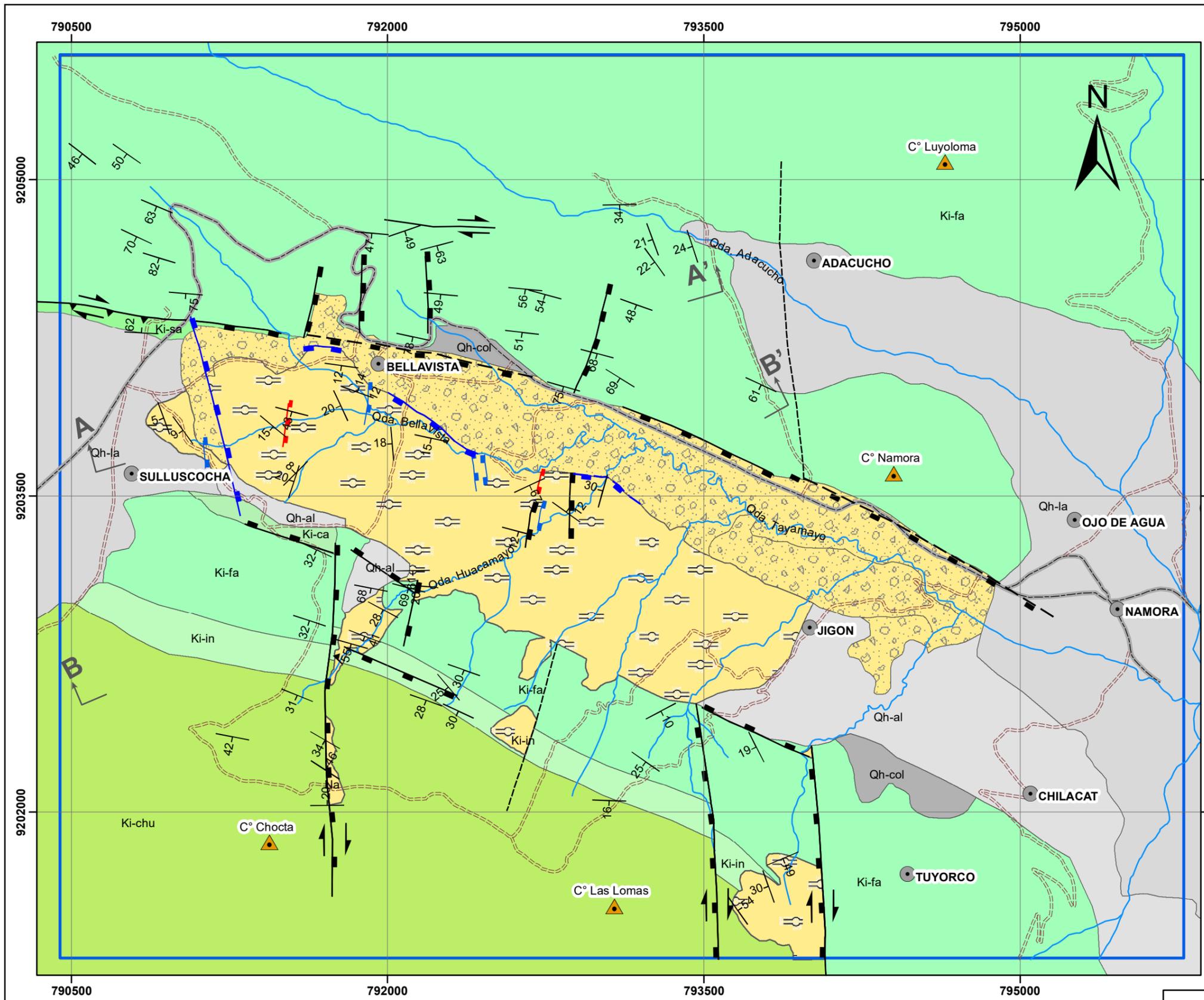
- 0° - 8°: PLANICIES
- 8° - 20°: LOMADAS
- 20° - 50°: LADERAS

Fuente: Rodríguez, R. (2016)



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		Plano N° P-04
	ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA. PLANO UNIDADES MORFOGENÉTICAS		
Tesista: Bach. Francarlos Jhoel De La Cruz Chuquimango Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	Escala: 1:20,000 Fecha: Enero de 2025		



Sistema	Serie	Unidad Litoestratigráfica
Cuaternario	Holoceno	Qh-co Deposito coluvial
		Qh-al Deposito aluvial
		Qh-la Deposito Lagunar
Neógeno	Mioceno Superior	Formación Condebamba
		Secuencia Distal
		Secuencia Proximal
		Discordancia
Cretácico	Inferior	Ki-chu Formación Chulec
		Ki-in Formación Inca
		Ki-fa Formación Farrat
		Ki-ca Formación Carhuaz
		Ki-sa Formación Santa

SIMBOLOGÍA

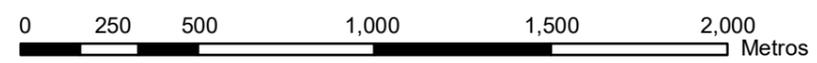
Fallas

- Dextral
- Sinistral
- Normal
- Normal inferido
- Inferido
- Sinsedimentaria
- Falla de la cuenca
- Inversa
- Rumbo y buzamiento

Ubicación

- Cerros
- Centros Poblados
- Drenaje
- Carretera asfaltado
- Trocha carrozable
- Área

Sección A-A'



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



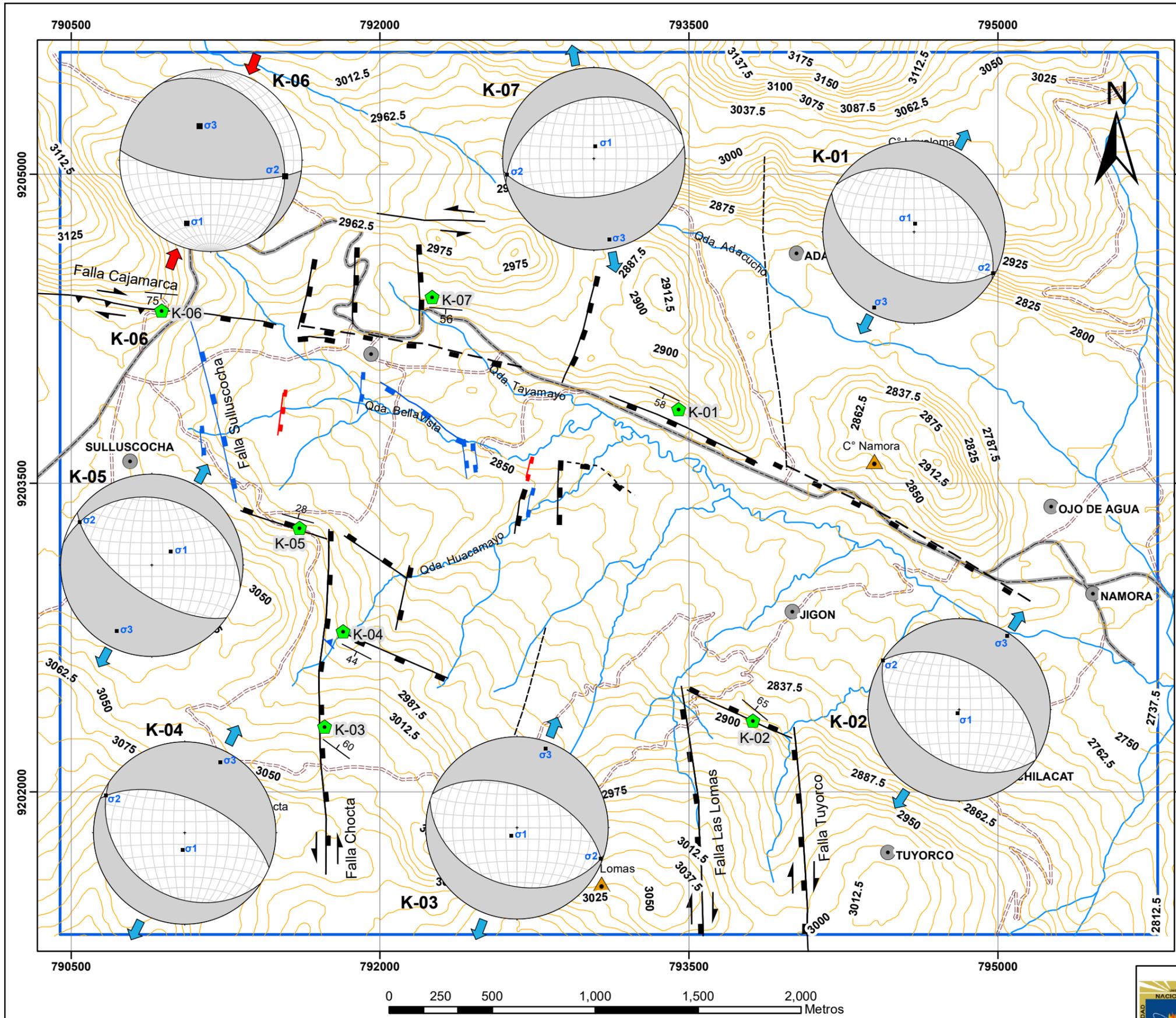
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional De Ingeniería Geológica

ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA.

PLANO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL

Plano N°
P-05

Tesista: Bach. Francarlos Jhoel De La Cruz Chuquimango	Escala: 1:20,000
Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	Fecha: Enero de 2025



SIMBOLOGÍA

- Estaciones estructurales
- Cerros
- Centros Poblados
- Curvas de nivel
- Trocha Carrozable
- Drenaje
- Carretera asfaltado
- Área

Fallas

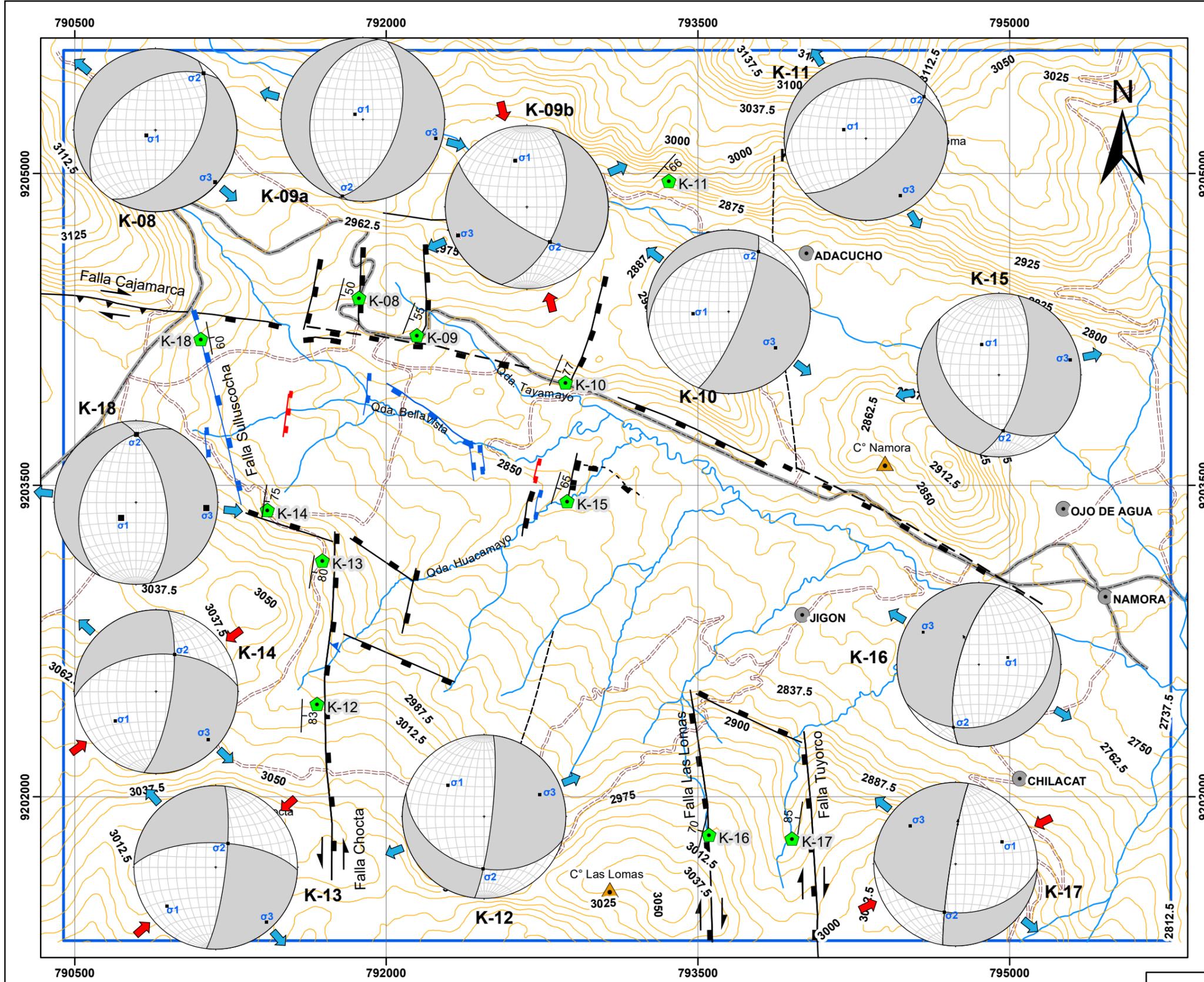
- Dextral
- Inferido
- Inversa
- Normal
- Normal inferida
- Falla de la cuenca
- Sinistral
- Sinsedimentaria
- Inversa

- Extension (σ_3)
- Compresión (σ_1)
- Diedro Extensión
- Diedro Compresión



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		Plano N° P-06
	ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA. Estructuras Extensionales ONO-ESE/ NO-SE - Cretácico		
Tesista: Bach. Francarlos Jhoel De La Cruz Chuquimango	Escala: 1:20,000	Fecha: Enero de 2025	
Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani			



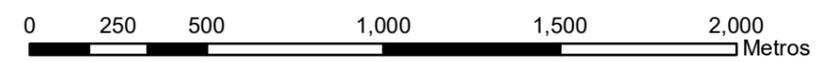
SIMBOLOGÍA

- Estaciones estructurales
- Cerros
- Centros Poblados
- Curvas de nivel
- Trocha Carrozable
- Drenaje
- Carretera asfaltado
- Área

Fallas

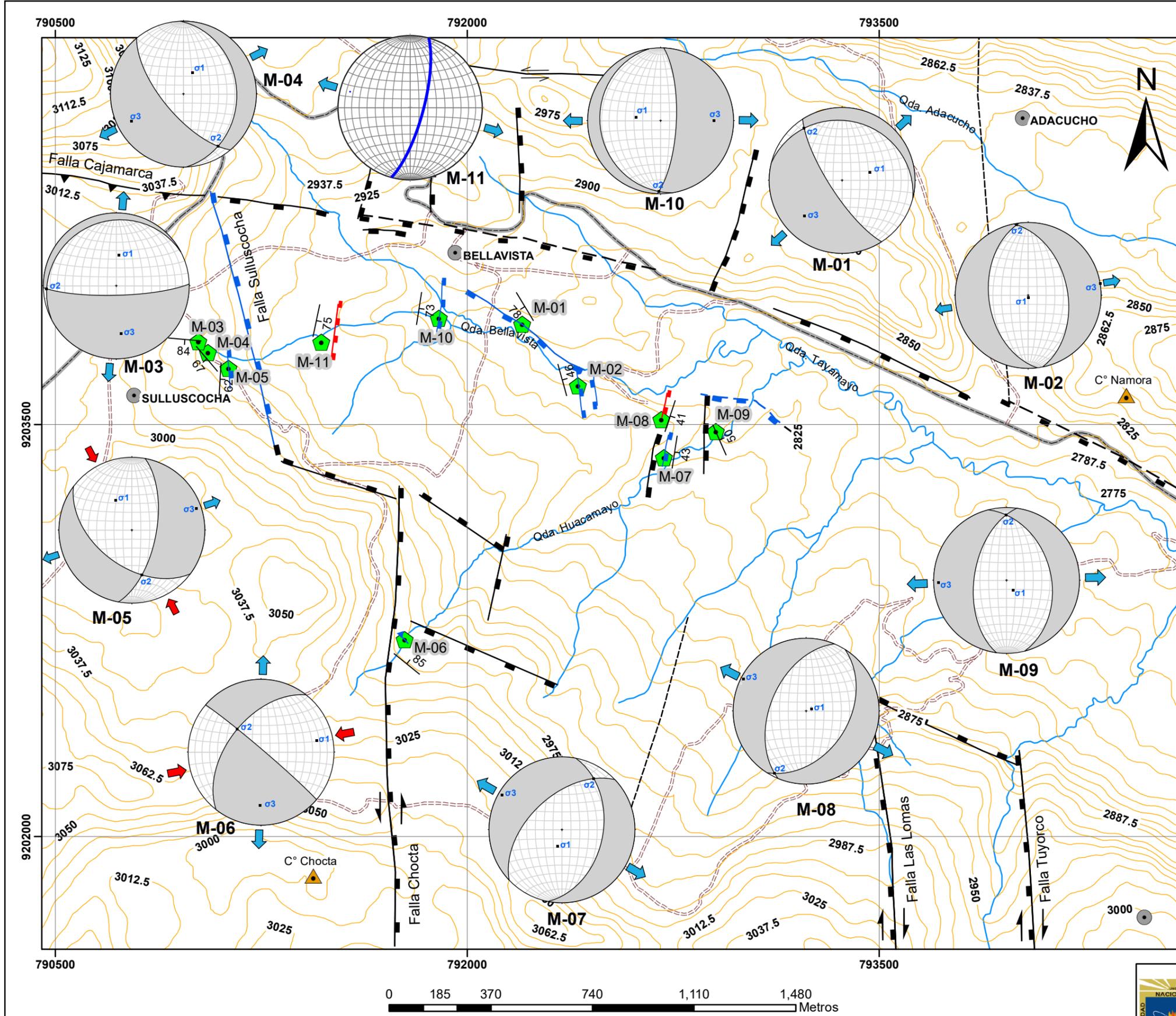
- Dextral
- Inferido
- Inversa
- Normal
- Normal inferida
- Falla de la cuenca
- Sinistral
- Sinsedimentaria
- Inversa

- Extension (σ_3)
- Compresión (σ_1)
- Diedro Extensión
- Diedro Compresión



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		Plano N° P-07
	ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA. Estructuras Extensionales NNE-SSO - Cretácico		
Tesista: Bach. Francarlos Jhoel De La Cruz Chuquimango	Escala: 1:20,000	Fecha: Enero de 2025	
Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani			



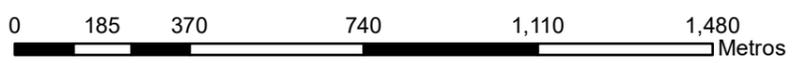
SIMBOLOGÍA

- Estaciones estructurales
- Cerros
- Centros Poblados
- Curvas de nivel
- Trocha Carrozable
- Drenaje
- Carretera asfaltado

Fallas

	Dextral		Falla de la cuenca
	Inferido		Sinistral
	Inversa		Sinsedimentaria
	Normal		Inversa
	Normal inferida		

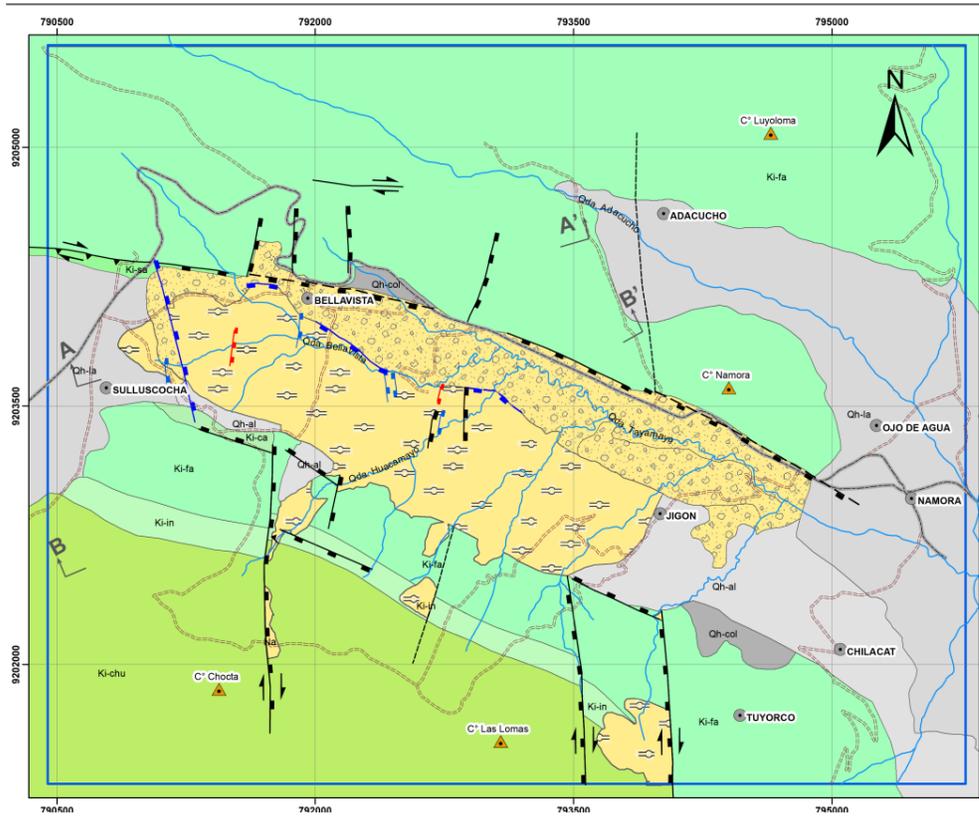
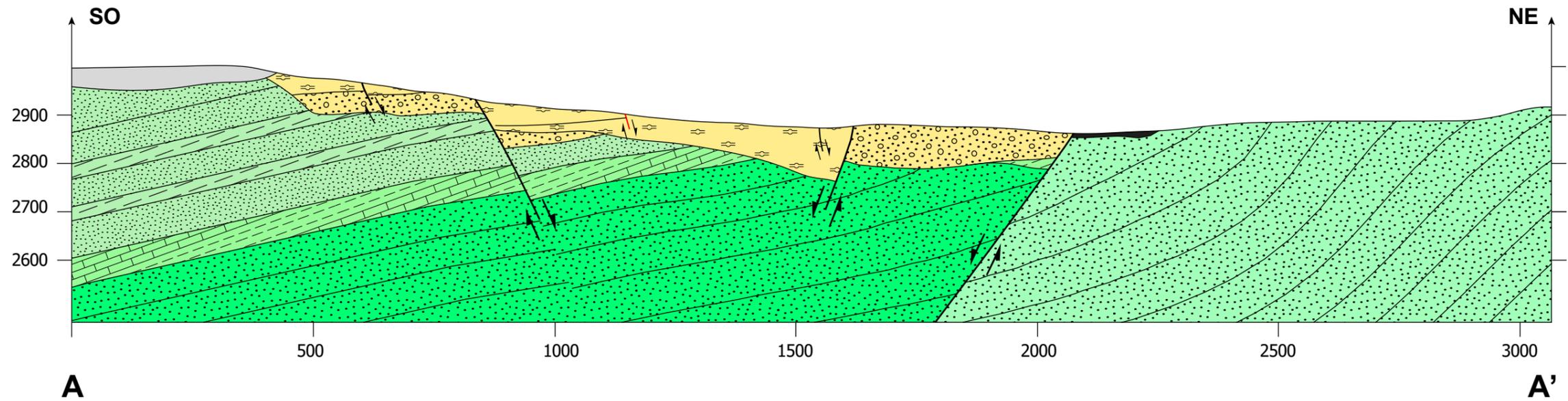
	Extension (σ_3)
	Compresión (σ_1)
	Diedro Extension
	Diedro Compresión



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		Plano N° P-08
	ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA. Estructuras Extensionales de la Cuenca		
Tesista: Bach. Francarlos Jhoel De La Cruz Chuquimango		Escala: 1:15,000	
Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani		Fecha: Enero de 2025	

Anexo N° 02: Secciones Geológicas



UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA

- Qh-co Depósito coluvial
- Qh-la Depósito lagunar

Formación Condebamba

- Secuencia Proximal
- Secuencia distal

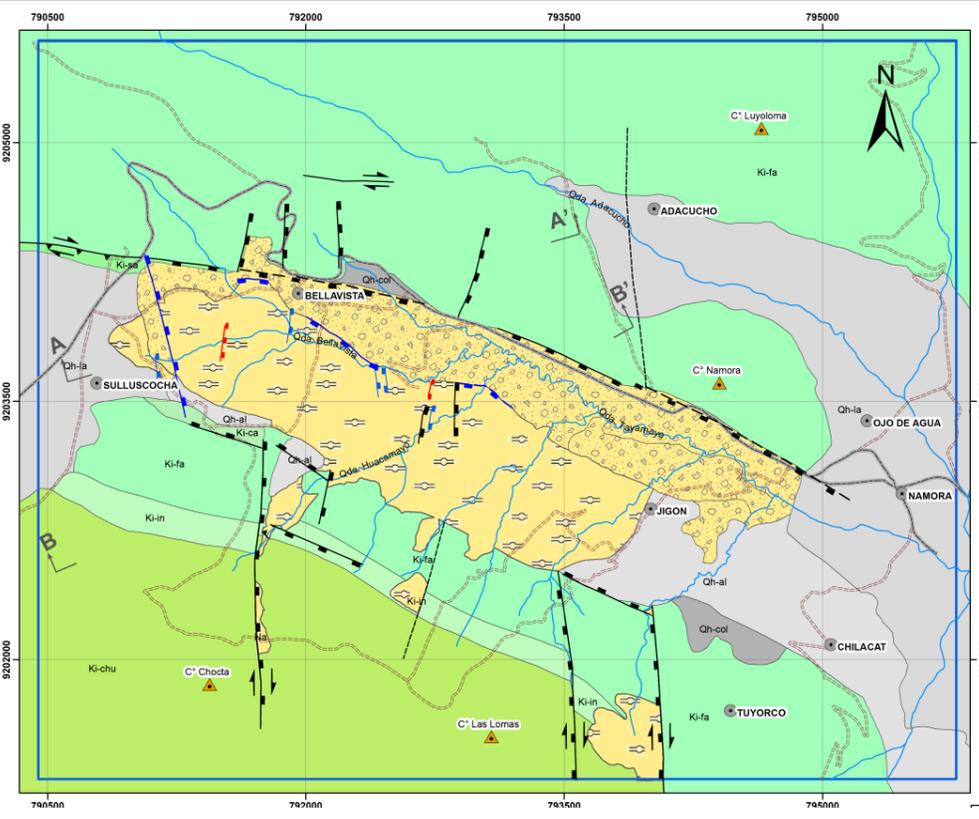
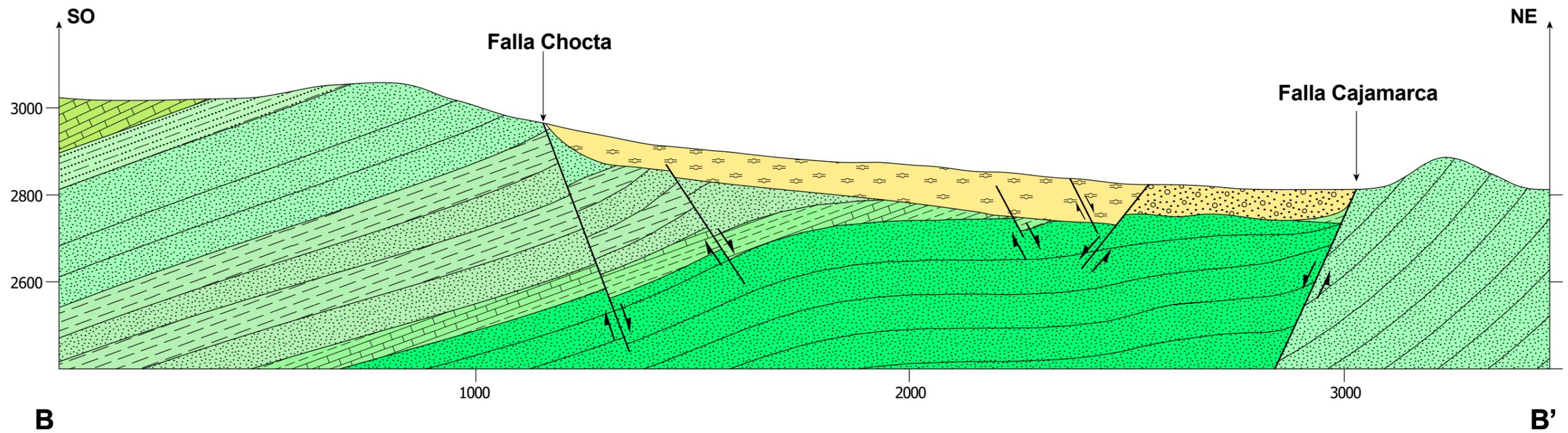
- Ki-fa Formación Farrat
- Ki-ca Formación Carhuaz
- Ki-sa Formación Santa
- Ki-chi Formación Chimú

- Falla normal
- Falla Sinsedimentaria



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		Plano N° S-1
	ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA. SECCIÓN GEOLÓGICO A-A'		
Tesista: Bach. Francarlos Jhoel De La Cruz Chuquimango		Escala: 1:10,000	
Asesor: Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani		Fecha: Enero de 2025	



UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA

Formación Condebamba		Secuencia Proximal
		Secuencia distal
Ki-chu		Formación Chulec
Ki-in		Formación Inca
Ki-fa		Formación Farrat
Ki-ca		Formación Carhuaz
Ki-sa		Formación Santa
Ki-chi		Formación Chimu

	Falla normal
--	--------------



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		Plano N° S-2
	ESTILO ESTRUCTURAL DEL NOROESTE DE LA CUENCA DE NAMORA, CAJAMARCA. SECCIÓN GEOLÓGICO B - B'		
Tesista: Asesor:	Bach. Francarlos Jhoel De La Cruz Chuquimango Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani	Escala: 1:10,000 Fecha: Enero de 2025	