

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA**



**TESIS**

**Análisis estructural - cinemático en base a un arreglo caótico de la  
falla de Sacrafamilia en el Cuadrángulo de Cerro de Pasco – Hoja  
22k**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor:**

**Bach. Daniel Angel AGUILAR MAMANI**

**Asesor:**

**Dr. Favio Máximo MENA OSORIO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA**



**T E S I S**

**Análisis estructural - cinemático en base a un arreglo caótico de la  
falla de Sacrafamilia en el Cuadrángulo de Cerro de Pasco – Hoja  
22k**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Tito Marcial ARIAS ARZAPALO**  
**PRESIDENTE**

---

**Dr. José Fermín HONJOSA DE LA SOTA**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Eder Guido ROBLES MORALES**  
**MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Unidad de Investigación**

---

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 010-2023-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

**AGUILAR MAMANI, Daniel Angel**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Geológica**

Tipo de trabajo:

**Tesis**

Título del trabajo:

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL-CINEMÁTICO EN BASE A UN ARREGLO  
CAÓTICO DE LA FALLA DE SACRAFAMILIA EN EL CUADRÁGULO DE  
CERRO DE PASCO – HOJA 22K.**

Asesor:

**Dr. MENA OSORIO, Favio Máximo**

Índice de Similitud: **19%**

Calificativo

**APROBADO**

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Paseo, 24 de Abril del 2023.



Sello y Firma del  
Responsable de la UI

## DEDICATORIA

A mi querida Abuela Isidora Coila Quispe y a mi madre Nancy Mamani Coila el pilar fundamental que me sostiene el apoyo incondicional y el consejo sabio y oportuno, a ellas dedico cada día de esfuerzo para lograr lo que soy y ofrezco.

A mi compañera de vida Diana Illatopa, quien con su ejemplo, apoyo incesante e incondicional me ayudaron a sacar adelante este hermoso proyecto de tesis.

A todos aquellos que son movidos por un gran amor a la vida y a la naturaleza, que están convencidos de que un mundo mejor es posible si se tienen los conocimientos para ayudar y el corazón para vencer.

***Daniel Aguilar.***

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi sincero reconocimiento a:

Dios por haberme permitido llegar hasta este punto dándome salud para lograr mis objetivos, por haberme dado fuerzas y valor para culminar con mi trabajo de investigación.

A nuestra alma mater la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en particular a las autoridades y docentes de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica, por mi formación como profesional competente.

Al Msc. Favio Mena Osorio, por asesorarme durante todo el proceso de investigación y haber revisado al detalle, dando las pautas necesarias para la ejecución de mi trabajo de tesis.

A mi familia deseo expresar mi gratitud por su aliento y apoyo incondicional, y a todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron de alguna manera para que este trabajo de investigación pudiera ser realizado.

## RESUMEN

Los métodos directos de exploración modernos suelen ser costosos, sobre todo en las etapas iniciales del proceso de exploración, ante esto Angus McCoss en 1987 desarrollo un método gráfico sencillo de análisis estructural, el cual relacionado con la teoría de la fractalidad de la naturaleza hacen un método efectivo de exploración usando las características geométricas de las estructuras menores como venillas de calcita, estilolitas, vetas, para escalarlas y así determinar cada uno de los ambientes tectónicos en los cuales fueron formados.

Es en base a esta técnica que en el presente trabajo tengo por objetivo identificar las características dimensionales, así como interpretar los procesos de carácter estructural cinemático que propiciaron la formación de la Falla Sacrafamilia, por consiguiente la identificación e interpretación de estos resultados nos permitirán reconstruir la evaluación tectónica y su influencia en el emplazamiento de los yacimientos mineros que ocurren localmente.

Para este fin utilicé la técnica de McCoss, el cual analiza las características geométricas como Azimuth tanto de la estructura como de la dirección del relleno fibroso de estructuras geológicas como venillas aisladas, sistemas de venilleo, vetas, estilolitas, etc.(sistemas fractales). Esta información fue registrada en cada ocurrencia estableciendo estaciones que mediante el uso de un formato especial determinamos los ambientes tectónicos de cada una de ellas.

Durante la aplicación de la técnica a 146 estaciones estructurales obtuvimos 2 resultados principales; el primero caracterizado por eventos netamente compresionales, y el segundo por movimiento compresionales y con importantes componentes de rumbo.

**Palabras claves:** Técnica de McCoss, Fractales, Análisis Estructural, Rotación de Elipsoide, Regímenes Tectónicos

## ABSTRACT

Modern direct exploration methods tend to be expensive, especially in the initial stages of the exploration process. In 1987, Angus McCoss developed a simple graphic method of structural analysis, which, related to the theory of fractality of nature, makes a effective exploration method using the geometric characteristics of minor structures such as calcite veins, stylolites, veins, to scale them and thus determine each of the tectonic environments in which they were formed.

It is based on this technique that in the present work I aim to identify the dimensional characteristics, as well as interpret the kinematic structural processes that led to the formation of the Sacrafamilia Fault, therefore the identification and interpretation of these results will allow us to reconstruct the tectonic evaluation and its influence on the location of mining deposits that occur locally.

For this purpose I used the McCoss technique, which analyzes the geometric characteristics such as Azimuth of both the structure and the direction of the fibrous filling of geological structures such as isolated veins, vein systems, veins, stylolites, etc. (fractal systems). This information was recorded in each occurrence, establishing stations that, through the use of a special format, determined the tectonic environments of each of them.

During the application of the technique to 146 structural stations we obtained 2 main results; the first characterized by clearly compressional events, and the second by compressional movements and with important heading components.

**Keywords:** McCoss Technique, Fractals, Structural Analysis, Ellipsoid Rotation, Tectonic Regimes

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto titulado: “ANÁLISIS ESTRUCTURAL - CINEMÁTICO EN BASE A UN ARREGLO CAÓTICO DE LA FALLA DE SACRAFAMILIA EN EL CUADRÁNGULO DE CERRO DE PASCO – HOJA 22K”, tiene por objeto explicar las características de los grandes rasgos geológicos que tienen un papel importante en la generación de Yacimientos minerales metálicos dentro de la hoja 22k, estas estructuras que ponderan la generación de yacimientos son estudiadas desde los inicios de toda actividad minera como parte fundamental y obligatoria para su eficiente aprovechamiento. Sin embargo, los estudios de las fallas geológicas se centran únicamente en las estructuras que están inmediatamente relacionadas a dichos yacimientos, a lo que el presente propone mediante el uso de la Técnica de McCoss estudiar este importante rasgo geológico y que además se encuentra cercano y probablemente conjugado. Es así que en la presente Tesis se abordará el estudio de la FALLA SACRAFAMILIA (Falla San Juan, denominada así en mapeos a escala 1/50 000-INGEMMET) ubicada a 3 km. Al Oeste del yacimiento Minero Colquijirca (BROCAL S.A.A.), rasgo estructural de condiciones geológicas valiosas ya que por su evidente relación con las demás fallas que se incluyen en la hoja 22k y por la falta de un estudio a escala local de sus principales características como son: Características Espaciales (Rumbo, Buzamiento, Dirección de buzamiento, tipo de desplazamiento), Evolución Tectónica, Análisis Cinemático, que en esta oportunidad se basará en un arreglo caótico usando el Análisis Estructural de Fractales (venillas de calcita, chert, estilolitas, lineamientos ) y La Influencia que ejerció en la generación del distrito minero de Colquijirca, el método de análisis estructural nos proporcionará una herramienta para recolectar datos estructurales in situ que junto al mapeo geológico permitirán conocer los aspectos sobredichos de la FALLA SACRAFAMILIA

## ÍNDICE

	<b>Página.</b>
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE PLANOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
INDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	xiii
ANEXOS.....	xiv
CAPITULO I.....	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	2
1.3. Formulación del problema.....	2
1.4. Formulación de objetivos .....	3
1.4.1. Objetivos generales.....	3
1.4.2. Objetivos específicos .....	3
1.5. Justificación de la investigación .....	4
1.6. Importancia y alcances de la investigación .....	4
1.7. Limitaciones de la investigación.....	5
CAPITULO II.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de estudio.....	7
2.2. Bases teóricas científicas.....	12
2.3. Definición de términos conceptuales .....	46
2.4. Enfoque filosófico - epistémico .....	47
CAPITULO III.....	49
3. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	49
3.1. Tipo de investigación.....	49
3.2. Nivel de la investigación.....	50
3.3. Característica de la investigación .....	50

3.4.	Método de Investigación .....	51
3.5.	Diseño de investigación .....	55
3.6.	Procedimiento de muestreo .....	55
3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	61
3.9.	Orientación ética.....	69
CAPITULO IV .....		70
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	70
4.1.	Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	70
4.2.	Discusión de resultados .....	94
CONCLUSIONES.....		99
RECOMENDACIONES .....		101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		103
ANEXOS.....		105

## ÍNDICE DE PLANOS

	<b>Página.</b>
Plano N° 1. Ubicación geográfica de zona de trabajo.....	13
Plano N° 2. Unidades geomorfológicas .....	15
Plano N° 3. Imagen satelital de la zona de trabajo.....	56
Plano N° 4. Plano geológico y secciones de la zona de estudio .....	71
Plano N° 5. Sección transversal A-A'.....	72
Plano N° 6. Sección transversal B-B'.....	73
Plano N° 7. Sección transversal C-C' .....	74
Plano N° 8. Plano geológico de zonas de estudio, Resultantes locales vs rosetas .....	81
Plano N° 9. Plano geológico de Zonas fallas Norte. ....	83
Plano N° 10. Plano geológico de Zonas fallas Sur.....	84
Plano N° 11. Plano geológico de zona Pliegues Norte .....	85
Plano N° 12. Plano geológico de Zonas Pliegues Centro 1 y Centro 2.....	86
Plano N° 13. Plano geológico de Zona Pliegues Sur. ....	87
Plano N° 14. Plano Imagen satelital Vs Diedros Rectos .....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página.</b>
Tabla 1. Coordenadas de zona de trabajo. ....	12
Tabla 2. Formato para la recogida de datos de campo.....	54
Tabla 3. Ejemplo sobre el almacenamiento de datos en Hojas de Excel. ....	57
Tabla 4. Datos tomados de la estación estructural. ....	62
Tabla 5. Zonas estructurales y el rumbo predominante que es predominante.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página.</b>
Figura 1. Columna estratigráfica de Cerro de Pasco – Colquijirca .....	25
Figura 2. Sección geológica del yacimiento Colquijirca. Extraída de Bendezú, 2006. .....	27
Figura 3. Principales fallas en el cuadrángulo de Cerro de Pasco, se nota también su influencia en el emplazamiento de arcos magmáticos.....	31
Figura 4. Ubicación de la cuenca Pucará para el Triásico superior en el contexto de las grandes fallas que controlaron su evolución. A A T: Sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos; C L M: Sistema de fallas Cusco- Lagunillas-Mañazo .....	32
Figura 5. Franjas metalogenéticas vs fallas regionales hoja 22-k. ....	33
Figura 6. Diagrama de Flinn que muestra la variación de forma del elipsoide de deformación.....	39
Figura 7. Espectro de regímenes tectónicos. ....	40
Figura 8. Gama de estructuras que se pueden encontrar en base al espectro tectónico .....	41
Figura 9. Diagrama que contiene la solución gráfica para determinar las características del análisis estructural. ....	42
Figura 10. Componentes del Análisis Estructural que se pueden conocer con la aplicación de esta metodología.....	43
Figura 11. Análisis Estructural in situ, usando la técnica de McCoss. (Hochschild, 2008).....	43
Figura 12. A. Fractal referencial con rasgos estructurales(Pull apart). B.Después de ser analizados muestran la dirección y sentido de los esfuerzos que produjeron la estructura fractal. (Hochschild, 2008).....	44
Figura 13. Estilolitas: Son estructuras columnares de 2 a 30 cm. De largo que se forman a lo largo de las separaciones de las calizas. ....	59
Figura 14. Venillas: Son estructuras menores que tienen poca persistencia y potencia, generalmente relleno por calcita, sílice y otros minerales.....	60
Figura 15. Vetas y Vetillas: Vetas y Vetillas: Estructura tipo paralelepípedo, generalmente mineralizada, presenta una potencia, un largo y una profundidad. Las vetas mineralizadas constituyen yacimientos de rendimiento económico. Las vetas son generalmente el producto del relleno de fracturas o fallas por procesos.....	60

Figura 16. Vetas mineralizadas: Estructuras vetiformes donde se puede apreciar dirección del relleno fibroso .....	61
Figura 17. Zonas De Cizallamiento: Zona donde ha ocurrido el cizallamiento o fracturamiento, estas zonas son apropiadas ya que aparte de mostrar un relleno fibroso también es capaz de mostrar indicadores cinemáticos a detalle como se ve en la siguiente fotografía. ....	61
Figura 18. Estación estructural (marcada en círculo rojo), que usaremos para mostrar la aplicación de la Técnica de McCoss. ....	62
Figura 19. Afloramiento de caliza mostrando dos sistemas de fractales diferenciados con líneas punteadas de color rojo y azul, que en este caso son: venillas de calcita mostrando relleno fibroso. ....	63
Figura 20. Vista de cómo se orienta la brújula para medir el Azimuth de la estructura fractal. ....	64
Figura 21. Datos medidos: Azimut de estructura:160° Azimut relleno Fibroso: 56 ° ....	64
Figura 22. Trazado de línea perpendicular de la estructura fractal. ....	65
Figura 23. Trazado de línea perpendicular de la estructura fractal. ....	65
Figura 24. Finalmente se une las intersecciones desde el sigma $\sigma_3$ hacia el $\sigma_1$ (McCoss, 1987) que pasan por el límite del círculo dibujado. ....	66
Figura 25. Movimiento dextral determinado por la posición opuesta de la resultante local.....	66
Figura 26.Espectro de regímenes tectónicos. ....	67
Figura 27. Formato de campo en el cual se registran los datos estructurales Por J.A. Martínez Mendoza-Hochschild Mining .....	68
Figura 28. Figura corresponde al sistema de estructuras 2. , concluyendo que ambos sistemas 1 y 2 fueron formados en un ambiente tectónico transpresivo. ....	68
Figura 29. Estaciones estructurales y sus respectivos análisis tectónicos.....	77
Figura 30. Estaciones estructurales y sus respectivos análisis tectónicos.....	78
Figura 31..Espectro tectónico .....	80
Figura 32. Integrado los cuatro escenarios (Compresivo-transpresivo, Extensivo-transtensivo, Dextral y Sinistral). ....	90
Figura 33. Esquema que muestra los esfuerzos regionales durante el proceso de plegamiento durante el Cretácico Superior. La zona de esfuerzos principales tiene 329° de Azimut.....	91
Figura 34. Se realizó la proyección estereográfica de los datos de fallas tomados en campo. ....	92

Figura 35. Diagrama usando los diedros rectos los cuales arrojan una dirección promedio de compresión de 131° de Rumbo y extensión de 244°(N64°E). .....	92
Figura 36. División del Grupo Pucará en Cerro de Pasco: Pucará Oriental (Formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga) y Pucará Occidental (indiviso) (tomado de Ángeles, 1999), También se puede apreciar la diferencia de potencias respecto al Pucará Occidental (600m) y Oriental (1500m).....	96
Figura 37. (i) Elipsoide referencial durante el Cretácico inferior .....	98
Figura 38. Segundo evento tectónico evidenciado con elipsoides. ....	100

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Página.</b>
Fotografía 1. Formación Chayllacatana, en la carretera Cerro de Pasco-Huariaca.....	21
Fotografía 2. Columna estratigráfica de la Formación Chayllacatana, interpretados a partir de sondaje diamantinos DDH.....	21
Fotografía 3. Afloramiento de pizarras y areniscas en estratos centimétricos, el norte de Cerro de Pasco, en la carretera Cerro de Pasco – Yanahuanca (Vista al Norte).....	27
Fotografía 4. Contacto geológico entre calizas del grupo Pucará sobre yaciendo al grupo Mitu, en la parte norte del área de estudio.....	29
Fotografía 5. Planicie del Lago de Junín. Se observa parte de la pampa Bombón; la textura rugosa corresponde a la morfología del Bosque de Rocas (vista tomada al noreste).....	29

## **ANEXOS**

ANEXO 1-2. Base de Datos detallada

ANEXO 3-18. Estaciones estructurales ejecutadas.

ANEXO 19. Formato para registro de Datos estructurales. (Hochschild Mining)

ANEXO 20. Cuadro compósito de evolución tectónica Falla Sacrafamilia.

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

El presente proyecto titulado: “ANÁLISIS ESTRUCTURAL - CINEMÁTICO EN BASE A UN ARREGLO CAÓTICO DE LA FALLA DE SACRAFAMILIA EN EL CUADRÁNGULO DE CERRO DE PASCO – HOJA 22K”, tiene por objeto explayar las características de los grandes rasgos geológicos que tienen un papel importante en la generación de Yacimientos minerales metálicos dentro de la hoja 22k, estas estructuras que ponderan la generación de yacimientos son estudiadas desde los inicios de toda actividad minera como parte fundamental y obligatoria para su eficiente aprovechamiento. Sin embargo, los estudios de las fallas geológicas se centran únicamente en las estructuras que están inmediatamente relacionadas a dichos yacimientos, a lo que el presente propone prestar la debida importancia a aquellas fallas cercanas, conjugadas, relacionadas o similares a las principales, que por su distancia u otros aspectos indirectamente también tienen un papel importante en el proceso de emplazamiento y es fundamental establecer sus principales aspectos. Es así que en la presente Tesis se abordará el estudio de la FALLA

SACRAFAMILIA ubicada a 3 km. Al Oeste del yacimiento Minero Colquijirca (BROCAL S.A.A.), rasgo estructural de condiciones geológicas valiosas ya que por su evidente relación con las demás fallas que se incluyen en la hoja 22k y por la falta de un estudio a escala local de sus principales características como son: Características Espaciales (Rumbo, Buzamiento, Dirección de buzamiento, tipo de desplazamiento), Evolución Tectónica, Análisis Cinemático, que en esta oportunidad se basará en un arreglo caótico usando el Análisis Estructural de Fractales (venillas de calcita, chert, estilolitas, lineamientos ) y La Influencia que ejerció en la generación del distrito minero de Colquijirca, el método de análisis estructural nos proporcionará una herramienta para recolectar datos estructurales in situ que junto al mapeo geológico permitirán conocer los aspectos sobredichos de la FALLA SACRAFAMILIA.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

Existen en la literatura geológica una gran cantidad de técnicas y metodologías especializadas tanto gráficas como a nivel de software para realizar el análisis cinemático y análisis estructural como son por ejemplo el análisis de esfuerzos a través del uso de software especializados para extraer lineamientos mediante el tratamiento de imágenes satelitales (QGIS), los cuales son bastante útiles sin embargo tienen dentro de su procedimiento fases tanto de recolección de datos como de tratamiento de estos datos en Gabinete.

El presente trabajo tiene por objetivo establecer un método de aplicación práctico que es capaz de entregar resultados a nivel de Gabinete pero netamente en campo, **in situ** en la estación estructural y todo esto a partir de una construcción gráfica sencilla desarrollado a través de la Técnica de McCoss, la cual nos permitirá conocer los principales características estructurales de una estructura fractal (Venilla con relleno fibroso).

## **1.3. Formulación del problema**

Existen numerosos estudios sin embargo ninguno se enfoca en el ANÁLISIS ESTRUCTURAL CINEMÁTICO CON BASE EN UN ARREGLO ESTRUCTURAL CAÓTICO, lo cual proporciona el sustento para realizar este trabajo con el fin de conocer la evolución tectónica de la FALLA DE SACRAFAMILIA y su contexto geológico.

El presente trabajo se basa en la recolección de datos obtenidos mediante el Mapeo geológico y además en la recolección de datos estructurales los cuales se obtienen haciendo uso de la Técnica de McCoss (McCoss, 1986), el cual propone que mediante una construcción grafica sencilla in situ es posible obtener rápidamente los componentes cinemáticos implicados en cada punto de estación de análisis.

Una vez obtenidos los datos podemos procesar e interpretar para conocer los principales aspectos geológicos estructurales que posee la Falla de Sacrafamilia.

#### **1.4. Formulación de objetivos**

##### **1.4.1. Objetivos generales**

- a) Identificar las características Dimensionales haciendo uso de la Técnica de McCoss, así como interpretar los procesos de carácter Estructural Cinemático que causaron la ocurrencia de la FALLA DE SACRAFAMILIA.
- b) Reconstruir la evolución tectónica y su influencia en el emplazamiento de los yacimientos mineros locales, ejecutando el ANÁLISIS ESTRUCTURAL-CINEMÁTICO EN BASE A UN ARREGLO CAÓTICO.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar las características dimensionales FALLA DE SACRAFAMILIA tales como Rumbo, Buzamiento, Dirección de Buzamiento además determinar a una escala local la disposición de

los componentes geológicos tales como Pliegues, fallas, unidades litológicas, etc., haciendo uso del mapeo geológico.

- b) Analizar los componentes cinemáticos que produjeron la ocurrencia de la FALLA SACRAFAMILIA realizando el mapeo estructural usando el método de Análisis estructural “Técnica de McCoss” (McCoss, 1986), el cual además verificaremos con otros modelos y métodos tales como la Proyección estereográfica, el cual nos sirve para determinar los esfuerzos y deformaciones a nivel local y regional.
- c) Realizar la interpretación obtenida con los datos y correlacionar los resultados con los registros estratigráficos, fases tectónicas, ciclos orogénicos de esta manera reconstruir los eventos tectónicos que tuvieron lugar en la formación de la Falla de Sacrafamilia.
- d) Estimar como influyó la ocurrencia de la FALLA SACRAFAMILIA en el emplazamiento de los yacimientos mineros y de la misma forma su influencia en el contexto geológico.

### **1.5. Justificación de la investigación**

Actualmente no existen estudios sobre el comportamiento estructural de este rasgo geológico tan importante que siga esta metodología por lo tanto aportará los resultados en el conocimiento y comprensión del comportamiento estructural de la Falla de Sacrafamilia, pues nos permitirá identificar las características dimensionales, así como su comportamiento cinemático con respecto a su contexto geológico.

Por la escala local del trabajo de campo podremos evidenciar características que no se pueden apreciar en trabajos a escalas regionales por lo tanto permitirá contrastar los resultados con trabajos anteriores.

### **1.6. Importancia y alcances de la investigación**

- a) Permite explicar las características estructurales y la influencia que este ejerce sobre su entorno geológico seremos capaces de proyectar este comportamiento a las demás fallas de carácter regional como lo es el caso inmediato la Falla de Cerro de Pasco, de esta manera aportar al conocimiento estructural de este tipo de falla, con la posibilidad de predecir la ocurrencia de otros yacimientos similares a los circundantes a la Falla Sacrafamilia.
- b) Constituye un método formal de análisis estructural planteado con evidencias teóricas científicas y respaldados con datos prácticos, lo cual nos permite estudiar los resultados y usarlos para dirigir mejor los esfuerzos en el estudio y comprensión de estas grandes estructuras como es la Falla Sacrafamilia.
- c) El alcance que podrían ejercer los resultados se considera hasta una escala regional pues permitiría entender comportamientos estructurales similares, teniendo como opción usar la metodología seguida en el presente estudio.

#### **1.7. Limitaciones de la investigación**

- a. El método de recolección de datos Técnica de McCoss (McCoss, 1986), se basa en términos de probabilidad en un Sistema estocástico-determinante sobre el cual, los resultados pueden ser inferidos en términos de probabilidad, por lo que lo anterior tiene ese inconveniente; Sin embargo, los resultados obtenidos para realizar una interpretación pueden ser corroborados con proyecciones estereográficas los cuales podrán ser contrastados con los de la Técnica de McCoss.
- b. El modelo de análisis basado en el artículo publicado por Angus McCoss (McCoss, 1986) se limita a análisis estructural en 2 dimensiones es decir podemos aseverar que el modelo de análisis que nos ofrece por su sencillez es práctico y sencillo de aplicar, sin embargo, deja el diseño de los modelos estructurales en 3D al criterio del Geólogo.

- c. El método de McCoss es más efectivo cuando la estructura a analizar estructuralmente no muestra diversas reactivaciones, es decir se debe velar que los fractales sean contemporáneas a el evento que queramos estudiar.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de estudio

- i. Gumiel, (1987), *APLICACIÓN DE LOS FRACTALES AL ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA DE LAS REDES DE FRACTURA Y DE LOS YACIMIENTOS MINERALES TIPO FILONIANO/APLICACIÓN DE LOS FRACTALES AL ESTUDIO DE MICROESTRUCTURAS: MACLADO DE CALCITA Y SUS IMPLICACIONES EN LOS PROCESOS DE DEFORMACIÓN. /APLICACIÓN DE LOS FRACTALES AL ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA SISMICIDAD EN ZONAS LÍMITES DE PLACAS TECTÓNICAS.*

Instituto Geológico y Minero de España IGME, España.

- Dado que la prospección en busca de yacimientos minerales filonianos resulta difícil y costosa por su errática distribución, contar con un método científico para localizarlos con más acierto supondría una gran ayuda. Este fue el planteamiento básico que en 1987 llevó a Pablo Gumiel, geólogo del Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

- En el caso de las redes de fracturas y venas, la forma de operar, “relativamente sencilla”, consistía en realizar mediciones de parámetros, como la anchura y la longitud de cada vena, el espaciado entre fisuras y los puntos de intersección de las mismas. Para ello, aprovecharon principalmente afloramientos rocosos, además de recabar numerosos datos de testigos de sondeos de los realizados en las campañas de exploración llevadas a cabo por el IGME.
- El proyecto de aplicación de fractales a las maclas (complejos cristalinos formados en el crecimiento simultáneo y entrecruzado de dos o más cristales) se sustenta en una de las propiedades de la Geometría fractal, la invarianza a cambio de escala. Cuando se deforman las rocas y se comprimen, se producen fracturas, a un nivel macroscópico, y maclas, a una escala microscópica.

De los anteriores textos tomados del estudio sobredicho podemos verificar la utilidad del estudio de los fractales en diferentes ramas de la ciencia como lo es en la Geología, sin embargo tienen una metodología diferente al que usaremos en este trabajo, pero ambas corresponden al mismo principio que busca escalar pequeñas estructuras con la finalidad de obtener información útil acerca del comportamiento de las grandes estructuras.

ii. Martínez, (1991), *PERSPECTIVAS DE NUEVOS DEPÓSITOS CON BASE EN UN ARREGLO ESTRUCTURAL CAÓTICO EN EL DISTRITO DE GUANAJUATO*, Compañía minera Las Torres S.A., México

- El análisis estructural de campo realizado de Guanajuato en 1991, y que sirvió como punto de partida para el desarrollo del presente artículo, tuvo como objetivo obtener modelos estructurales sobre el control de la mineralización en Guanajuato con base en la definición del sistema

regional de esfuerzo al tiempo de mineralización epitermal. Esto se pudo realizar colectando numerosos croquis microestructurales de la mineralización; se infirió así la posición de los esfuerzos, además se colectaron datos estructurales que fueron ploteados en redes estereográficas para confirmar con base en método P-T dihedral la posición de los esfuerzos sugeridos con el primer método.

- El principio en el que se basa el análisis estructural mencionado es el de la “escala invariable”, típica de la geometría fractal. La premisa es que el objeto fractal tiene la misma geometría a diferentes escalas. Un sistema de vetas tiene la útil característica llamada “autosimilaridad”, a través de la cual es posible inferir la existencia de estructuras mayores a partir de estructuras a pequeña escala y viceversa, porque la misma “regular irregularidad” persiste.

Del estudio Citado vemos que permitió identificar escenarios tectónicos responsables para la mineralización del distrito minero de Guanajuato, en base al entendimiento de las estructuras de pequeña escala usando el principio establecido por la temática de los fractales descrito como “Escala Invariable”, es precisamente esta ideología que permitió diseñar una metodología la cual se traslada al presente estudio porque permite obtener los resultados deseados por el trabajo que estoy desarrollando.

- iii. Cobbing, Quispesivana, Paz (1996), *GEOLOGÍA DE LOS CUADRÁNGULOS DE AMBO, CERRO DE PASCO Y ONDORES HOJAS 21-K,22-K,23-K*, INGEMMET-PERÚ. La investigación hace la siguiente alusión respecto a la falla de Sacrafamilia:
  - “La estructura presenta una dirección N-S paralela a la falla de Cerro de Pasco, ubicada al oeste del yacimiento minero de Colquijirca. Se

orienta en forma regional hasta el cuadrángulo de Ambo, teniendo una longitud aproximada de 50 km. Afecta rocas del cretáceo superior (Formación Casapalca). Y controla a los grupos Excelsior y Pucará, al oeste de esta falla longitudinal se observa pliegues asimétricos de dirección andina.

- Próxima a la falla se ubican pequeños stocks hipabisales de edad Neógeno, siendo estas responsables de la mineralización existente en la zona de estudio; en el cuadrángulo de ambo la Falla Sacrafamilia se ubica al NE del poblado de Chacayán, con una dirección N 45° o atravesando afloramientos de Pérmico superior y del Complejo del Marañón que se encuentra fuertemente replegado”.

El INGEMMET por medio de sus autores proponen una tesis en este texto el cual es, que en base al estudio de la hoja 22k en su párrafo alusivo a la falla de Sacrafamilia, un rasgo geológico de 50 km de longitud llegando su alcance hasta el cuadrángulo de Ambo siendo responsable de la mineralización polimetálica, La falla de Sacrafamilia es la estructura geológica que estará bajo estudio en el presente trabajo, siendo la información citada de relevancia para el desarrollo del presente trabajo.

- iv. Hoshchild Mining (2008), *ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN LA EXPLORACIÓN MINERA, PERÚ.*

Conformado por presentaciones en formato PDF que contienen las bases científicas que sostienen este estudio como son la TEORÍA DEL CAOS Y EL ESTUDIO MEDIANTE LAS FRACTALES ,también contiene conceptos de esfuerzos, deformación y conceptos de geología estructural básicos así como los procedimientos para la aplicación del Método propuesto por Angus McCoss(McCoss, 1986), ejercicios y un formato

elaborado por J.A. Martínez-Mendoza para su fácil y correcto registro de datos en campo.

v. *ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LA FALLA REGIONAL (CERRO DE PASCO)*, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión [UNDAC], PERÚ. Estudio geológico realizado por los alumnos de la Escuela de Geología llegando a las siguientes conclusiones:

- a. Concluimos que la falla regional de Cerro de Pasco ha sufrido esfuerzos extensionales y compresivos, por lo tanto, pasó de una normal a una falla inversa, actualmente se encuentra inactiva.
- b. Los esfuerzos producidos próximos a la falla determinaron la dirección de su desplazamiento.
- c. En las explicaciones de la falla como fue normal y ahora inversa vemos las fuerzas, esfuerzos y deformación que estudiamos anteriormente, en caso de la falla Cerro de Pasco.
- d. Sobre los esfuerzos analizados en la zona tenemos  $\sigma_1$  = Tensión máxima, la cual nos da la  $\sigma_3$  y con esto analizamos los movimientos de los bloques encontramos tanto inversas como normales.
- e. Si bien es cierto no hace alusión a la falla de Sacrafamilia, uso la técnica de McCoss para realizar el análisis cinemático en las estaciones correspondientes detallando gráficamente todo el procedimiento hecho, adicionalmente se hace una evaluación con el modelo de Riedel. Este estudio corrobora que la técnica de McCoss es versátil ofreciendo las siguientes características:
  - ✓ Aplicación en el campo, esto quiere decir que podemos analizar el comportamiento estructural de la estación in situ obteniendo direcciones de esfuerzos locales.

- ✓ Es versátil el resultado del estudio puede usarse tanto como para fines económicos como científicos aportando importante información basada en los análisis cinemático estructurales.

## 2.2. Bases teóricas científicas

### Ubicación y accesibilidad

Se ubica a 4km al Oeste del Yacimiento polimetálico de Colquijirca donde viene operando la empresa minera el Brocal S.A, se halla dentro de la hoja 22 k – Cerro de Pasco, de la Carta Geográfica Nacional y las coordenadas UTM que limitan el área son:

**Tabla 1.** Coordenadas de zona de trabajo.

<b>Coordenadas del área de trabajo</b>		
<b>Vértice 1</b>	355085	8816095
<b>Vértice 2</b>	360039	8816095
<b>Vértice 3</b>	360039	8805696
<b>Vértice 3</b>	355085	8805696



Se accede por la carretera Lima – La Oroya – Colquijirca-Huaraucaca , con una distancia de 322 Km que se cubre en 7 horas aproximadamente.

El área de estudio está ubicada en dos distritos Tinyahuarco y Simón Bolívar, Provincia y Departamento de Pasco específicamente en los alrededores de los poblados de Huaraucaca y Simón Bolívar; las cotas varían entre 4,180 y 4,500 m.s.n.m.

### **Clima y vegetación**

Se caracteriza por un clima típico de serranía, con dos estaciones bien marcadas; una lluviosa entre los meses de noviembre y marzo; y otra seca con temperaturas menores a 0° C entre los meses de abril y octubre.

En tanto a la vegetación, por el mismo hecho de exhibir dicho clima, contiene un follaje poco desarrollado, donde escasea la presencia del árbol típico el quinal y en abundancia predomina, el ichu.

### **Topografía, geomorfología y orografía**

La zona de investigación está ubicada en una elevada meseta conocida como La Meseta del Bombón (más hacia el nor-oeste se encuentra el Nudo de Pasco), de relieve relativamente suave, en donde la diferencia de alturas entre las partes más altas y más bajas no es mayor de 300-400 m.

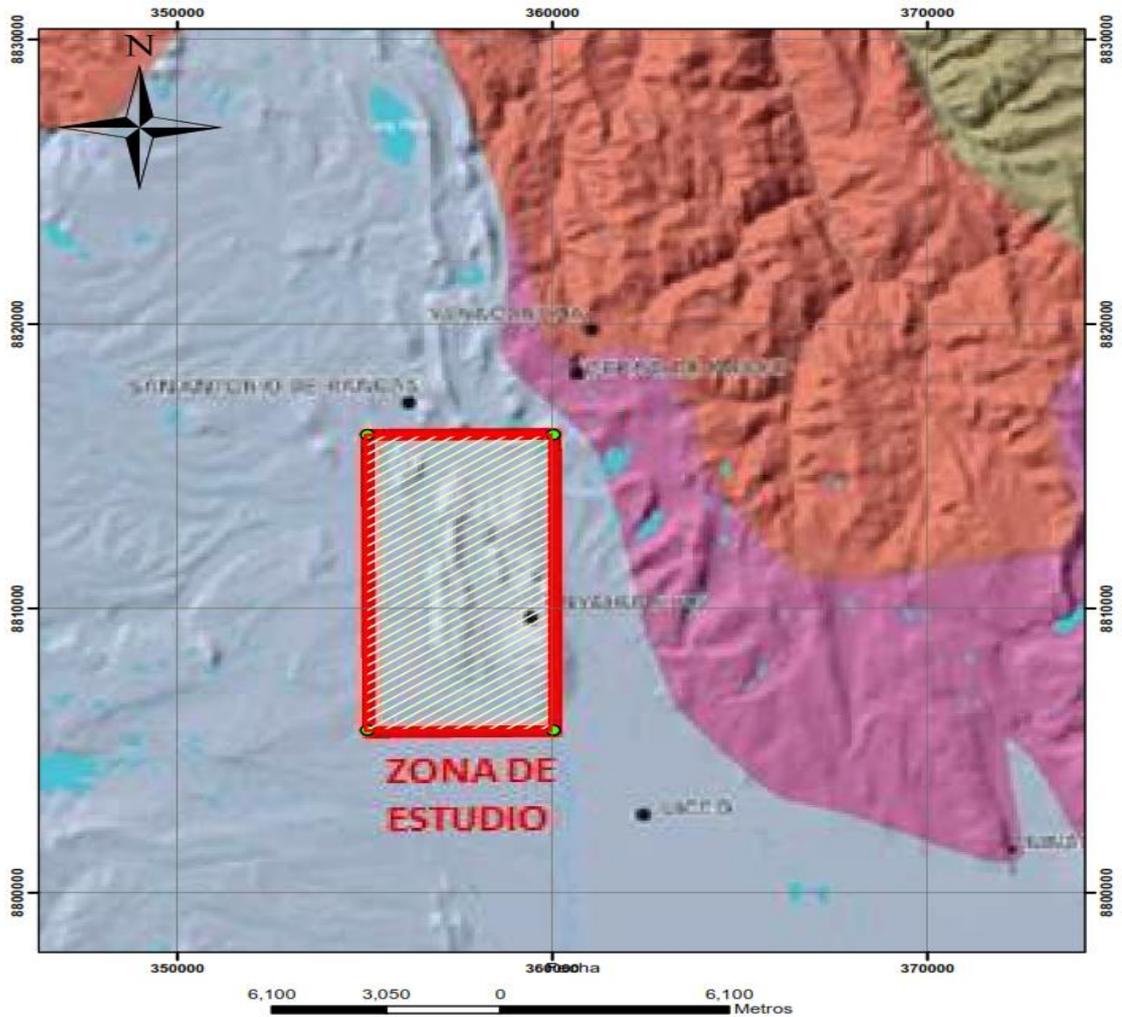
Hacia el Norte, la meseta termina en una serie de cañones profundos de pendientes empinadas (topografía accidentada), que constituyen los valles interandinos. Los valles continúan erosionándose por la erosión fluvial, de manera que en la actualidad representan valles tipo V o Jóvenes. Hacia el Sur, las pendientes son suaves y concluyen en la extensa Pampa de Junín.

### **Hidrografía:**

En el Nudo de Pasco nacen ríos importantes como: El Huallaga, el Mantaro (nace como Río San Juan el cual está dentro de la zona de investigación) y el Chaupihuaranga (Nace como Río Tingo). A lo largo de la carretera asfaltada Cerro de Pasco – Oroya, tenemos discurriendo las aguas del Río Mantaro, las cuales llegan a bañar toda la Cuenca del Mantaro, pasando por La Oroya, Jauja, Concepción y Huancayo.

## Unidades geomorfológicas

Se diferencian 5 unidades morfológicas Planicie del lago de Junín, bosque de Rocas, Cordillera oriental (sensu stricto), borde oeste de la cordillera oriental y valles interandinos. Precisamente es en la Planicie del lago Junín donde se ubica exactamente la zona de estudio que se muestra a continuación:



	Bosque de Rocas
	Planicie del Lago de Junin
	Valles Interandinos
	Borde Oeste de la Cordillera Oriental
	Cordillera Oriental

GEOLOGIA	PROYECTO	
	Fig.02. Unidades Geomorfológicas	
Escala: 1:150000	Formato: A4	Sistema: UTM - WGS 84
Dibujado: Daniel A.	Fecha 28-07-2020	Dep./Prov.: Pasco

	Dibujado: Daniel AGUILAR MAMANI	"UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL
	Revisado: Dr. Favis, MENA OSORIO	
	Prov./Dist: Pasco/Pasco/Tayabaya	INGENIERÍA GEOLÓGICA
E. HORIZONTAL: 1 / 50 000	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	PLANO: 02

Plano N° 2. Unidades geomorfológicas

## **Bases teóricas - geología**

### **Contexto geológico**

Las rocas más antiguas de la región de estudio constituyen un basamento Pre-Cambriano y Paleozoico predominantemente terrígeno de espesor y edades fuertemente variables. Hacia el este de la región, cerca de 3000 m de principalmente esquistos (Complejo Marañón) y areniscas (Grupos Ambo y Mitu) infrayacen hasta más de 1000 m de carbonatos del Missisipiano y Pensilvaniano (Grupos Tarma y Copacabana).

En el oeste no se conocen afloramientos importantes del Complejo Marañón, ni del Grupo Ambo, ni de las secuencias carbonatadas del Paleozoico superior. Allí, el basamento está conformado por una secuencia de filitas de espesor desconocido del Grupo Excelsior de edad probablemente Devoniana.

Las rocas más importantes de la región en términos de afloramiento son las rocas carbonatadas marinas del Triásico superior al Jurásico inferior del Grupo Pucará. Éstas se exponen en grandes áreas desde Colquijirca en el sur hasta Vinchos en el norte. Aunque no tan extendidas como en otras regiones de Perú central, rocas Cretácicas, principalmente areniscas además de algunas secuencias carbonatadas prevalecen en algunos sectores de la región de estudio (e.g., oeste de Cerro de Pasco y en el sector Atacocha). Otras secuencias, aunque de extensión limitada a la parte sur de la zona de estudio (i.e., Colquijirca y Cerro de Pasco) están constituidas por rocas carbonatadas cretácicas tardías de la Formación Pocobamba (Miembro Shuco) y de rocas carbonatadas impuras continentales del Eoceno de la Formación Calera, particularmente importantes en la zona de Colquijirca. Depósitos cuaternarios de naturaleza fluvial, aluvial y glaciar afloran en gran parte al oeste de la región de estudio cubriendo grandes extensiones en la parte de Quicay y Pacoyán y con un espesor de hasta más de 100 m en San Gregorio.

De acuerdo a Ángeles (1993, 1999), algunos de los rasgos estructurales más prominentes actualmente observados en la región (i.e., de rumbo NNW), incluyendo la falla Longitudinal habrían estado activos durante la sedimentación del Grupo Pucará y a su vez habrían tenido lugar antes del Oligoceno, tal y como lo sugiere el control del complejo batolítico Oligoceno y de los centros intrusivos Miocenos más importantes. Durante el Cenozoico el estilo estructural que prevaleció fue claramente compresivo y aparentemente carente de fallamiento normal. Los saltos de falla reconocidos son generalmente de tipo inverso (Ángeles, 1999).

La primera manifestación importante de magmatismo en la región aparece durante el Eoceno con un conjunto de plutones y domos principalmente de composición andesítica los cuales afloran desde Racco al sur hasta Huancayán en el norte. Más tarde, durante el Oligoceno un emplazamiento magmático de dimensiones batolíticas y composición diorítica a granodiorítica tuvo lugar en la parte este de la zona de estudio desde La Quinoa en el sur y pasando por Mal Paso en el norte. Más recientemente, y en lo que parece constituir el último episodio mayor de actividad magmática en la región, ocurrió durante el Mioceno. Se trata de un conjunto de centros intrusivos volcánicos generalmente dacíticos de tipo domo-diatremas. Estos centros intrusivos han sido reconocidos solo al sur de la zona de estudio entre Colquijirca y Cerro de Pasco.

### **Estratigrafía.**

#### ***Paleozoico.***

##### *Grupo Excelsior*

Es el basamento de la columna estratigráfica de la región. Se tratan predominantemente de filitas y pizarras gris parduscas con sericita, de probable edad Devoniana. Afloran alrededor de la ciudad de Cerro de Pasco y hacia el Noroeste de Colquijirca. Una mejor exposición se da en el núcleo del anticlinal

de Cerro de Pasco donde son comunes además de filitas, delgadas intercalaciones de cuarcitas (Ángeles, 1993). De acuerdo a una columna levantada por Chronic (en Newell, 1953) el Grupo Excelsior excedería los 1500 m de potencia en las inmediaciones de Yanahuanca, aunque inmediatamente al sur del tajo Raúl Rojas, en Cerro de Pasco y de acuerdo a datos de mina sólo se tienen registrados menos de 400 m de espesor.

#### *Grupo Mitu*

Descansa en leve discordancia angular o erosional sobre el Grupo Excelsior; son areniscas, limos y conglomerados de color rojo que suprayacen en discordancia angular al Grupo Excelsior. En el área de Colquijirca se distinguen dos unidades conglomeráticas infrayacente y otra suprayacente areniscosa.: la infrayacente es esencialmente conglomerática, de color gris oscuro a gris bronceo, con clastos redondeados a subangulares de cuarcita y cuarzo blanco principalmente, de hasta 20 cm de diámetro, con pobre selección, pero que hacia el tope se intercalan con sedimentos finos; su potencia se estima en 400 m. La unidad suprayacente, se trata de areniscas rojas con lentes de conglomerados subordinados; su paso desde la unidad infrayacente no es claramente expuesta. En conjunto son depósitos continentales y su espesor es de aproximadamente 600 m.

En el área de trabajo, constituye el substrato sobre el cual se emplazan en discordancia erosional los depósitos terciarios de la Formación Calera en un contexto de pliegues y/o altos y estructurales.

#### **Mesozoico.**

##### *Grupo Pucará*

En la región pueden distinguirse claramente dos conjuntos de facies pertenecientes al mismo Grupo, separados por la Falla Longitudinal, denominados Pucará Occidental y Pucará Oriental, (Formación Chambará) de la falla respectivamente. Las rocas carbonatadas del Triásico-Jurásico

pertenecientes al Grupo Pucará son las principales roca caja de los yacimientos San Gregorio y Cerro de Pasco. Se trata mayoritariamente de calizas, dolomías y calizas dolomíticas con intercalaciones de tobas, lutitas y nódulos de chert.

En Colquijirca, Ángeles (1993) divide al Grupo Pucará en un sector al oeste de la Falla Longitudinal, llamada informalmente Pucará Occidental y un sector este relativo a dicha falla atribuido formalmente a la Formación Chambará (Mégard, 1968).

El Pucará Occidental; con un espesor medido de 357 m, comienza siempre por una brecha gris verdosa denominada “brecha basal”, con fragmentos subredondeados a subangulares de cuarzo y filita, en una matriz areniscosa fina. A continuación, un paquete de aproximadamente 20 m de espesor de dolomías color crema en estratos delgados y con fina laminación plana, seguidas de 15 a 20m de cimeritas con algunas concreciones de pedernal blanco, los 226 m pertenecientes al resto de la unidad lo conforman dolomías gris claras, pudiéndose observar en este tramo intercalaciones de tobas de grano fino. Hay amplio desarrollo de brechas monogénicas que afectan toda la serie por encima de la primera intercalación tifácea.

La Formación Chambará; está compuesta por mudstones gris oscuros en estratos delgados con intercalaciones de calcarenitas bioclásticas y depósitos piroclásticos de grano fino. Tiene un espesor de al menos 1500 m (Ángeles, 1993).

En Cerro de Pasco el Grupo Pucará tendría un espesor aproximado de 3500 m. (Jenks, 1951) y se caracteriza por presentarse en gruesos estratos de calizas negras carbonosas, calizas dolomíticas y dolomías claras, horizontes bituminosos, con escasos horizontes letíficos y nódulos de chert.

## FORMACIÓN CHAYLLACATANA

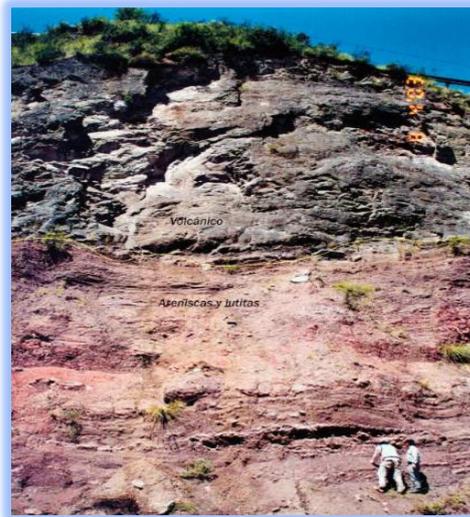
Esta formación pertenece al Cretáceo Medio a superior y está compuesto por dos miembros el miembro A que es sedimentario con ejemplares como conglomerados, areniscas y lutitas correspondiente a una superficie de Inundación.

El miembro B es esencialmente volcánico y está compuesto por lavas basálticas de color gris verdosa oscura, muy fracturadas, con textura porfírica. Macroscópicamente, estas lavas son de color verde de textura porfírica con cristales de plagioclasa, tienen espacios vacíos o vacuolas de 1.1 cm. De diámetro y fracturas de 2 a 3 cm. De ancho; ambas están rellenas con calcita, calcedonia, clorita (cloritización) y vidrio volcánico. Las Lavas de la Formación Chayllacatana son basaltos alcalinos intracontinentales, originados por la fusión parcial del manto enriquecido. Su emplazamiento se produjo bajo un régimen **tectónico distensivo** y no muestra ninguna huella de subducción. (Soler. 1989).

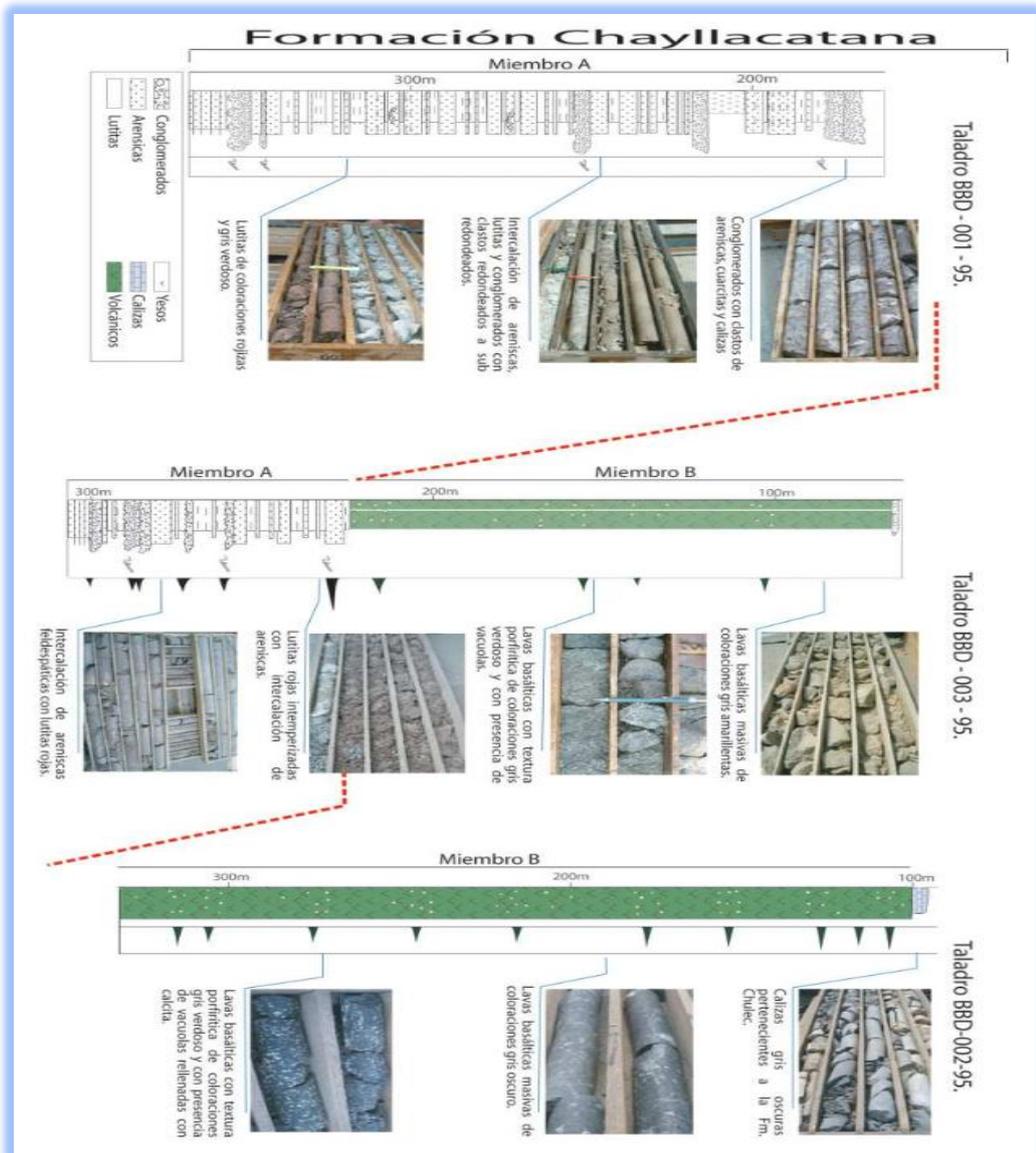
En la fotografía 1, se puede ver la *Formación Chayllacatana se conforma de dos miembros, el miembro inferior de lutitas rojas, y el superior de lavas basálticas vesiculares, en la carretera Cerro de Pasco-Huariaca, al norte de Chicrin (vista tomada al este). Geología del Cuadrángulo de Cerro de Pasco-Boletín N° 144-INGEMMET.*

Así mismo, en la fotografía 2, se puede apreciar *Columna estratigráfica de la Formación Chayllacatana, el sondaje BBD-003-95, y su correlación con los sondajes BBD-001 y 002-95. Realizado por la empresa RTZ en el año 2005, relogueado e interpretado por Cueva (2008). Geología del Cuadrángulo de Cerro de Pasco-Boletín N° 144-INGEMMET*

**Fotografía 1.** Formación Chayllacatana, en la carretera Cerro de Pasco-Huariaca



**Fotografía 2.** Columna estratigráfica de la Formación Chayllacatana, interpretados a partir de sondaje diamantinos DDH.



## ***Cenozoico.***

### ***Formación Pocobamba***

Pocobamba con sus Miembros Cacuán, Shuco y la Formación Calera, que cubren en discordancia erosional a los Grupos Mitu o Pucará.

#### ***a. Miembro Cacuán***

El nombre de Miembro Cacuán fue dado por Sánchez y León (1997) para reemplazar al anteriormente denominado Miembro inferior de Jenks (1951). consiste de areniscas, lutitas, limolitas rojas, calizas blanquecinas y gris oscuras, a veces con sílex y chert. Presenta también conglomerados, con clastos subredondeados y en menor proporción subangulosos. La matriz es calcárea. Tiene un espesor comprendido de unos 300 metros.

En Colquijirca y en parte de Cerro de Pasco se encuentra al este de Sacra Familia (antes llamado Capas Rojas de Sacra Familia). La parte inferior consiste de argilitas limosas y limolitas rojas, laminadas. Siguen areniscas de grano fino y luego medio, rojas con laminación en artesa además de escasas laminas volcadas (“overturned”). Las calizas “mudstone”, gris oscuras a veces con sílex, aparentemente provenientes de la Formación Chambará, predominan sobre algunos clastos de limolitas y areniscas rojas provenientes del Grupo Mitu o de la Formación Goyllarisquizga (Ángeles, 1999).

#### ***b. Conglomerado Shuco***

El Conglomerado Shuco es esencialmente un depósito aluvial y sintectónico. Cerca de la Falla Longitudinal el Miembro Shuco consiste de una brecha casi monolitológica con clastos de calizas y sílex Chambará. La mayor parte de los clastos tienen un tamaño entre 2 y 30 cm., el redondeamiento es variable, pero predominan elementos angulosos a subredondeados, frecuentemente en lajas y no se observa matriz. Algo más al oeste de esta falla, las brechas, están algo más seleccionadas, el grado

de redondez es muy variable, predominando los clastos subredondeados a subangulares. Mientras que al oeste de la falla del Río San Juan-Venenococha, la brecha presenta hasta más de un 50% de clastos de dolomías del Pucará Occidental, especialmente en tallas mayores (Angeles, 1999). En el sector de Colquijirca-Cerro de Pasco, el espesor de esta unidad es muy variable tal vez superior a los 200m.

Su depósito es probablemente contemporáneo con la Fase Inca de deformación en la Cordillera Occidental, al pie de un sistema de fallas que delimitaban altos estructurales.

### **c. Formación Calera**

La secuencia de rocas generalmente carbonatadas del Eoceno superior pertenecientes a la Formación Calera comienza con sedimentos detríticos, y en menor medida carbonatados y volcanoclásticos. Una datación radiométrica K/Ar sobre biotita de una delgada capa de toba arrojó una edad entre 36 y 37 Ma (Noble et al, 1999).

La parte media de la Formación Calera contiene las rocas más características de esta formación: calizas gris muy claras, en bancos potentes. Por lo general la parte baja de este intervalo es calcárea, la parte alta contiene además calizas margosas e intercalaciones de argilitas gris verdosas y verdes, probablemente derivadas de piroclastos. La parte superior no presenta importantes afloramientos en este cinturón, aunque su mejor exposición se halla en Colquijirca. Allí está constituida por delgadas intercalaciones de argilitas, limolitas, arenitas, dolomías margosas, dolomías y chert. Se estima que el espesor total de la Formación Calera supera los 270m. Según la información proveniente de la mina Colquijirca se pueden distinguir tres:

- **Calera inferior**

Con una predominancia de sedimentos detríticos, cuya granulometría varía desde brechas matriz sostenidas, microbrechas, limos y lutitas en su mayor parte de procedencia volcánica; niveles de conglomerados con guijarros Chambará y delgados niveles de tobas riolíticas; el intervalo termina con lutitas y calizas margosas; el espesor de esta facies es de 64 m.

- **Calera Medio**

Contiene facies de calizas gris claras, en bancos prominentes; en la Calera, su localidad típica, la parte baja del intervalo es casi enteramente calcárea, la parte alta contiene además calizas margosas e intercalaciones de lutitas gris verdosas y verdes, probablemente derivadas de piroclastos; este intervalo supera los 55 m.

- **Calera Superior**

Se compone de delgadas alternancias de lutitas, limolitas, arenitas, dolomías margosas, dolomías y chert; su grosor supera los 150 m.

En realidad, dentro de la zona de trabajo, se han registrado solamente los miembros inferior y medio, tal como los escasos afloramientos de superficie. La Formación Calera es la roca huésped de la mineralización en Colquijirca y Marcapunta, por lo que constituye “Horizonte prospectivo” de la minera.

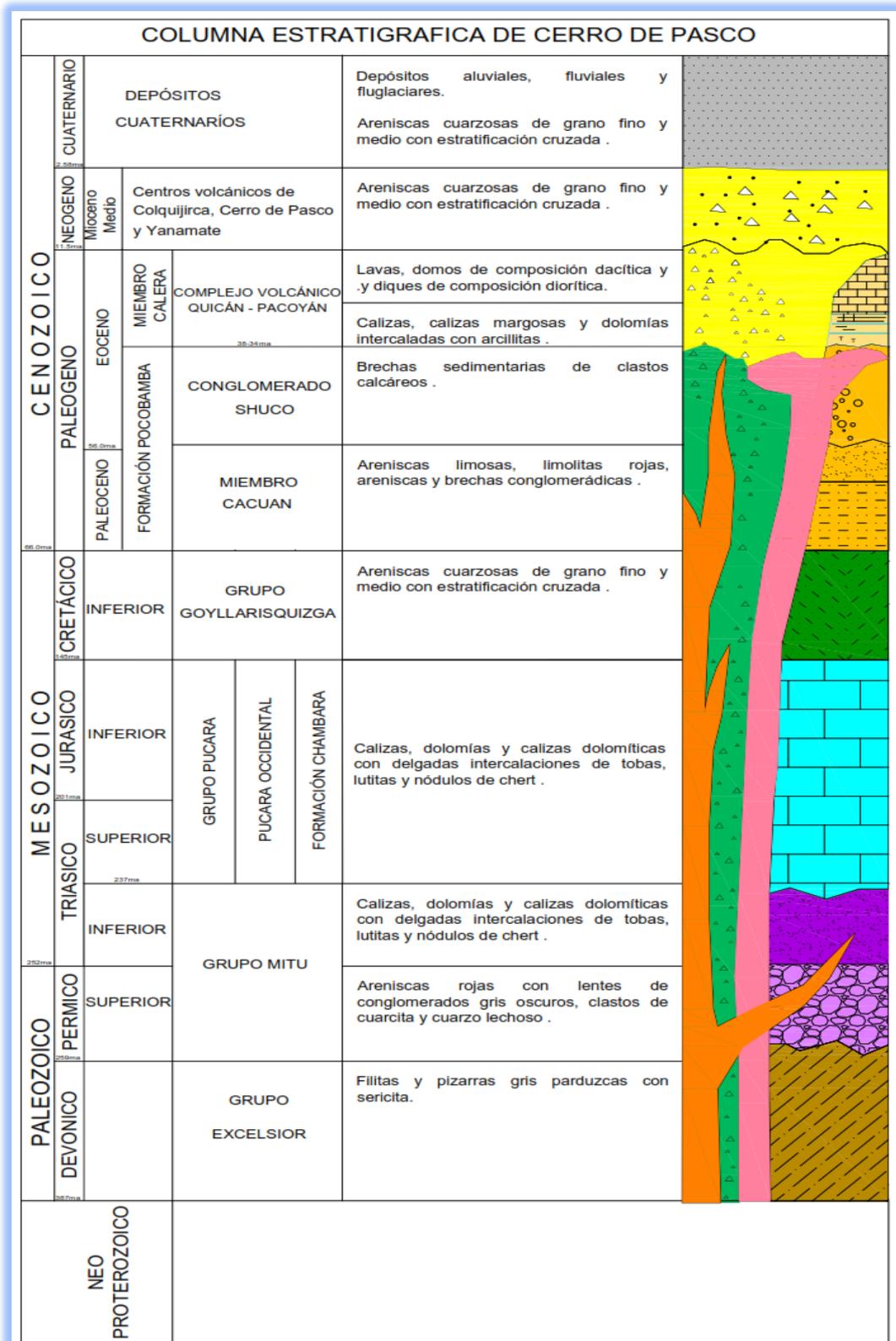
### ***Cuaternario.***

#### *Depósitos Aluviales:*

Son depósitos inconsolidados que han sido acumulados por la combinación de procesos aluvionales y fluviales. Están ubicados principalmente en las desembocaduras de las quebradas, especialmente de las que forman la red hidrográfica del lago Junín, litológicamente, están compuestas por gravas,

arenas y limos. Los clastos son subredondeados, como los que se observan en los ríos Andacancha, Mantaro y Blanco.

**Figura 1.** Columna estratigráfica de Cerro de Pasco – Colquijirca



## **Rocas ígneas**

### ***Rocas volcánicas***

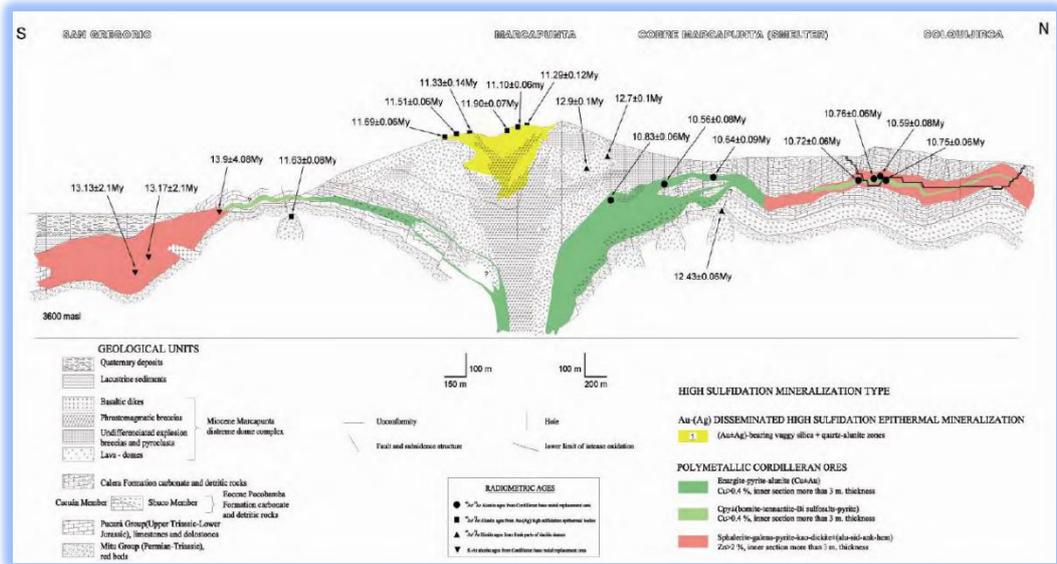
#### Complejo Volcánico de Marcapunta

Su emplazamiento es controlado por la Falla Longitudinal al igual que el complejo de Cerro de Pasco. En este caso, se emplaza a manera de un conjunto de domos ácidos a intermedios de lava viscosa en forma de “hongos” o lacolitos sobre un paleo relieve Calera, Mitu y tal vez Pucará. Se constituye principalmente por piroclastos a la base que es intruido por múltiples domos de composición dacítica con textura porfírica, riolitas brechadas; estas unidades son cortadas por una serie subordinada de tufisitas, pebble dikes, brechas freatomagmáticas y brechas hidrotermales.

Comparado con el complejo volcánico de Cerro de Pasco, la diatrema o cuello volcánico de Marcapunta es aparentemente más pequeño, tal vez de unos 600 m de diámetro, pero su sistema mineralizado es igual de grande; así, entre San Gregorio y Colquijirca hay aproximadamente 8 Km en eje Norte–Sur. Es de destacar que Marcapunta se encuentra preservado de la erosión, lo cual insinúa un gran potencial para mineralización en las rocas circundantes a la diatrema o cuello volcánico bajo el lacolito; mientras que Cerro de Pasco, es una diatrema más grande, de 2.5 Km de diámetro aproximadamente, que ha sufrido una erosión más profunda, tanto que expone la diatrema misma.

Entre estos dos complejos volcánicos se emplaza la diatrema de Yanamate, modestamente expuesta algo más al Este de la traza de la Falla Longitudinal; se constituye de coladas piroclásticas, domos y diques de un pórfido aparentemente dacítico.

**Figura 2.** Sección geológica del yacimiento Colquijirca. Extraída de Bendezú, 2006.



### Generalidades-historia tectónica

El área analizada abarca eventos tectónicos desde el Neoproterozoico hasta el Cuaternario, producidos en 3 ciclos orogénicos, correspondientes a la tectónica Proterozoica, Hercínica, Andina.

La fase del plegamiento que dio origen a la cadena Eohercínica sucede en un periodo distensivo, hacia el tope existió un evento explosivo.

En el Paleozoico Inferior hubo un metamorfismo regional de las filitas del Grupo Excelsior del Devoniano.

**Fotografía 3.** Afloramiento de pizarras y areniscas en estratos centimétricos, el norte de Cerro de Pasco, en la carretera Cerro de Pasco – Yanahuanca (Vista al Norte).



Durante el Pérmico Inferior hubo una transgresión marina depositando unas facies calcáreas (Grupo Copacabana), en el Pérmico Superior se depositan las molasas rojas del Grupo Mitu depositadas en una cuenca continental.

A fines del Triásico (Noriano), el mar invade sobre una cuenca conformada por rocas Paleozoicas, depositándose una secuencia carbonatada (Grupo Pucará) en Cerro de Pasco. Una Falla de subsidencia N-S delimitó del Triásico, se depositó la Fm Chambará (Soriano-Retiano), Fm Aramachay (Hettangiano-Sinemuriano) y Fm Condorsinga (Pliensbachiano-Toarciario).

Durante el Jurásico Inferior se incrementa los sedimentos carbonatados con un mar somero, a fines del Jurásico, la faja Andina quedó dividida en dos cuencas Tectónicas separadas por el Geoanticlinal del Marañón que se desarrolló en la Cordillera Oriental. En la cuenca Occidental de tipo Miogeosinclinal se acumulan rocas clásticas y carbonatadas (Fm Chimú, Santa y Carhuaz) en el cretácico inferior.

Durante el Aptiano, a inicios del Albiano, los mares producen una transgresión (Fm Chúlec, Fm Pariatambo, se ha registrado lavas basálticas en la Fm Chúlec).

A fines del Cretácico, finaliza la condición de sedimentación marina con posterior levantamiento y plegamiento y solo hubo depositación continental (Capas rojas del Fm Casapalca, las cuales no afloran en la zona de estudio).

Al final de la depositación Casapalca, se produce la Fase Peruana con un fuerte plegamiento de rocas Cretácicas y en parte las Capas Rojas.

A fines de la Fase Incaica, se producen movimientos Epiro genéticos y magmatismo extrusivo, donde se acumularon secuencias volcanoclásticas del Grupo Calipuy (Terciario). La Fase Eoquechuana del Mioceno Medio está relacionado al volcanismo. A fines del Mioceno sucede una Epirogenesis (Fase Tardiquechuana). Durante diferentes fases Tectónicas del Mioceno (Fases

Quechuas), continua la actividad ígnea (diques, sills y stock), como ocurre al Oeste de Cerro de Pasco como subfase Tardiquechuana, termina el ciclo deformativo Andino, seguido por un periodo de erosión produciendo una superficie puna, ocurrió probablemente durante el plioceno inferior; simultáneamente ocurrieron eventos de volcanismo de tipo explosivo que dio lugar al tufo de la Fm Huallay.

**Fotografía 4.** Contacto geológico entre calizas del grupo Pucará sobre yaciendo al grupo Mitu, en la parte norte del área de estudio.



El proceso del levantamiento Andino y erosión intensa, desglaciación, etc., continúa en la actualidad y también depositándose depósitos cuaternarios como: morrénicos, fluvioglaciares, bofedales, coluviales, aluviales, etc.

**Fotografía 5.** Planicie del Lago de Junín. Se observa parte de la pampa Bombón; la textura rugosa corresponde a la morfología del Bosque de Rocas (vista tomada al noreste).



### ***Marco tectónico - estructural***

Estructuralmente, el cinturón Cerro de Pasco-Colquijirca se caracteriza por haber sido afectado por el plegamiento Terciario, el cual parece ser anterior al emplazamiento de los complejos volcánicos y es principalmente compresivo (erg., Bendezú, 2007). Los pliegues tienen una dirección NNE y siguen la configuración de los Andes. Toda la secuencia Pérmico-Terciaria se halla plegada desde el norte de Cerro de Pasco hasta San Gregorio, la intensidad de este plegamiento aumenta hacia el este, con la proximidad a la falla Longitudinal.

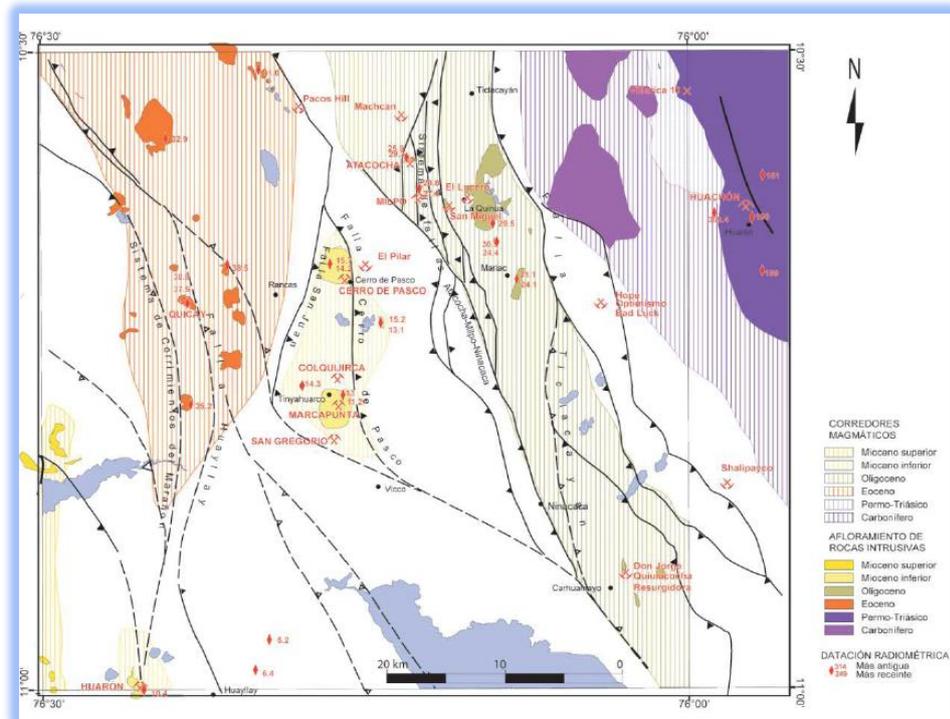
La falla Longitudinal, de rumbo N-S es la principal estructura en este cinturón y posiblemente estuvo activa desde el Jurásico (Ángeles, 1993). Esta falla habría tenido control sobre la sedimentación carbonatada del Triásico (Grupo Pucará). Otro rasgo estructural pre-terciario presente en la región de estudio es la falla del Río San Juan-Venenococha, la cual es el objeto de estudio de la presente tesis reflejando el contraste en el plegamiento y en la sedimentación a ambos lados del río San Juan (Ángeles, 1993).

Otro sistema de fracturas reconocido en el distrito de Colquijirca sigue las tendencias NO y NE. En Colquijirca las principales fases tectónicas tuvieron lugar presumiblemente durante los eventos tectónicos Aymara (26 Ma) y quechua (17 Ma) (Ángeles 1993).

La Falla Longitudinal ha tenido un funcionamiento polifásico a través del tiempo; así, en desgarre transtensivo durante el Triásico, como un cabalgamiento durante la fase mayor de deformación que afectó la región durante el Oligoceno-Mioceno y en cabalgamiento transcurrente durante las fases tardías (Ángeles, 1996). Numerosas fallas y estructuras subordinadas de dirección NW-SE, E-W y NE-SW también han sido mapeadas en la región y en conjunto son importantes para el emplazamiento de la mineralización en Colquijirca y Cerro de Pasco. La fase de mayor deformación ocurrió en el

Oligoceno superior o Mioceno inferior, plegando el anticlinal de Cerro de Pasco. Al frente de éste se desarrolla una franja de cabalgamientos, escamas y pliegues con vergencia al Oeste. El bloque Este de la Falla Longitudinal, carente de niveles de despegue, desarrolló pliegues en chevron controlados por cabalgamientos.

**Figura 3.** Principales fallas en el cuadrángulo de Cerro de Pasco, se nota también su influencia en el emplazamiento de arcos magmáticos.

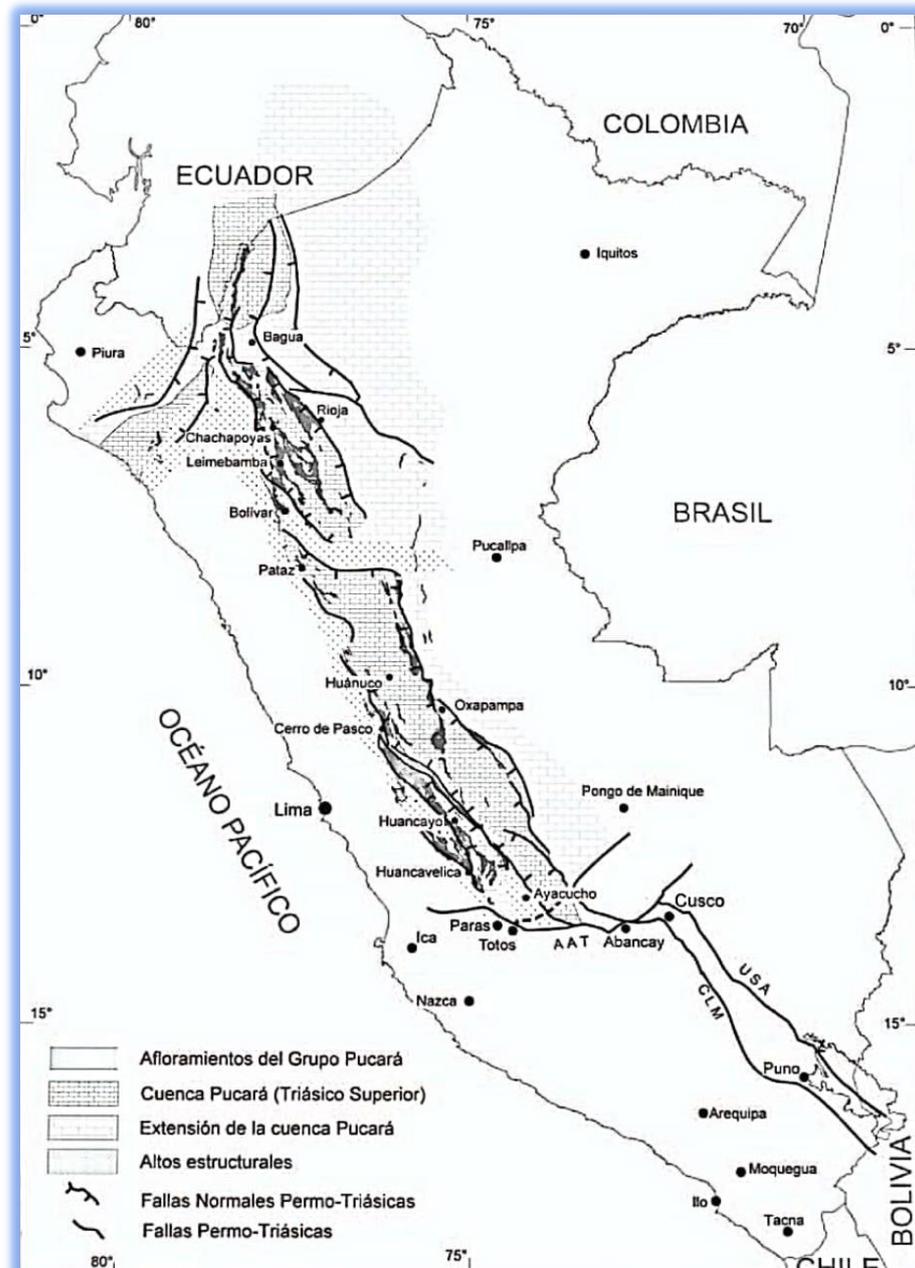


### ***Franjas metalogenéticas y depósitos metálicos***

Las franjas metalogenéticas representan épocas de mineralización que se extienden a lo largo de sistemas de fallas regionales y litologías que han favorecido la mineralización de depósitos minerales. De esta manera, Quispe et al. (2008) definió 23 franjas metalogenéticas. La mayoría de los sistemas de fallas que controlan las franjas metalogenéticas en el centro y sur del Perú, tienen orientaciones principalmente NO-SE. Su origen se les asocia con la disgregación cortical del rift Permo-Triásico (Mégard, 1973, 1978; Laubacher, 1978; Noble et al., 1978; Dalmayrac et al., 1980; Kontak et al., 1985; Rosas y Fonboté, 1995; Rosas et al., 1997; Jacay et al., 1999; Carlotto et al., 2000;

Carlotto et al., 2004), caracterizado por actividad magmática alcalina del Grupo Mitu y presencia de granitoides de la misma edad en su eje axial (Carlotto et al., 2004).

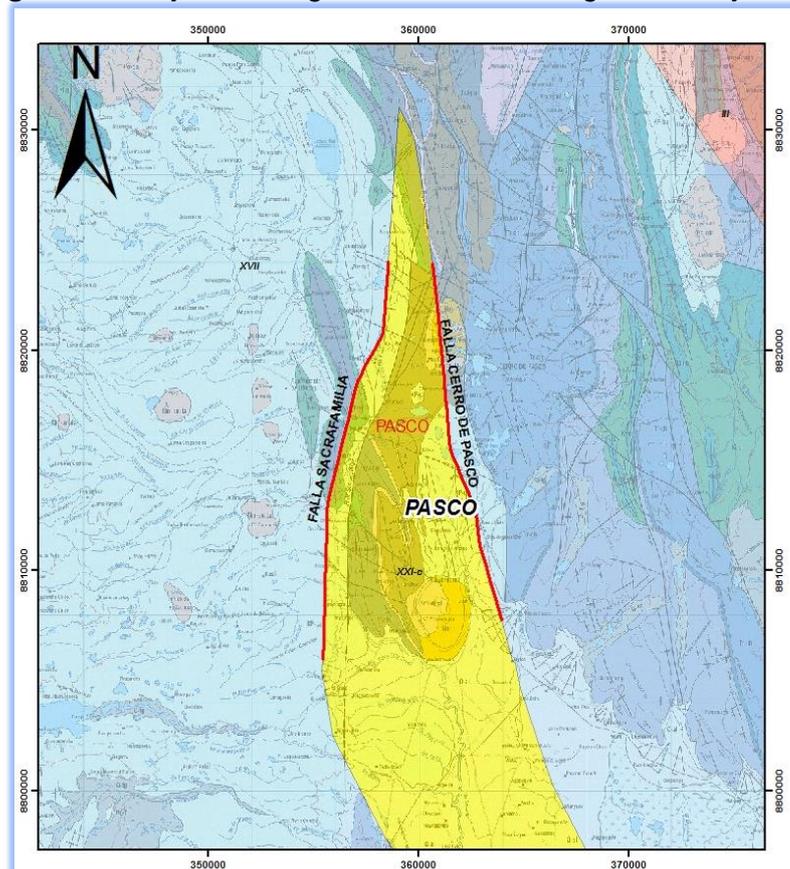
**Figura 4.** Ubicación de la cuenca Pucará para el Triásico superior en el contexto de las grandes fallas que controlaron su evolución. A A T: Sistema de fallas Abancay-Andahuaylas-Totos; C L M: Sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo



Entre los sistemas de fallas reconocidas como permo-triásicas se puede mencionar a Cerro de Pasco; zona de influencia de nuestra área de estudio, y que a la vez se limita con la Falla Sacrafamilia la cual se encuentra en la Franja XXI-B, denominada Depósitos metálicos con superposición epitermal. Así como también se encuentra: Ayacucho, Satipo-Pangoa-San Francisco, Abancay-Andahuaylas-Totos-Licapa, Puyentimari, Tamburco-Patacancha y Urcos-Sicuani-Ayaviri. (INGEMMET, 2009).

De lo anterior escrito podemos decir que los grandes fallamientos juegan un papel importante en la generación de yacimientos metálicos, así como conducen el comportamiento estratigráfico y tectónico de su área de influencia, lo que nos conlleva a reconsiderar la importancia que tienen las fallas cercanas a estos lineamientos importantes como es el caso de la falla de Sacrafamilia, quien estructuralmente ejerce influencia geológica sobre la falla Regional Cerro de Pasco.

**Figura 5.** Franjas metalogénicas vs fallas regionales hoja 22-k.



## **Bases Teóricas – Análisis Estructural**

### **Análisis Estructural**

El trabajo propuesto se sustenta en la recolección de datos geológicos que se basan en los términos de varios principios científicos, los cuales se describen a continuación:

- “LA TEORÍA DEL CAOS Y LAS FRACTALES” (Serrano Antolín) Los fractales son la representación geométrica de la teoría del caos. Llamamos caos a todo aquello que no somos capaces de sistematizar.

En 1970, desafiando la física clásica, unos pocos científicos de Estados Unidos y Europa comenzaron a buscar un camino a través del desorden: fue el comienzo de la teoría del caos. Matemáticos, físicos, fisiólogos, economistas, químicos, biólogos, intentaron buscar conexiones entre diferentes tipos de irregularidades; reflexionaron que si bien hay fenómenos que pueden ser descritos linealmente, es decir que el resultado de una acción es proporcional a su causa, la mayor parte de los fenómenos en la naturaleza son no-lineales, “incontrolables”, como el clima, las turbulencias, el tránsito en una gran ciudad, fluctuaciones en la bolsa, la física del cuerpo humano, etc. (Serrano Antolín).

La teoría del caos sugiere un mundo fluido e interconectado, concebido como un todo. Contrariamente a los postulados científicos tradicionales, que toman a los seres humanos y la naturaleza como objetos individuales, la teoría del caos considera que todo tiene un valor intrínseco, como el arte. Esto se debe a los efectos no lineales o de retroalimentación: por ejemplo, los planetas no pueden ser tratados como si sus efectos fueran independientes y se pudieran sumar: si la débil atracción entre un planeta y otro comienza a retroalimentarse y a acumularse, algunos planetas podrían cambiar su órbita y hasta salir despedidos del sistema solar. *Bajo la teoría del caos, los eventos no suceden al azar, las condiciones iniciales son*

*determinantes, pero el producto, por ser dinámico y complejo, implica un resultado impredecible. (Serrano Antolín).*

Los fractales representan los sistemas dinámicos, la geometría de la naturaleza, las infinitas retroalimentaciones, en síntesis, lo que no puede ser medido en términos Euclidianos. Un fractal es un modo de ver el infinito. (Serrano Antolín)

El término que en latín significa fragmentario o interrumpido, fue presentado por el matemático polaco Benoit Mandelbrot (1924) por primera vez en su libro “Les Objets Fractals: Forme, Hasard et Dimension” (1975).

Aún no se ha definido un fractal, sino se enumeran sus propiedades características:

- Un fractal tiene una estructura fina; esto es detalle en escalas arbitrariamente pequeñas.
- Un fractal es demasiado irregular para ser descrito con la geometría euclidiana tradicional, tanto local como globalmente.
- Con frecuencia un fractal tiene una cierta forma de auto semejanza, quizás aproximada o estadística.
- En general, la “dimensión fractal” es mayor que su dimensión topológica.

- FRACTALES, SU IMPORTANCIA EN GEOLOGÍA. SIMULACIÓN DE PATRONES FRACTALES NATURALES (Gumiel Martinez, 1996)

Artículo que es relevante porque permite afianzar el sustento científico para el desarrollo del presente trabajo con las siguientes premisas que lo contienen:

“En geología, estos conceptos se empezaron a utilizar, principalmente en los campos de la geomorfología y sismología, cuando en la zona de la Falla de San Andrés en California, se descubrió que los sismos de magnitud

6 o menor tenían una distribución fractal en el espacio y el tiempo, al comprobar que los temblores se presentaban en grupos auto semejantes y no en intervalos regulares. Por otra parte, Turcotte (1986) comprobó que las relaciones de tonelaje – ley de algunos yacimientos de Hg, Cu y U de Estados Unidos presentaban también distribuciones fractales. Aunque a veces resulta difícil el entendimiento debido a los lenguajes específicos de cada disciplina, y a la subjetividad en las observaciones de los hechos, hay que extraer la parte positiva de esa diversidad. Es fascinante observar las analogías geométricas entre diferentes patrones, y de gran utilidad si se saben obtener las consecuencias que puedan derivarse de las mismas.

Por ejemplo, la geometría de unos filones ramificados es un claro ejemplo de geometría fractal y puede ser muy similar a disposición de arterias y venas en algunas partes del cuerpo humano. Igualmente es sugerente que la geometría de los agujeros redondos aleatorios de lonchas de “queso de Appenzel” (-con dimensiones fractales de 1.90 y 1.75, Mandelbrot, 1982-) sea comparable a la distribución de cráteres lunares, o a la de fragmentos redondeados de una brecha de origen sedimentario, tectónico o volcánico. **Es notable que procesos no tan diferentes genéticamente puedan dar lugar a patrones geométricos fractales y que puedan ser tan similares.** (Gumiel Martinez, 1996)

Como se puede ver la relación entre las fractales y la geología tiene una diversidad inmensa y más aún la posibilidad de usar las características de las fractales para mostrar comportamientos, sin embargo como la gama de estudios que se pueden realizar en base a las fractales así también las metodologías para estudiar las fractales son diversas, una de ellas es la propuesta por Angus McCoss (McCoss, 1986) y más tarde complementada por empresas mineras en forma de metodologías y técnicas de las cuales se hablará a continuación.

- SIMPLE CONSTRUCTIONS FOR DEFORMATION IN TRANSPRESSION / TRANSTENSION ZONES - CONSTRUCCIONES SENCILLAS PARA DEFORMACIÓN EN ZONAS DE TRANSPRESIÓN Y ZONAS DE TRANSTENSIÓN (McCoss, 1986)

Artículo que postula métodos de análisis estructurales y que llega a la siguiente conclusión:

Una construcción geométrica sencilla permite la rápida determinación de las orientaciones de los principales ejes del elipsoide de deformación (o esfuerzo) formados entre la convergencia oblicua o los límites tectónicos divergentes. Así de sencillo es la construcción que esto es (a expensas de cierta exactitud) puede ser dibujado a mano alzada en cuadernos de campo. La solución gráfica para determinar las características de deformación finita o infinitesimal es también más sencilla que los diagramas complejos multivariantes existentes, haciendo su uso inmediato una realidad práctica para el geólogo en el campo o en su escritorio. (McCoss, 1986). El artículo presenta 2 métodos que mediante construcciones sencillas en campo permitirán conocer la orientación de los ejes principales de esfuerzo.

#### ✚ MÉTODO A: DETERMINACIÓN DE LA ORIENTACIÓN DE LOS EJES PRINCIPALES

Si la dirección de la zona límite desplazadas (S) es conocido entonces las orientaciones de los ejes principales de la elipse de deformación en sección infinitesimal puede determinarse de acuerdo con la construcción ilustrada .

#### ✚ MÉTODO B: DETERMINACIÓN DE LA ORIENTACIÓN DE LOS EJES PRINCIPALES

Si las orientaciones de los ejes principales máximos y/o mínimos de la elipse de deformación en sección infinitesimal pueden ser inferidos a partir de las primeras estructuras de incremento. Por ejemplo

grietas tensionales, estilolitas, pliegues tardíos y fallas, etc. Entonces la orientación de los vectores de desplazamiento de zona pueden ser determinados.

El artículo hace uso de diferentes herramientas para comprender la disposición de los ejes mayores y menores de esfuerzos que actuaron en la formación de una estructura fractal determinada, es así que en la siguiente cita se puede ver quizás el aporte más significativo del artículo que es el uso del ángulo A:

...“ Las magnitudes relativas de los ejes principales en el elipsoide de esfuerzos infinitesimal formados en el modelo de transpresión y transtension de volumen constante de Sanderson & Marchini (1984) puede también ser determinado a través de la construcción geométrica de la figura.

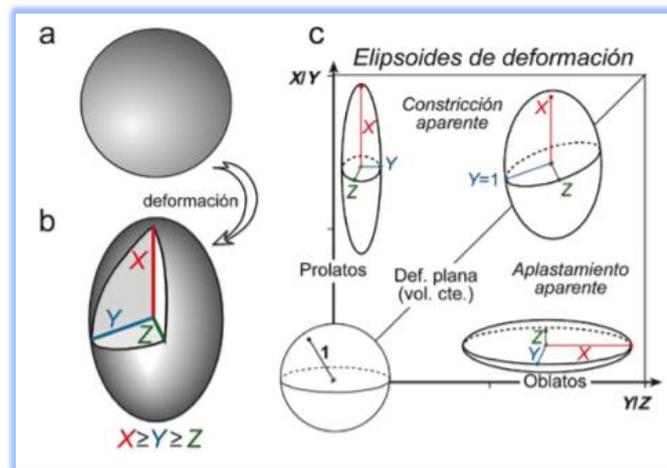
Esto es logrado por la medición del Angulo, (A) entre S y la zona perpendicular. Los magnitudes relativas infinitesimales y formas del elipsoide son una función de “A”.

Este artículo es muy interesante porque representa una manera de poder explicar y clasificar los diferentes escenarios tectónicos que se pueden manifestar , Angus McCoss no solo uso los términos clásicos como Compresión, Extensión y cizalla sino que clasifico a los movimientos híbridos que existen entre estos tres escenarios sobredichos, estos movimientos híbridos fueron nombrados como Transpresión a los movimientos comprendidos entre Compresión - Cizalla y Transtensión a los movimientos comprendidos entre Extensión y Cizalla.

La deformación homogénea en tres dimensiones. Una esfera inicial (a) se transforma en un elipsoide de tres ejes (b) después de la deformación. Es posible dar cuenta de la variación en las formas que

puede tener dicho elipsoide si se representan en el diagrama de Flinn, como se muestra en (c). Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2013 – También se puede apreciar la forma de los elipsoides que pueden ser Oblatos o Prolatos dependiendo de la deformación en sus ejes. Ver Figura 6.

**Figura 6.** Diagrama de Flinn que muestra la variación de forma del elipsoide de deformación.



Este artículo representa el vínculo entre el estudio de los fractales y el análisis estructural a toda escala pues mediante sus métodos gráficos de análisis de estructuras geológicas como estilolitas, venillas, vetillas, juntas y toda estructura de carácter lineal obtenemos de manera rápida y confiable datos valiosos sobre la cinemática ejercida.

Como se puede apreciar que estas técnicas de análisis pueden ser usados in situ con el fin de identificar los movimientos intervinientes para la formación de la estructura en estudio, este artículo es uno de los pilares donde descansa la metodología para la aplicación del presente trabajo.

- ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN LA EXPLORACIÓN MINERA (Hochschild, 2008)

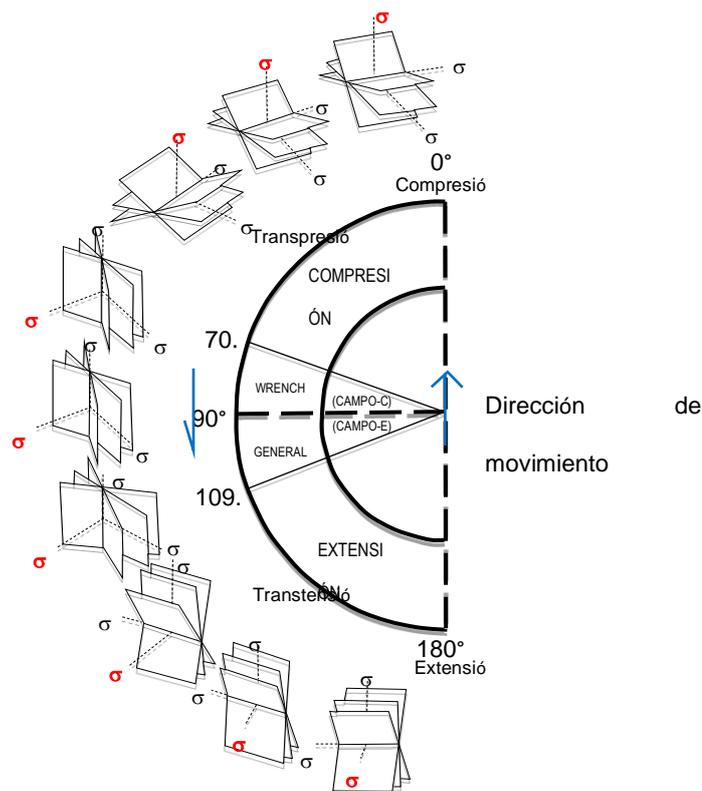
TECNICA DE McCoss

Denominado así en la publicación hecha por la empresa minera HOCHSCHILD MINING, quienes adoptaron y adaptaron el principio propuesto en el estudio de Angus McCoss (McCoss, 1986) con el fin de determinar los siguientes aspectos:

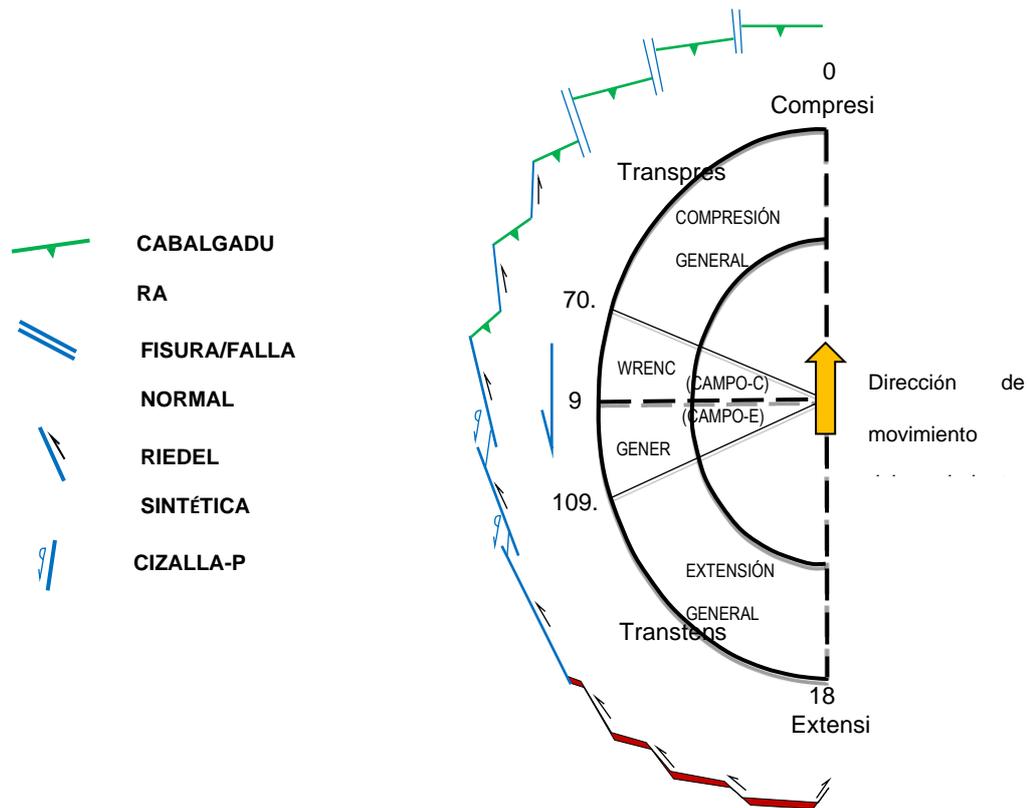
- En el artículo también se introduce el uso del siguiente esquema llamado ***Espectro Tectónico***.

Espectro de regímenes tectónicos, el ángulo A (descrito en el artículo científico original de Angus McCoss), define el espectro en el cual se ubica el resultado del análisis microestructural. ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN LA EXPLORACIÓN MINERA-HOCHSCHILD MINING PERÚ-2008. Ver Figura 7.

**Figura 7.** Espectro de regímenes tectónicos.



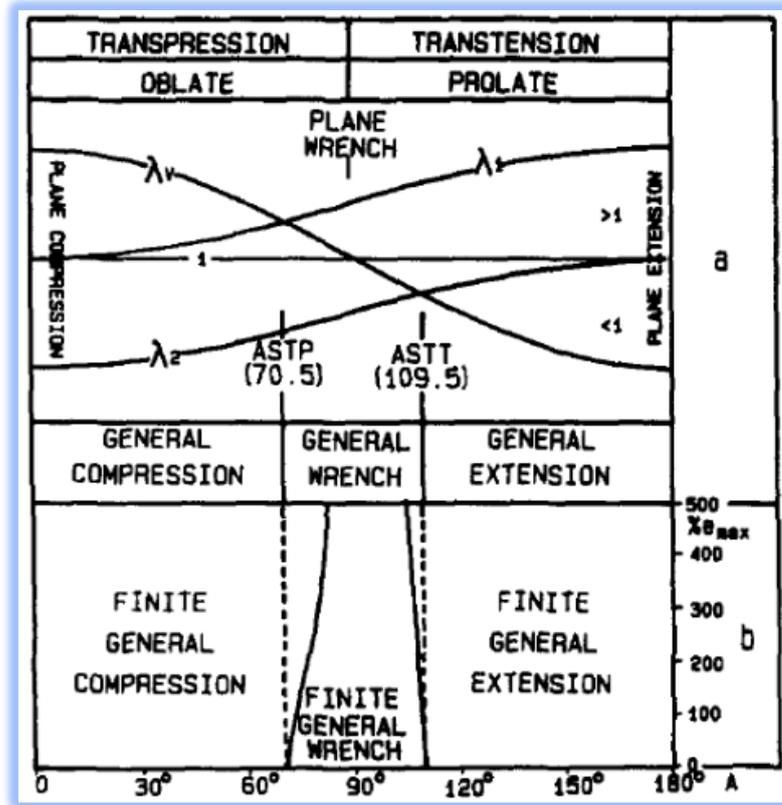
**Figura 8.** Gama de estructuras que se pueden encontrar en base al espectro tectónico



De igual forma el ángulo solución llamado "A" obtenido de la técnica de McCoss se usó también para determinar la forma del elipsoide de deformación si es Oblato o prolato mediante el siguiente gráfico.

Una solución gráfica para determinar las características de (a) El elipsoide de esfuerzos infinitesimales y (b & a) el elipsoide finito. Las orientaciones donde la transpresión y transtensión son axialmente simétricas ocurren son mostradas por ASTP Y ASTR, respectivamente. simple constructions for deformation in transpression/transtension zones - angus mccoss-1986. Ver Figura 9.

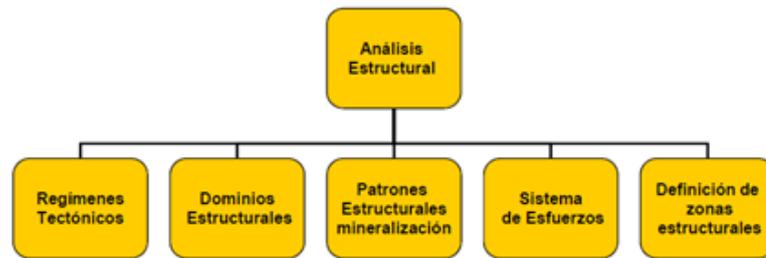
**Figura 9.** Diagrama que contiene la solución gráfica para determinar las características del análisis estructural.



Para Hochschild esta técnica tiene las siguientes características:

- Procedimiento efectivo y de bajo costo que AYUDA a predecir la presencia de depósitos minerales.
- Además de establecer que: El reto en cualquier área a explorar es definir posibilidades de zonas dilatadas o “trampas estructurales” mediante la definición del Espectro y Ambiente Tectónico y del Sistema Regional de Esfuerzos, al TIEMPO DE LA MINERALIZACIÓN, mediante técnicas de campo.
- Es así que esta técnica de análisis permitirá establecer los siguientes parámetros geológicos:

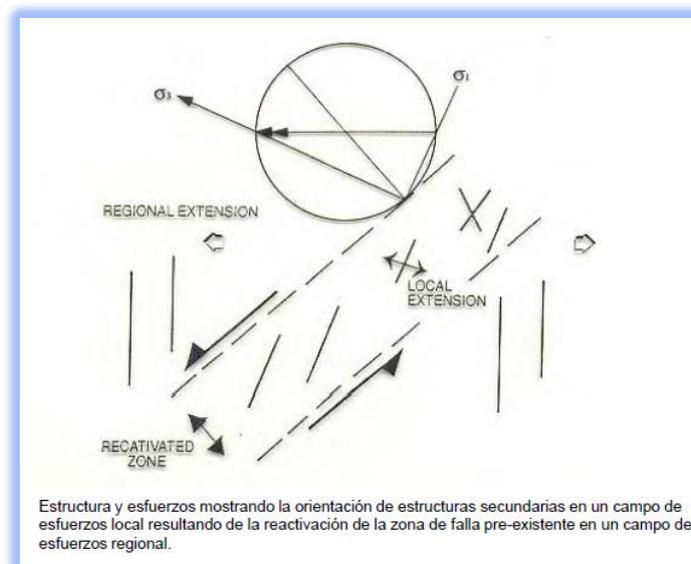
**Figura 10.** Componentes del Análisis Estructural que se pueden conocer con la aplicación de esta metodología



La metodología para el trabajo de campo se toma y sigue a partir de esta publicación teniendo como recursos además de eso formatos especialmente diseñados para la recolección de datos estructurales y de análisis de campo.

El estudio de los fractales las cuales se pueden ubicar en los afloramientos rocosos y que muestran estilos de deformación Frágil, dúctil o frágil-dúctil. Son registrados dimensionalmente, geográficamente, así como parte importante el registro de sus rasgos fractales que para este caso también se miden las direcciones del relleno fibroso que pudiera o no estar presente dentro de la estructura fractal.

**Figura 11.** Análisis Estructural in situ, usando la técnica de McCoss. (Hochschild, 2008)



**Figura 12.** A. Fractal referencial con rasgos estructurales (Pull apart).  
 B. Después de ser analizados muestran la dirección y sentido de los esfuerzos que produjeron la estructura fractal. (Hochschild, 2008).



Como base o antecedente tenemos una gama de planos y versiones de estos que para este trabajo decidimos optar por los siguientes planos geológicos anteriores que coinciden con la zona de estudio para el presente:

**INGEMMET:**

- a. Carta Geológica Nacional Escala 1: 100,000

La Carta Geológica Nacional a escala 1:100,000 está conformada por 501 cuadrángulos, los cuales fueron cartografiados entre los años 1960 y 1999. Cada mapa geológico o grupo de mapas, vienen acompañados de un boletín Serie A (Carta Geológica Nacional), Los cuales pueden ser revisados y descargados de la página web del Ingemmet, aplicativo Geocatmin.

- b. Carta Geológica Nacional a escalas 1:100,000 y 1: 50,000 de las Franjas 1, 2, 3 y 4 (actualizados desde el año 2000 hasta el 2003).

El año 2000 se inició un programa de revisión de los mapas geológicos por INGEMMET, en especial los preparados y editados los primeros años del proyecto de la Carta Geológica Nacional (1960 - 1970). Este trabajo

iniciado desde el sur del país permitió revisar y actualizar 166 cuadrángulos geológicos, de los cuales 106 fueron a escala 1:100,000 y 52 a escala 1:50,000 (4 mapas por cuadrángulo), entre ellos podemos encontrar el plano geológico del cuadrángulo 22-k dividido en 4 mapas, mapa el cual fue consultado para los fines del estudio. De igual manera estos mapas son descargables desde la página web del INGEMMET – Aplicativo GEOCATMIN.

#### **RONNER BENDEZU AND LUIS FONTBOTE - EL BROCAL S.A.A.:**

Elaborado por el staff de geólogos de la empresa minera quienes realizaron el mapeo geológico no solo del yacimiento sino de los alrededores entre lo que se puede resaltar para interés de esta investigación la inclusión dentro de su mapeo la falla Sacrafamilia.

Este plano muestra discrepancias con los mapas 1:100000 y 1:50000 del INGEMMET, sin embargo, se puede atribuir esto al detalle que ofrece la escala local, estas informaciones sirvieron como plataformas a partir de las cuales se realizaron los trabajos correspondientes a esta investigación.

#### **GISELA COBEÑAS**

En la tesis realizada por Gisela Cobeñas: "Cinturones metalogénicos cenozoicos en Pasco y Huánuco: tipos de yacimientos y naturaleza geoquímica de los magmas asociados", se presenta un Mapa geológico de la región de estudio. Compilado de Jenks, 1951, Mégard, 1977, Ángeles, 1999, Bendezú, 2007 y aportes de Gisela Cobeñas, plano que resalta además de la estratigrafía cenozoica, presenta un mapa geológico en el cual se resaltan los, los controles estructurales quienes delimitan las franjas, específicamente una de ellas delimitada al oeste por la falla Cerro de Pasco y al este por la falla Sacrafamilia, este cinturón es nombrado como Cinturón Cerro de Pasco -Colquijirca

### 2.3. Definición de términos conceptuales

- **Caos:** Estado de confusión y desorden en que se hallaba la materia hasta el momento de la creación del cosmos. /confusión, desorden. (Hochschild, 2008)
- **Fractal:** Aquella fracción del sistema que tiene la característica de ser recursiva, es decir un patrón externo se repite a sí mismo a diferentes niveles interiores y así sucesivamente hasta el infinito, de manera análoga a niveles externos: “De lo infinitamente pequeño a lo infinitamente grande”. (Mahiques, 10/10/2009)
- **Esfuerzo:** Resistencia al desplazamiento de las partículas que constituyen un cuerpo. (Dávila Burga, 2011)
- **Deformación:** Desplazamiento irreversible o permanente que han sufrido los componentes de un cuerpo y que son detectables y medibles para su estudio. (Dávila Burga, 2011)
- **Elipsoide de Deformación:** Al considerar un sistema de esfuerzo uniforme obtendremos una esfera ideal cuyos ejes aún no han sido sometidos a variación, el elipsoide es el producto de la variación de longitud de los principales ejes de la esfera que ahora se ha convertido en un elipsoide producto de los esfuerzos que actuaron sobre él. (Dávila Burga, 2011)
- **Espectro tectónico:** Manera simple de representar el régimen de deformación en un espectro. Todas las estructuras se desarrollan en uno de estos regímenes y la gran mayoría están asociadas a regímenes transicionales entre los miembros finales. (Hochschild, 2008)

- **Extensión Local:** Vector resultante del análisis estructural en campo que indica la dirección de los esfuerzos en la estación medida. (Hochschild, 2008)
- **Extensión regional:** Conjunto de Vectores que obedecen una dirección en común y a partir de las cuales se genera un vector representativo todo esto a nivel macro y que incluye a todas las estaciones de medición. (Hochschild, 2008)
- **Estocástico-determinista:** Término que incluye dos conceptos importantes en la predicción de fenómenos y podemos decir que hay algo de probabilidad en las predicciones. (Hochschild, 2008)
- **Transpresión:** Clasificación realizada con el fin de caracterizar los movimientos híbridos y ubicados entre los campos de los movimientos compresional y Movimientos de Rumbo. (McCoss, 1986)
- **Transtensión:** Clasificación realizada con el fin de caracterizar los movimientos híbridos y ubicados entre los campos de los movimientos extensionales y Movimientos de Rumbo. (McCoss, 1986)
- **Zonas de Dilatación:** Trampas estructurales comúnmente ocurrentes en zonas de extensión o Transtensión y que son favorables para el alojamiento de fluidos mineralizantes. (Hochschild, 2008)

#### 2.4. Enfoque filosófico - epistémico

El enfoque filosófico se enmarca principalmente en el Positivismo científico y el Realismo empírico, ya que la construcción del trabajo tiene características centrados en ambos enfoques:

##### **Positivismo Científico**

*Enfoque en la observación y recolección de datos;* El proyecto se basa en la recolección de datos estructurales in situ, utilizando técnicas específicas como el Análisis Estructural de Fractales y la Técnica de McCoss. Este énfasis

en la observación y la recopilación meticulosa de datos es una característica central del positivismo.

*Uso de métodos científicos;* La aplicación de métodos analíticos y sistemáticos para estudiar la falla Sacrafamilia y sus características geológicas muestra una clara orientación hacia el uso de métodos científicos para generar conocimiento.

### **Realismo Empírico**

*Interacción con el mundo real;* El estudio se enfoca en características geológicas concretas y observables, como las fallas, los yacimientos minerales y las estructuras tectónicas. El realismo empírico enfatiza que el conocimiento se basa en la realidad observable y medible.

Podemos también mencionar que abordado los conceptos de Caos y orden de la naturaleza estamos tocando el enfoque filosófico del Determinismo Científico el cual a través de la Causalidad y predicción durante El análisis de la falla Sacrafamilia y su influencia en la generación de yacimientos minerales implica un intento de entender las causas y los efectos en los procesos geológicos. Este enfoque determinista es característico del pensamiento científico que busca explicar y predecir fenómenos naturales.

Por último el Enfoque Interdisciplinario abordado atraviesan los campos de la Geología y minería ya que el trabajo integra conocimientos y técnicas de la geología y la minería, mostrando una orientación interdisciplinaria que busca comprender fenómenos complejos a través de múltiples perspectivas científicas.

En resumen, el presente trabajo tiene un enfoque filosófico centrado en el positivismo científico y el realismo empírico, utilizando métodos sistemáticos y observacionales para entender y aplicar el conocimiento geológico en el contexto de la minería.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de investigación

Dada la naturaleza compleja del objeto de estudio y por lo general, para abordar este tipo de tema es necesario aplicar no uno sino dos diferentes tipos de investigación, de hecho, es común hallar investigaciones que son simultáneamente descriptivas y transversales, en nuestro caso usaremos primero el método descriptivo basado en observaciones las cuales nos permitirá dirigir las siguientes interrogantes hacia la resolución de las hipótesis estas son:

- ¿qué es? > Correlato.
- ¿cómo es? > Propiedades.
- ¿dónde está? > Lugar.
- ¿de qué está hecho? > Composición.
- ¿cómo están sus partes, si las tiene, interrelacionadas? > Configuración.
- ¿cuánto? > Cantidad

Luego de haber logrado responder estas interrogantes del estudio diremos que la investigación posee el contenido necesario para pasar a la siguiente etapa de la investigación que será del tipo Correlacional - Causal ya

que reconstruirán eventos geológicos pasados los cuales produjeron los rasgos geológicos que se ven hoy en día, además de esbozar la cinemática que influyó en la formación de la FALLA SACRAFAMILIA, por lo tanto, la investigación tendrá dos métodos para desarrollar la tesis:

1º. Método Descriptivo

2º. Método Correlacional – Causal

### **3.2. Nivel de la investigación**

*Nivel Exploratorio/Descriptivo;* El proyecto va más allá de una simple descripción de la falla. pues detalla características espaciales, sino que también investiga la evolución tectónica y realiza un análisis cinemático.

*Nivel Analítico/Explicativo;* El uso de metodologías avanzadas como la Técnica de McCoss y el Análisis Estructural de Fractales se centra en un enfoque analítico riguroso. Se propone explicar la relación entre la falla y la generación de yacimientos minerales.

*Nivel Aplicado/Práctico;* La investigación tiene una clara aplicación práctica en el campo de la minería, especialmente en la explotación eficiente de yacimientos minerales metálicos.

En conclusión el nivel de investigación del proyecto puede clasificarse como analítico y aplicado. La investigación no solo describe y caracteriza la falla, sino que también emplea técnicas avanzadas para analizar su influencia en la generación de yacimientos minerales, proporcionando datos que pueden tener aplicaciones prácticas directas en la minería.

### **3.3. Característica de la investigación**

Al usar nuestro trabajo dos métodos cabe resaltar sus características como por ejemplo:

i. Método Descriptivo:

Algunas de las características más representativas del método descriptivo son:

- Atiende a una metodología cualitativa.
- Suele ser un primer abordaje al objeto de estudio y funcionar como un catalizador de nuevas investigaciones.
- Permite obtener muchos datos precisos sobre el objeto de estudio.
- Implica observación atenta y un registro fiel de lo observado.
- No admite generalizaciones ni proyecciones.
- Utiliza distintas técnicas e instrumentos para la recolección de datos: en nuestro caso usará un formato para la recolección de datos especializado.

ii. Método Correlacional- Causal:

Existen tres tipos de investigación correlacional causal dentro de los cuales las variables pueden o no ser controladas. Estos 3 tipos se adaptan a nuestro tipo de investigación:

- Observación natural: Este tipo se adapta perfectamente a las observaciones y datos que recogeremos de campo ya sea netamente geológicos o estructurales, este método nos permite separar atributos de los rasgos geológicos para luego interrelacionarlos.
- Encuestas y cuestionarios: Usaremos un formato de trabajo para la recolección de datos simple, el cual nos permite recoger todas las características necesarias para satisfacer el objetivo de estudio.
- Análisis de información: Donde podemos interpretar los datos obtenidos, emitiendo hipótesis en base a los resultados de campo.

### **3.4. Método de Investigación**

#### **Método Descriptivo**

- **Etapas de generación**

En esta etapa podemos considerar el material bibliográfico e información pre existente que se tiene de la zona de estudio, de igual manera se recolectaron los planos geológicos disponibles elaborados por el INGEMMET cuyos mapeos serán contrastados en campo a lo cual se incrementará el mapeo geológico realizado a escalas más adecuadas para el objetivo de estudio es decir se realizaron mapeos a escalas 1:10000 y 1:25 000.

- **Etapa de campo**

En esta etapa se hicieron los siguientes trabajos:

- 1º. Mapeo Geológico:

Que es la representación sobre un plano topográfico de los accidentes geológicos que afloran en la superficie terrestre. Las diferentes rocas o formaciones geológicas y sus edades se representan mediante una trama de colores que las identifican. En el mapa geológico también se representan las deformaciones sufridas por las estructuras geológicas tales como fallas, pliegues o foliaciones. Estas estructuras, del ámbito de la tectónica, se representan en el mapa con diferentes símbolos que junto con la trama de colores son explicados en la leyenda.

- 2º. Mapeo Estructural:

Es la interpretación de la información de geología estructural ya sea de mapeo superficial o geológico es usada como base para delimitar dominios estructurales, identificar las principales características estructurales, y determinar analizar cinemáticamente los modos posibles de falla. La información requerida puede ser obtenida de mapeos lineales a detalle, mapeo de grupos de fracturas, mapeo de afloramientos.

Las estructuras de especial estudio son los fractales las cuales en campo pueden ser identificadas como: venillas, vetillas, estilolitas, lineamientos, sets de fracturas que pueden o no tener relleno fibroso comúnmente de calcita y sílice.

Sin embargo, para afrontar el trabajo de campo respecto al mapeo netamente estructural de fractales se ha confeccionado planos con cuadrículas a escalas 1:100, 1: 250: 1:500 para registrar correctamente la ocurrencia de fractales las cuales fueron analizados en formatos especialmente confeccionados el cual se puede encontrar como anexo.

- **Etapas de gabinete**

En esta etapa se realizarán los siguientes trabajos:

- i. Transcripción de la base de datos de campo a un formato digital usando el software Microsoft excel
  - ii. Digitalización de los mapeos geológicos usando el software Autocad y Argis
  - iii. Filtrado y depuración de datos.
  - iv. Elaboración de planos en base a los datos tomados
- Comprende el ordenamiento y disposición de los datos obtenidos durante las etapas recolección de datos (Método descriptivo),

En esta parte de la metodología se presentó tanto información gráfica como son planos en planta de contenido geológico, secciones transversales, planos mostrando el mapeo estructural de fractales, así como la base de datos que resultó del mapeo geológico y estructural de fractales, base de datos la cual poseerá los siguientes campos.

**Tabla 2.** Formato para la recogida de datos de campo.

GENERAL	Donde se ubican campos que denominan a las estaciones ya sea por características como: Orden, número de travesía, Estación, Zona estructural, tipo de mapeo y en caso sea para fractales el método de análisis fractal
UBICACIÓN	Se consignan las coordenadas UTM tomadas con GPS, además de la cota en la cual se tomó el dato
MEDICIONES	Datos espaciales de las estructuras geológicas tales como Azimut, Buzamiento, Dirección de buzamiento, cabe señalar que solo se usó el formato Azimutal y la toma de datos con la regla de la mano derecha lo cual garantiza el correcto ploteo de parte del software.
DATOS FRACTALES	AZIMUT: Azimut de las estructuras o fractales AZIMUT RELLENO FIBROSO: es decir la medida de la proyección horizontal de las estructuras fibrosas.
DEFINICIÓN	Tipo de rasgo estructural (Fractal, Falla, Pliegue, contacto, etc.)
DESCRIPCIÓN	Descripción general de la roca y/o minerales que se observan en la estación.
FOTOGRAFÍAS	Se incluyen las fotografías adjuntadas a la base de datos como hipervínculo cada estación, lo cual nos permite ver en detalle la estación de estudio.

### **Método correlacional causal**

#### **Etapas de Correlación e interpretación de resultados**

Donde cotejaremos la información resultante, es decir en el caso del mapeo geológico podremos apreciar un plano con aún más detalle que el realizado por INGEMMET, esto gracias a la escala de mapeo que se maneja es decir el mapeo fue realizado a escala 1/100, 1/250 y 1/500.

De igual manera los resultados del análisis estructural en fractales también serán contrastados con la información geológica de campo, estos resultados son de diversas utilidades, por ejemplo:

- Orientaciones del Elipsoide de deformación
- Vectores locales de deformación

- Esfuerzos regionales a una determinada época o evento
- Reconstrucción del ambiente tectónico

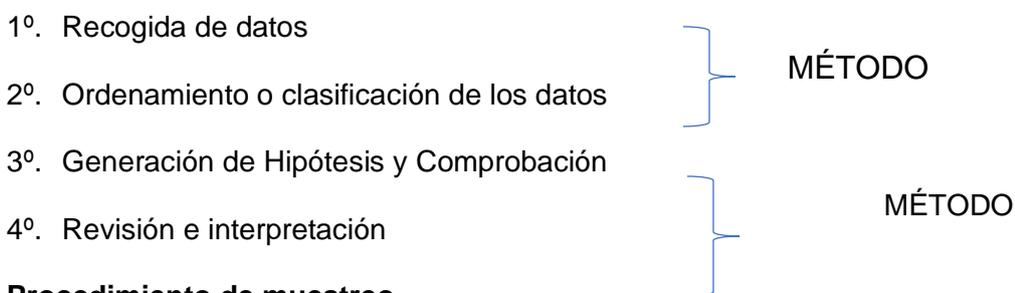
***Etapas de corroboración de hipótesis y discusión***

En esta etapa se comenzó a sintetizar los resultados hechos de la compilación, correlación e interpretación para poder dar por afirmado o rechazado nuestra hipótesis.

Todo esto haciendo uso de cuadros comparativos, gráficos hechos por diferentes métodos de análisis estructural que buscaremos hacer interactuar con el análisis estructural propuesto.

**3.5. Diseño de investigación**

Asumiendo todos los condicionantes citados, estableceremos y analizaremos las diferentes etapas de los métodos de investigación elegidos para el presente proyecto de estudio:

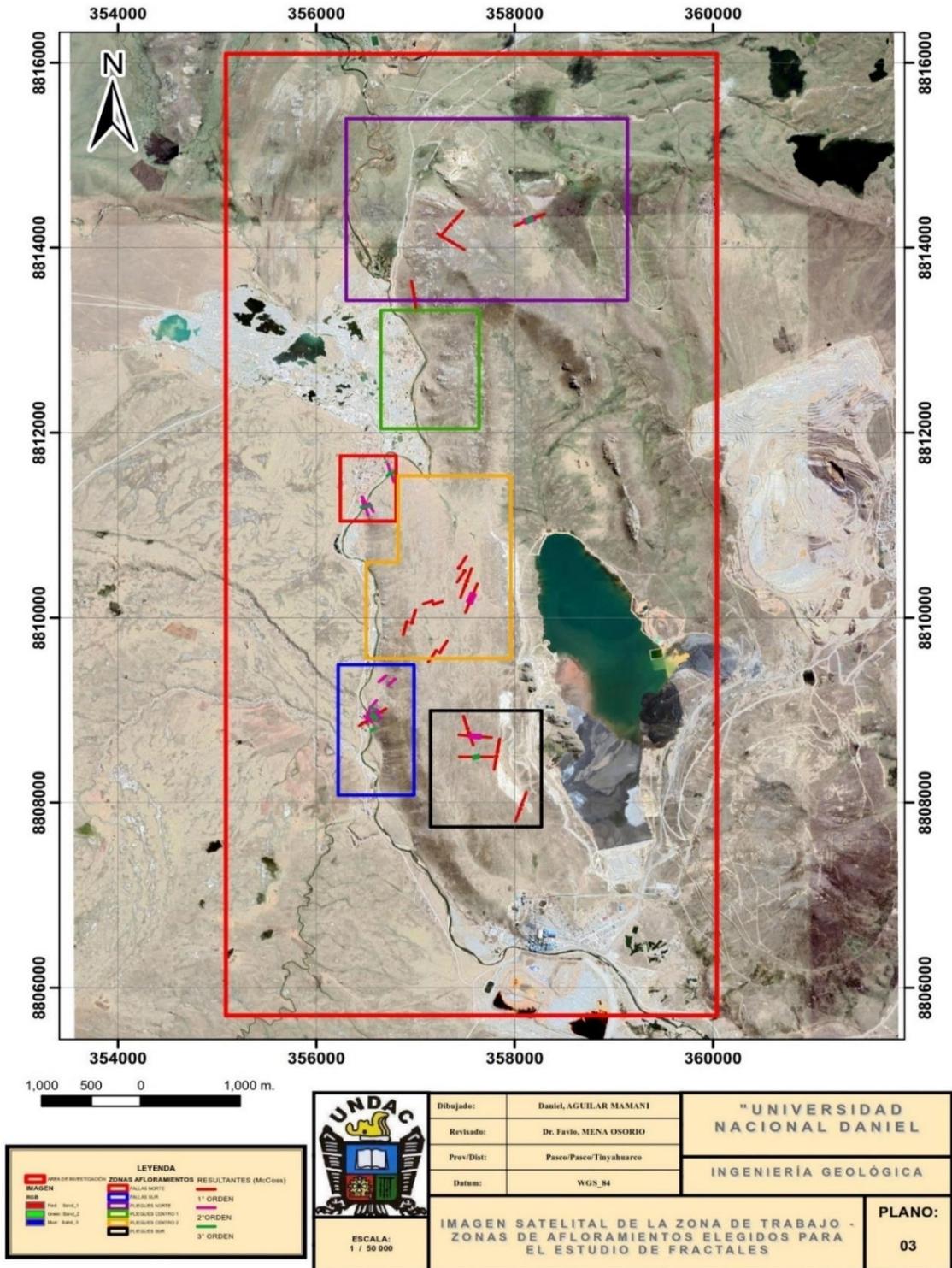


**3.6. Procedimiento de muestreo**

Dado que la población de muestras es toda la falla de Sacrafamilia, al usar el principio de la fractalidad para este tipo estudio, nuestra población de muestras son innumerables estructuras fractales relacionadas a la misma falla , sin embargo los efectos erosivos y de la intemperización provoca que la mayoría de estas estructuras no sean visibles a simple vista, teniendo que realizar una búsqueda exhaustiva en cada afloramiento rocoso. La forma de elegir una estación estructural es basado en el criterio del geólogo ya que solo las estructuras de mejor desarrollo de cristales en el relleno serán elegidas.

Según el plano N°03, de toda la zona de estudio se eligieron 6 zonas (Fallas norte, fallas sur, pliegues norte, pliegues centro 1, pliegues centro 2 y pliegues sur) , las cuales tienen afloramientos donde se notan claramente la ocurrencia de fractales (venillas, vetillas, estilolitas, etc.).

Respecto a la población y muestra se originarán en los datos obtenidos en las 6 salidas de campo programadas a la zona de estudio o como también se le denominó "Traver geológico".



Plano N° 3. Imagen satelital de la zona de trabajo

- La población muestral estará conformada por los resultados de los Mapeos tanto geológico, como Mapeo Estructural de fractales los cuales tendrán el siguiente formato:

**Tabla 3.** Ejemplo sobre el almacenamiento de datos en Hojas de Excel.

GENERAL			UBICACIÓN			MEDICIONES			DATOS FRACTALES			DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN	
ESTACIÓN	ZONA ESTRUCTURAL	MÉTODO	TIPO DE MAPEO	ESTE	NORTE	COTA	AZIMUT	DIR. AZ.	BUZAMIENTO	SISTEMA	AZIMUTH	AZ. RF	RASGO	DESCRIPCIÓN
6	ZONA 6	B	ESTRUCTURAL	356573	8809016	4190				SISTEMA 1	38	118	FRACTAL	VENILLAS DE CALCITA CONJUGADAS DE APERTURA DE 2 A...
7			GEOLOGICO	356588	8809009	4186	163	253	69				ESCARPA	ESPEJO DE FALLA PRESENTA ESTRIAS DE DESPLAZAMIENTC

- Se tomaron 148 puntos llamados estaciones por cada traver o salida de campo, se cubrió en 6 salidas para cubrir el área de aproximadamente 5000 Ha.

### 3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Para este estudio se recolectaron datos de campo como: Azimut, Dirección de Buzamiento y Buzamiento, así como si se diera el caso la medida del Pitch (Rake) de los tectoglifos ocurrentes, de igual forma persistencias, espaciamientos y todas las características necesarias.
- Los datos obtenidos en el mapeo tanto geológico como estructural se procesaron usando el software Microsoft Excel y para obtener la asociación en familias el software Dips, es así que continuación se muestra cómo se procederá con el análisis estadístico.
  - Se realizó una depuración de los datos errados o que no son representativos.
  - Se clasificarán los tipos de rasgos geológicos con ayuda de hojas de cálculo, es decir;
    - Datos correspondientes únicamente a secuencias estratigráficas.
    - Datos correspondientes únicamente a pliegues y fallas. Posterior a este análisis haremos uso del software Dips como se muestra en el siguiente cuadro con sus respectivos análisis.
    - Los resultados de los registros de campo se trataron individualmente en gabinete, posteriormente analizarán en conjunto, todo esto haciendo uso del software Autocad y Arcgis.

- Para el respaldo de estos datos se usará el programa Dips y Faultkin en los cuales se plotearon los datos para su respectivo análisis.
- Los resultados del tratamiento de imágenes satelitales también se incluirán en el procesamiento de los datos haciendo uso del software Envi o en su defecto un software de imágenes satelitales de internet.

### **Recolección de datos**

#### **DATOS ESTRUCTURALES**

Para la recolección de datos de la población muestral se ha usado la descripción y observación de las fractales (Venillas, estilolitas, etc.) estos datos geológicos fueron recolectados mediante la siguiente secuencia:

- i. Recorrido en campo y elección del afloramiento rocoso a estudiar.
- ii. Recolección de datos (Azimuth, Buzamiento, dirección de buzamiento, Pitch de falla, Persistencia de estructura, potencia, relleno, inspección del plano de falla si ocurre, así como una descripción geológica y un pequeño croquis acompañado de una fotografía por estación estructural tomada.) Se aplica la Técnica de McCoss facilitando la aplicación el uso del formato especializado adjuntado en los anexos.
- iii. Ploteo in situ en el campo de los datos al plano topográfico base.
- iv. Interpretación in situ del régimen tectónico y análisis de paleoesfuerzos.

Como se puede apreciar en la secuencia anterior para el análisis de las estructuras fractales se ha usado la técnica de McCoss publicada en 1986 y aplicada por varias empresas mineras tales como Hochschild Mining (Proyecto Azuca), y Buenaventura proyecto Brownfield Uchucchacua – Chanca, este metodología de recolección de datos es a través de dos métodos que postula la técnica tal como se ha detallado en el marco teórico.

1. *Técnica de McCoss*

- Método desarrollado por Angus McCoss (1986) para el análisis de áreas deformadas en Transtensión y Transpresión.
- Se incluye por primera vez el concepto de Extensión Local y Extensión Regional.
- La técnica es aplicada de manera muy simple en campo (moneda, brújula y da una aproximación de muy buen nivel para la definición del espectro tectónico.

2. *Estructuras favorables para la aplicación la Técnica de McCoss.*

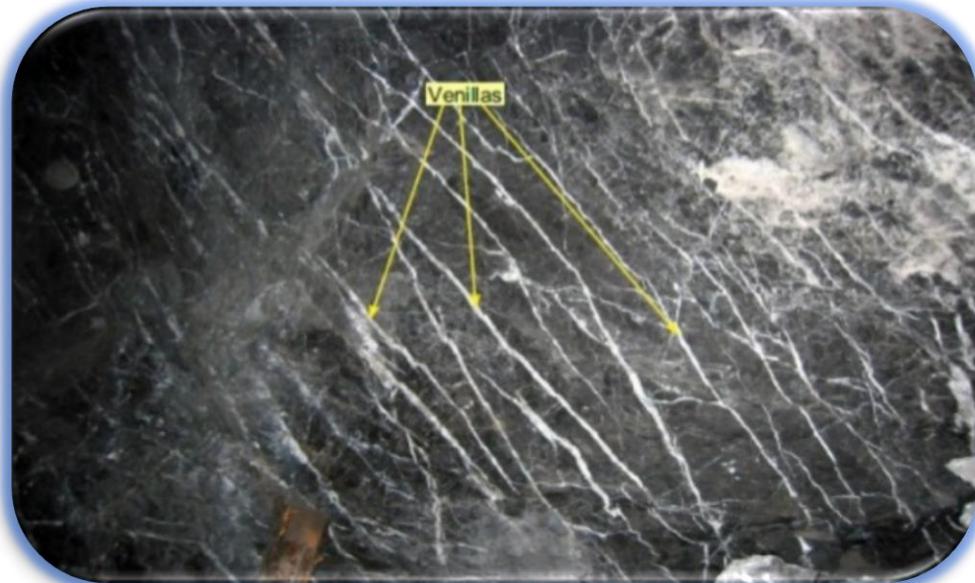
➤ *ESTIOLITAS*

*Son estructuras columnares de 2 a 30 cm. De largo que se forman a lo largo de las separaciones de las calizas.*

**Figura 13.** *Estiolitas: Son estructuras columnares de 2 a 30 cm. De largo que se forman a lo largo de las separaciones de las calizas.*



**Figura 14.** Venillas: Son estructuras menores que tienen poca persistencia y potencia, generalmente relleno por calcita, sílice y otros minerales.



**Figura 15.** Vetas y Vetillas: Vetas y Vetillas: Estructura tipo paralelepípedo, generalmente mineralizada, presenta una potencia, un largo y una profundidad. Las vetas mineralizadas constituyen yacimientos de rendimiento económico. Las vetas son generalmente el producto del relleno de fracturas o fallas por procesos.



**Figura 16.** *Vetas mineralizadas: Estructuras vetiformes donde se puede apreciar dirección del relleno fibroso*



**Figura 17.** *Zonas De Cizallamiento: Zona donde ha ocurrido el cizallamiento o fracturamiento, estas zonas son apropiadas ya que aparte de mostrar un relleno fibroso también es capaz de mostrar indicadores cinemáticos a detalle como se ve en la siguiente fotografía.*

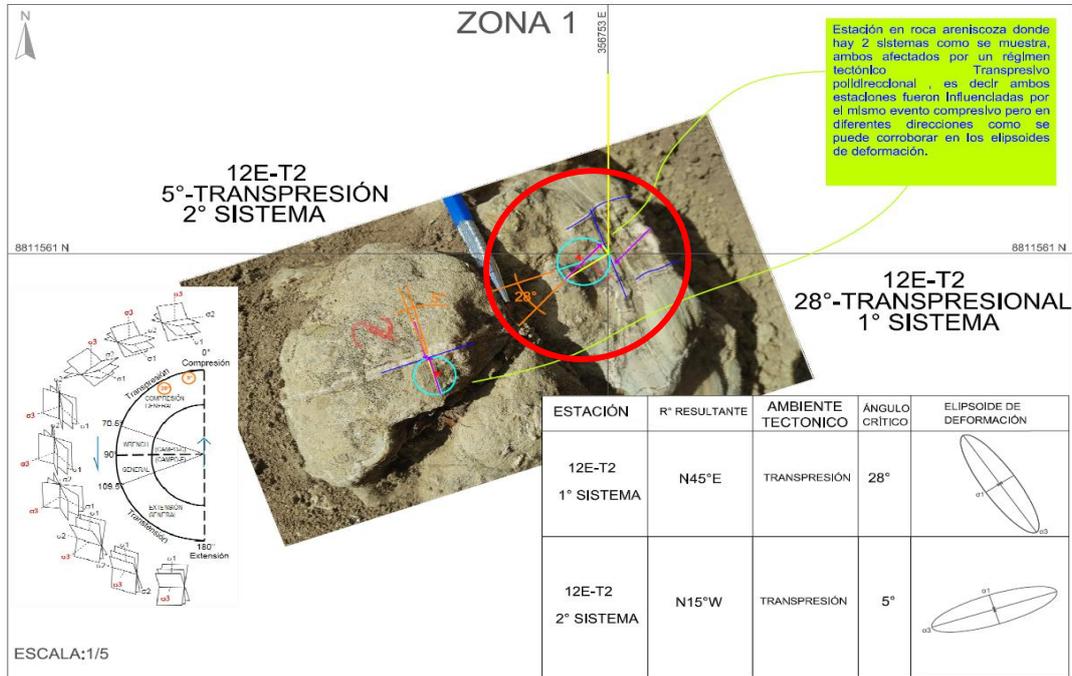


### 3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para ilustrar el procedimiento de toma y procesamiento de datos de campo usaremos una estación real que se hizo durante la aplicación de la técnica de McCoss en campo. Se usará los datos de la **ESTACIÓN**

**ESTRUCTURAL N° 35** cuyos datos se detallan en la siguiente figura y muestra los siguientes datos en el cuadro resumen:

**Figura 18.** Estación estructural (marcada en círculo rojo), que usaremos para mostrar la aplicación de la Técnica de McCoss.



**Tabla 4.** Datos tomados de la estación estructural.

N°	35
TRAVER	2
ESTACIÓN	12
ZONA	1
TIPO DE MAPEO	ESTRUCTURAL
COORDENADAS	E:356752.97 N:8811561.1
SISTEMA	1ro
AZIMUTH	160°
AZIMUTH RELLENO FIBROSO	56°
OBSERVACIÓN	Estructura fractal (venilla) con potencia de 0.04 mm y relleno de calcita fibroso en roca clara con textura de arenisca, venillas de calcita, la roca tiene textura areniscosa y coloraciones verdosas, la roca caja presenta fuerte efervescencia.

### PROCEDIMIENTO:

1º. Se determina visualmente la ocurrencia de un afloramiento calcáreo donde se vea uno o varios sistemas de fractales las cuales pueden o no contar con relleno.

Figura 19. Afloramiento de caliza mostrando dos sistemas de fractales diferenciados con líneas punteadas de color rojo y azul, que en este caso son: venillas de calcita mostrando relleno fibroso.



2º. Definir las estructuras fractales en las cuales se puede verificar visualmente in situ los movimientos que ocurren en ese afloramiento.

3º. Con el GPS se le asignan coordenadas al afloramiento.

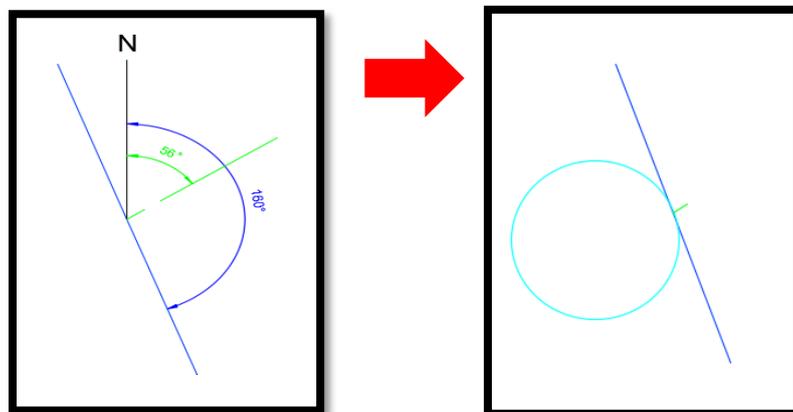
4º. Tomamos el Azimut de la estructura fractal y de igual manera del relleno fibroso.

**Figura 20.** Vista de cómo se orienta la brújula para medir el Azimuth de la estructura fractal.



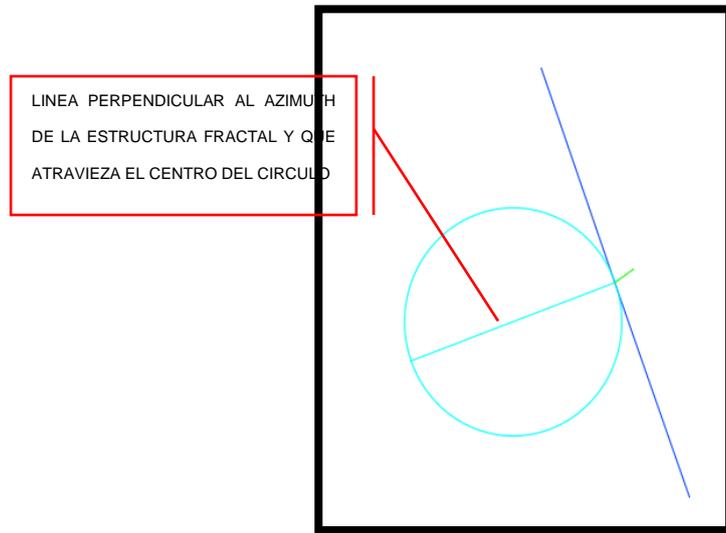
5°. En la libreta de campo o formato portátil ,se dibuja el azimut de la estructura dibujado de color azul( ) y también del relleno fibroso tomado dibujado de color verde ( ), tangente al azimut de la estructura se dibuja un círculo de color magenta( ) con la ayuda de una moneda u otro objeto circular.

**Figura 21.** Datos medidos: Azimut de estructura:160° Azimut relleno Fibroso: 56 °



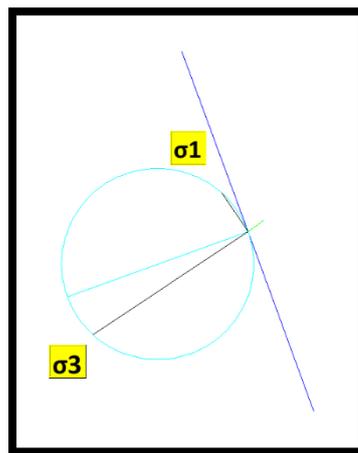
6°. Se traza una línea perpendicular al azimut de la estructura, pasando por el centro de la circunferencia dibujada. Ver figura 28.

**Figura 22.** Trazado de línea perpendicular de la estructura fractal.



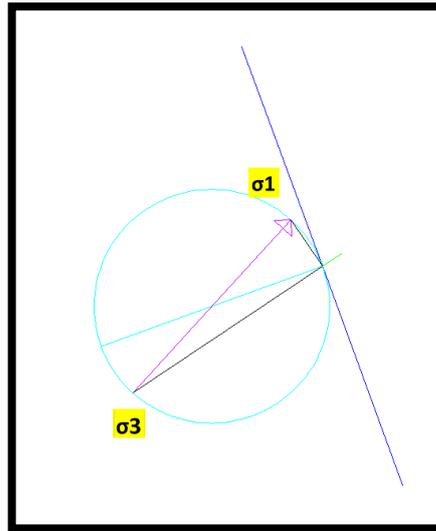
7°. Luego se proyecta hacia el límite del círculo el azimut del relleno fibroso ( ), esta línea representa al Esfuerzo  $\sigma_3$  (McClay 1987). De igual manera trazamos una línea perpendicular a  $\sigma_3$  que atreviese el límite del círculo dibujado esta otra línea representa a  $\sigma_1$ . Ver figura 29.

**Figura 23.** Trazado de línea perpendicular de la estructura fractal.



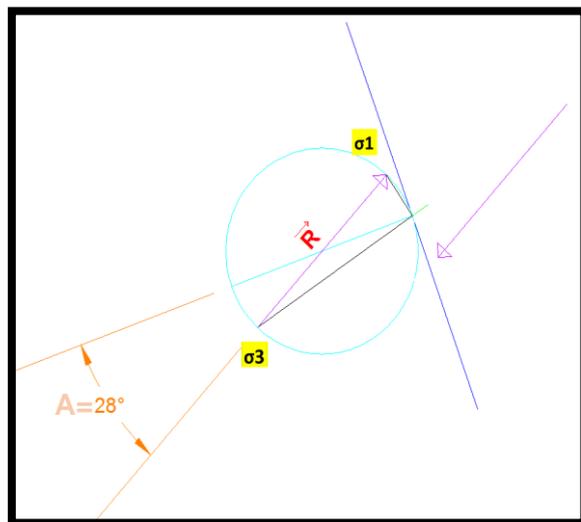
8°. Finalmente se une las intersecciones ( ) desde el **sigma  $\sigma_3$  hacia el  $\sigma_1$**  (McCoss, 1987) que pasan por el límite del círculo dibujado. Esta línea y sentido es el vector de desplazamiento local, que representa la extensión local de esta estación en particular, cabe mencionar que el sentido de la flecha que representa a la resultante local debe ser del esfuerzo menor al esfuerzo mayor es decir de  $\sigma_3$  a  $\sigma_1$ . Ver figura 30.

**Figura 24.** Finalmente se une las intersecciones desde el sigma  $\sigma_3$  hacia el  $\sigma_1$  (McCoss, 1987) que pasan por el límite del círculo dibujado.



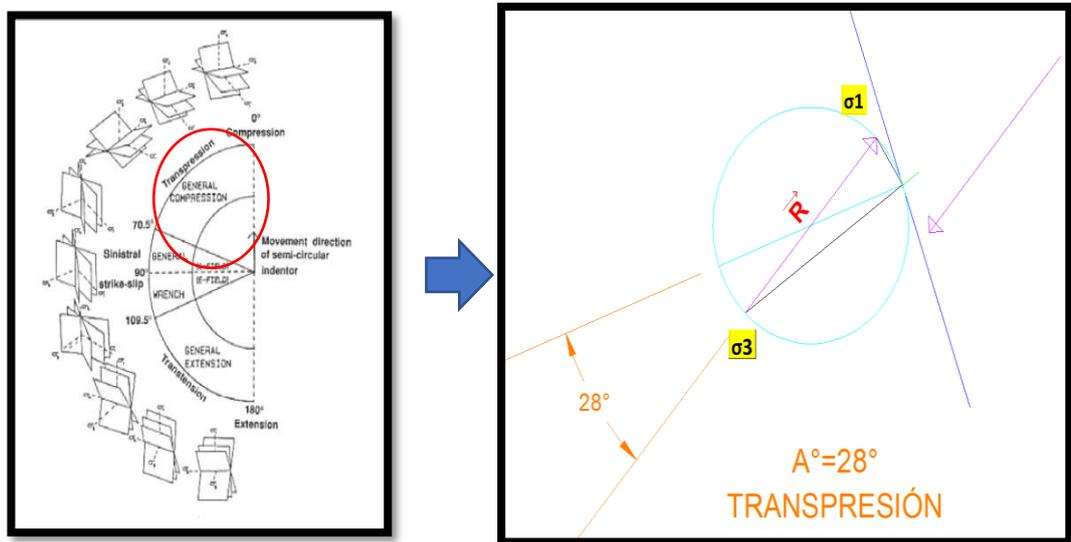
9º. Este análisis gráfico permite conocer el Vector de resultante local sin embargo, ¿Qué pasaría si realizamos el análisis al otro lado de la estructura?, Simplemente el resultado no varía pero observaremos si dibujamos a ambos lados de una estructura fractal el análisis gráfico usando la Técnica de McCoss, que ambos vectores de resultante local nos estarán determinando el movimiento ya sea DEXTRAL O SINISTRAL, COMPRESIVO O EXTENSIVO que se dio para la formación de esta estructura.

**Figura 25.** Movimiento dextral determinado por la posición opuesta de la resultante local.



10°. El ángulo que se forma entre la línea perpendicular a la estructura y el vector de la Resultante local es llamado ángulo crítico ( $A$ ), en este caso tiene un valor de  $28^\circ$ , este ángulo se usa para definir el ambiente tectónico al cual pertenece la estación de análisis, este ángulo es usado también para definir la forma del elipsoide de deformación (McCoss 1987).

Figura 26. Espectro de regímenes tectónicos.



Para detallar más en el resultado del presente ejemplo, a la izquierda se presenta el espectro de regímenes tectónicos donde se observa los diferentes campos a los cuales pertenecen todas las estructuras que sufrieron desplazamiento después de una ruptura.

- El formato de la figura 27, es el formato usado para la recolección de los datos en el cual se registran los datos estructurales Por J.A. Martínez Mendoza-Hochschild Mining. Se aprecia también que la estación tiene dos sistemas de estructuras en una misma estación. Se procede a realizar el análisis estructural in situ, independizando ambos sistemas. En esta figura corresponde al sistema de estructuras 1.

**Figura 27. Formato de campo en el cual se registran los datos estructurales**  
 Por J.A. Martínez Mendoza-Hochschild Mining

TRAVERZ ESTACION 12	PROYECTO: ANÁLISIS FOLIA CASAP	PUNTO DISCRETO DE OBSERVACION ESTRUCTURAL
	AREA: Zona Estructura 1	
U.T.M.	E: 256 753 N: 3844 564	
CROQUIS <input type="checkbox"/> PLANTA PERFIL <input checked="" type="checkbox"/>		GEOLOGIA
CONCLUSIONES: Se observa 2 sistemas de venillas de características similares los cuales se presenta en el siguiente croquis: Sistema 1: $16^{\circ}$ Az / $56^{\circ}$ Dp Sistema 2: $25^{\circ}$ Az / $308^{\circ}$ Dp		ROCA DE CAJA Formación: Grupo Pinar Edad: Tr-34 Litología: Rocas calcáreas de tipo cristalino con fragmentos de color gris blanquecino
		DUCTILIDAD/FRAGILIDAD Según la morfología de las venillas hay interacciones reológicas longitudinales (falta frágil)
CALCULO DE ESFUERZOS (Técnica McCross)		TIPO DE RELLENO Entre venillas de color blanco se observan fragmentos de color gris blanquecino sin perder la fricción
SISTEMA 1: Az: $16^{\circ}$ Dp (Rel): $56^{\circ}$		EJES DE ESFUERZOS LOCAL REGIONAL p1: $56^{\circ}$ p2: — p3: $252^{\circ}$
		A = $26^{\circ}$
COMENTARIOS: Según el cálculo de esfuerzos para el sistema 1, las direcciones de los esfuerzos principales es de $\sigma_1 = 56^{\circ}$ y $\sigma_3 = 155^{\circ}$ , por lo tanto la resultante de fuerza principal $N40^{\circ}$ y el ángulo resultante $A$ es un valor de $26^{\circ}$ lo que nos sitúa en un ambiente tectónico		REGIMEN TECTONICO: TRANSPRESIONAL
For: J.A. Martínez-Mendoza		ETAPA vs MINERALIZACION PRE SYN POST FECHA:

**Figura 28. Figura corresponde al sistema de estructuras 2. , concluyendo que ambos sistemas 1 y 2 fueron formados en un ambiente tectónico transpresivo.**

TRAVERZ ESTACION 12	PROYECTO: ANÁLISIS FOLIA CASAP	PUNTO DISCRETO DE OBSERVACION ESTRUCTURAL
	AREA: Zona Estructura 1	
U.T.M.	E: 256 753 N: 3844 564	
CROQUIS <input type="checkbox"/> PLANTA PERFIL <input checked="" type="checkbox"/>		GEOLOGIA
CONCLUSIONES: Se observan 2 sistemas de venillas de características similares los cuales se presenta en el siguiente croquis: Sistema 1: $16^{\circ}$ Az / $56^{\circ}$ Dp Sistema 2: $25^{\circ}$ Az / $308^{\circ}$ Dp		ROCA DE CAJA Formación: Grupo Pinar Edad: Tr-34 Litología: Rocas calcáreas de tipo cristalino con fragmentos de color gris blanquecino
		DUCTILIDAD/FRAGILIDAD Según la morfología de las venillas hay interacciones reológicas longitudinales (falta frágil)
CALCULO DE ESFUERZOS (Técnica McCross)		TIPO DE RELLENO Entre venillas de color blanco se observan fragmentos de color gris blanquecino sin perder la fricción
SISTEMA 2: Az: $25^{\circ}$ Dp (Rel): $308^{\circ}$		EJES DE ESFUERZOS LOCAL REGIONAL p1: $308^{\circ}$ p2: — p3: $36^{\circ}$
		A = $66^{\circ}$
COMENTARIOS: Según el análisis de esfuerzos para el sistema 2, las direcciones de los esfuerzos principales es de $\sigma_1 = 308^{\circ}$ y $\sigma_3 = 36^{\circ}$ , por lo tanto la resultante de fuerza principal $N40^{\circ}$ y el ángulo resultante $A$ es un valor de $66^{\circ}$ lo que nos sitúa al sistema 1 en un ambiente tectónico		REGIMEN TECTONICO: TRANSPRESIONAL
For: J.A. Martínez-Mendoza		ETAPA vs MINERALIZACION PRE SYN POST FECHA:

### **3.9. Orientación ética**

El presente trabajo es realizado teniendo en cuenta que los proyectos de investigación pueden ser o no costosos, o tienen que tener gran inversión, sino lo que es relevante es el contenido científico es decir el aporte real y no aparente , un ejemplo es el presente trabajo que usa un artículo científico realizado por Angus McCoss en el año 1987, quién elabora una metodología que con procedimientos gráficos y prácticos permite a los usuarios identificar de manera rápida el régimen tectónico bajo el cual se formó una estructura fractal (veta, vetilla, estilolita, etc.) esta información es de mucha importancia para la caracterización estructural, definición de paleoesfuerzos y el análisis cinemático de un yacimiento mineral, o cualquier otro rasgo estructural como por ejemplo la falla de Sacrafamilia.

Además es importante mencionar que el presente trabajo de Tesis cumple todo los lineamientos sobre ética de la investigación, en todo momento citando a las fuentes y por último no dejar de mencionar que durante la etapa de campo la empresa Minera el Brocal S.A. estuvo en conocimiento del recorrido que realicé cerca a sus instalaciones, así como de la información extraída para afianzar los contenidos del presente.

## **CAPITULO IV**

### **PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

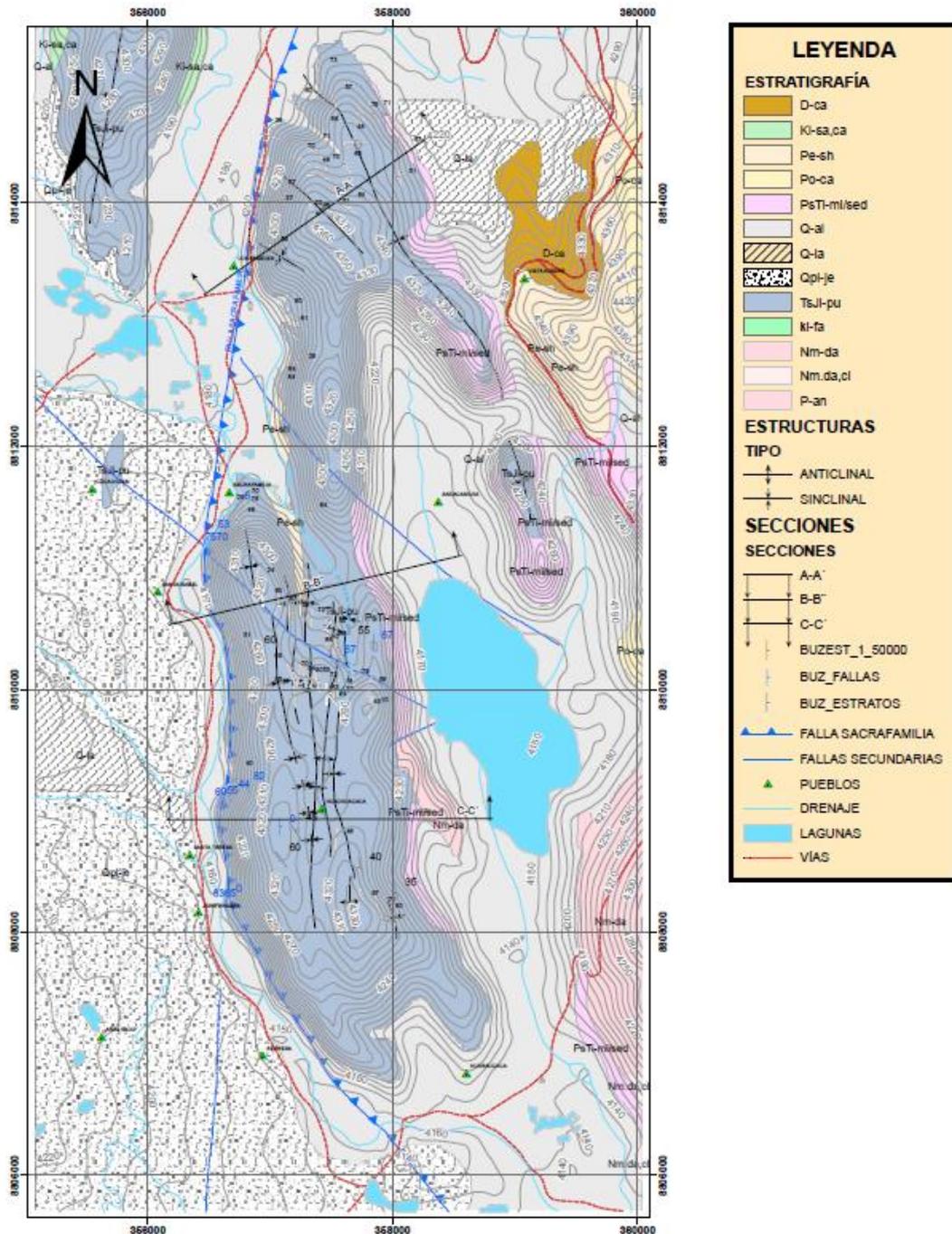
##### **Mapa Geológico local**

Para poder ubicar nuestros análisis de datos fractales en una geología planteada es necesario contextualizar el ambiente en el cual se ubicarán las estaciones de estudio, para esto se realizó el mapeo geológico corroborando y agregando datos a los planos preexistentes.

En base a los planos geológicos obtenidos de la zona bajo estudio (INGEMMET, RONNER BENDEZU AND LUIS FONTBOTE - EL BROCAL S.A.A y GISELA COBEÑAS), se hizo un compilado sobre el cual se realizó un mapeo geológico a detalle a escala 1/500. Esto se realizó con el fin de producir un plano con la mayor información posible recolectada la cual es adecuada para plasmar allí los croquis a escala que se tomaron en cada estación estructural para su respectivo análisis.

##### **Secciones geológicas**

Fueron realizadas con el fin conocer el comportamiento de las estructuras en profundidad, en este caso se realizaron 3 secciones sistemáticas perpendiculares al eje de los plegamientos.



1 0.5 0 1 Km.

	Diseño: David, ADILFAR MAMANI	"UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN" ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA
	Revisado: Dr. Paris, MENA OSORIO	
	Proyecto: Fases/Pases/Trayectorias	
	Fecha: WOL/21	
ESCALA: 1 / 30 000	PLANO GEOLÓGICO Y SECCIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO	PLANO: 01

Plano N° 4. Plano geológico y secciones de la zona de estudio







### **Mapeo estructural**

Elección de las zonas para el mapeo de los fractales; Para realizar un correcto registro de las estructuras en venillas, estilolitas, juntas, lineamientos, fue necesario recorrer el macizo rocoso al margen "Este" de la falla Sacrafamilia que comprende desde las coordenadas norte UTM 8808 000 hasta las coordenadas 8816 000 norte. Es decir, por ocurrir mayormente en rocas sedimentarias del grupo pucará las cuales son propicias para la expresión estructural que las influyen, estas rocas alojan en sus estructuras fractales rellenos de calcita en mayor porcentaje (Cuarzo, sílice fibrosa en menor proporción), los cuales usamos para definir direcciones de esfuerzos tal y como se pudo observar en los procedimientos de trabajo para el mapeo estructural.

Sin embargo, para afrontar el trabajo de campo respecto al mapeo netamente estructural se ha confeccionado planos con cuadrículas a escalas 1:5, 1:10, 1 :100, 1:250, para registrar correctamente la ocurrencia de fractales las cuales fueron analizadas en formatos especialmente elaborados que se puede encontrar como anexo.

Las estaciones de mapeo estructural se mostrarán en la etapa de gabinete que es donde se procesará la información con el uso de software como Autocad.

### ***Interpretación de las secciones geológicas***

- Sección transversal A-A' y B-B'

Según se aprecia ambas secciones tienen en común la deformación compresiva de las secuencias calcáreas del grupo Pucará , así mismo las molasas de grupo mitu se pueden ver en las partes bajas del macizo, acentuando más la interpretación de que se tiene formación de pliegues sinclinales los cuales tienen hacia el centro las secuencias más modernas y hacia el exterior las más antiguas. En ambas secciones se puede ver la falla Sacrafamilia con un ángulo de inclinación alto el cual hacia el este a elevado las secuencias fuertemente hasta 200 metros de diferencia al lado

oeste de la falla, esto también nos da una referencia sobre la cinemática de la falla, la cual indica ser una de movimiento inverso según se ve en las secciones presentadas.

- **Sección transversal C-C'**

Estas características también se presentan en la sección C-C', que se encuentra al sur de la zona de estudio y elegida en esta ubicación para intesectar la ocurrencia de un cuerpo de roca volcánica, según lo visto este afloramiento que se encuentra en la parte baja del valle al este de la zona de estudio se compone de dacitas de color blanquecino con cristales milimétricos a centimétricos de cristales de biotitas negras, con plagioclasas erosianadas y deleznales de color blanco.

La presencia de esta roca volcánica en este punto es un indicador de que en esta zona se produjo una zona de baja presión producto del intenso fallamiento, por donde ascendieron estos cuerpos magmáticos y lávicos.

A este sistema de fallas pertenece la Falla de Sacrafamilia la cual es semiparalela a la misma, y que probablemente en grandes profundidades tengan un mismo origen, esto por las grandes similitudes dimensionales con el sistema mayor de fallas de Cerro de Pasco.

#### **Base de datos**

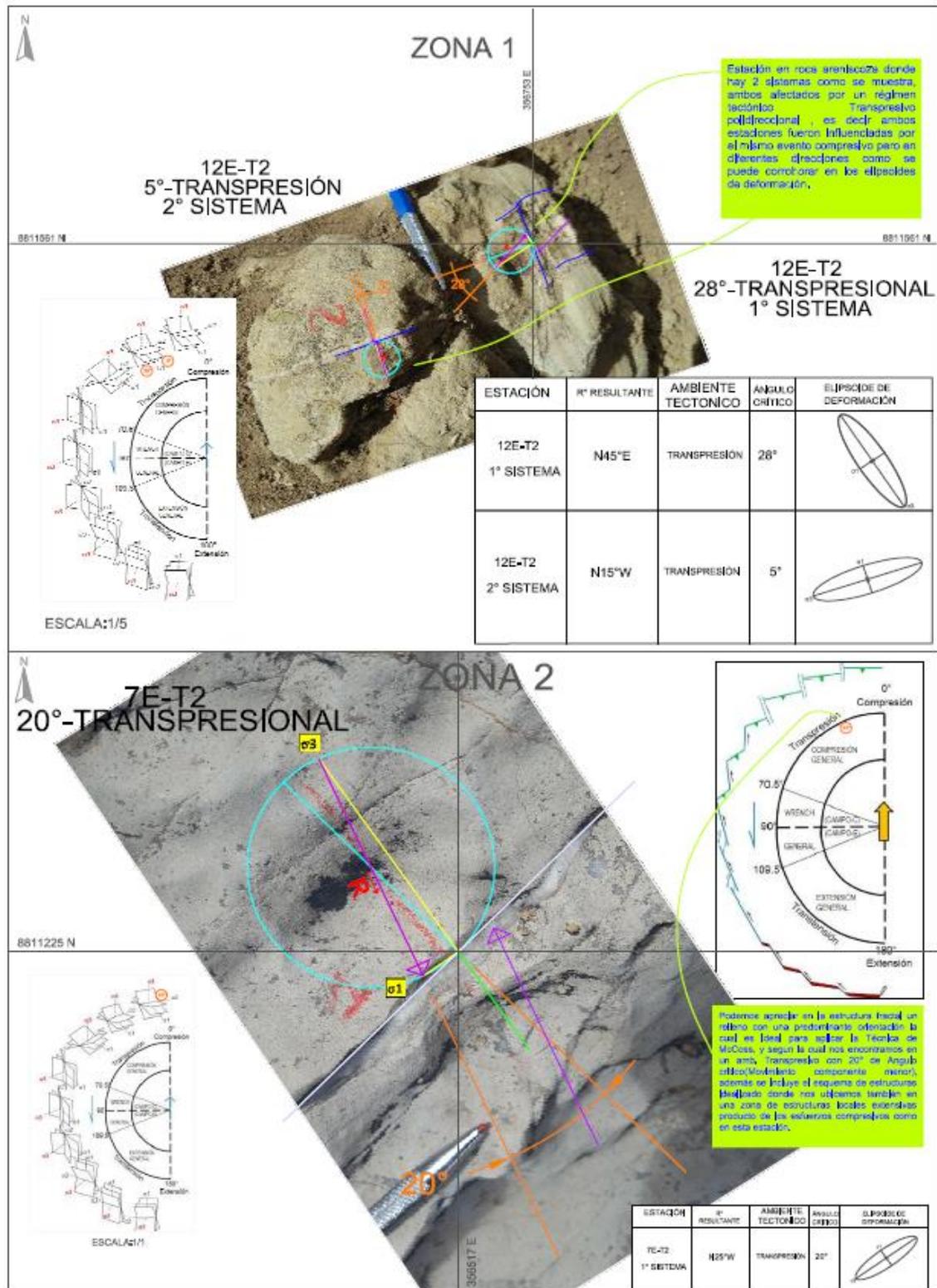
El registro de datos tanto geológicos (fallas, pliegues, contactos, etc.) y el registro de datos estructurales (medición del Azimut, Dirección de Buzamiento, Pitch de fallas, además de Azimut de estructuras fractales y relleno fibroso de estilolitas, venillas, vetillas, junturas es decir de los fractales). Se realizaron paralelamente en 6 salidas de campo las cuales se alimentaron a una base de datos en el Programa Microsoft Excel.

#### **Presentación y análisis estructural de las microestaciones**

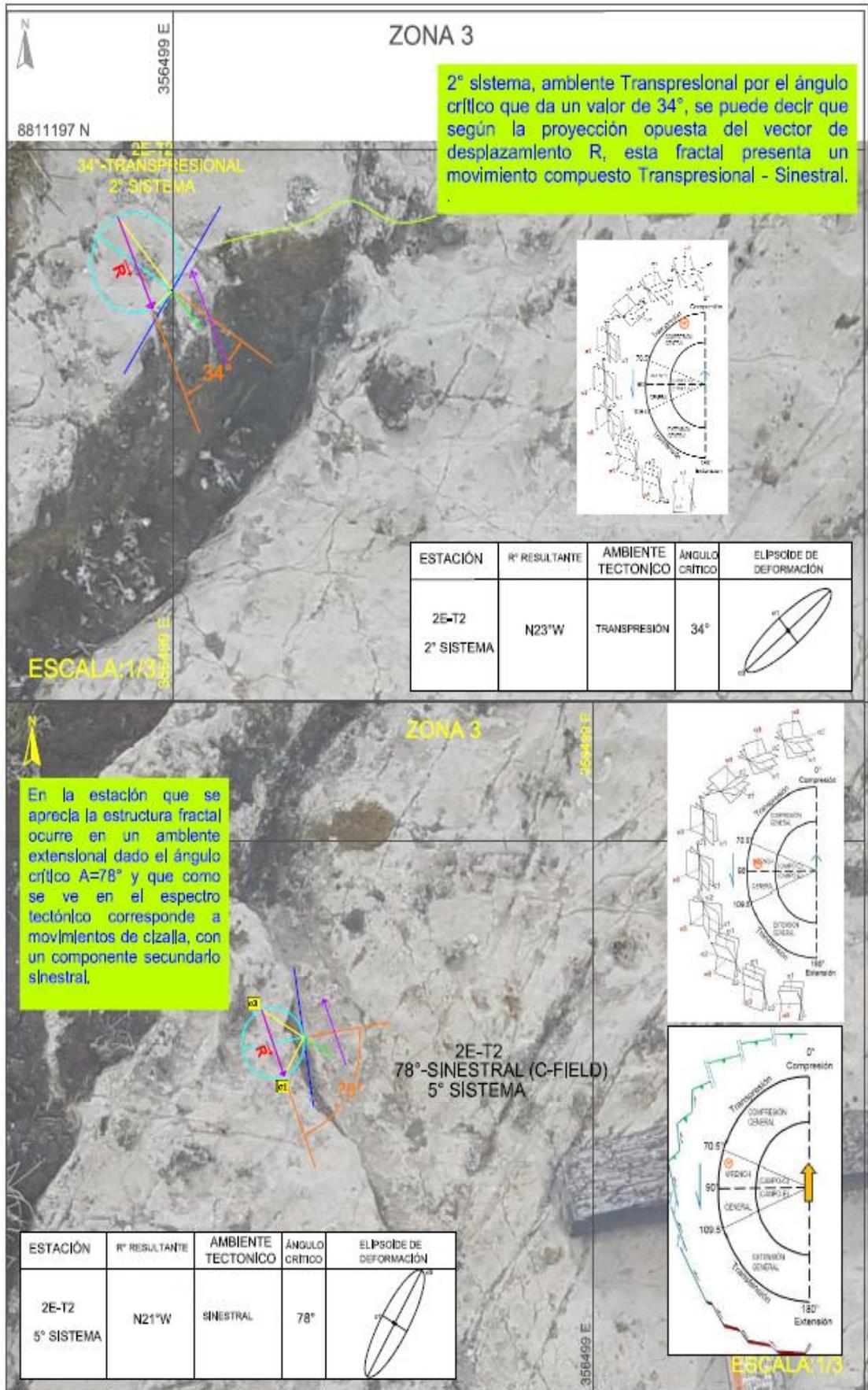
- A continuación, se presentan 4 de las 146 micro estaciones de análisis estructurales las cuales están escaladas y muestran un sistema de grillas con coordenadas, el desarrollo de las estaciones se puede encontrar en los anexos.

- En cada análisis se obtuvo la forma del elipsoide (oblato o prolato) para cada micro estación esto con el fin de poder analizar estos datos y generar un patrón el cual se usará después para entender la cinemática de la falla.

**Figura 29.** Estaciones estructurales y sus respectivos análisis tectónicos.



**Figura 30.** Estaciones estructurales y sus respectivos análisis tectónicos.



**Análisis estructural y clasificación de resultantes locales, regionales por zona de mapeo**

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

En el plano se presenta los 146 datos tomados en campo de los buzamientos y direcciones de buzamiento, los cuales se agruparon en 6 grupos por criterios de ocurrencia de las mismas es decir si están relacionadas a la deformación de las calizas o si están relacionadas a los fallamientos posteriores, estos datos fueron ingresados al software Dips que nos dio los siguientes resultados.

**Tabla 5.** Zonas estructurales y el rumbo predominante que es predominante.

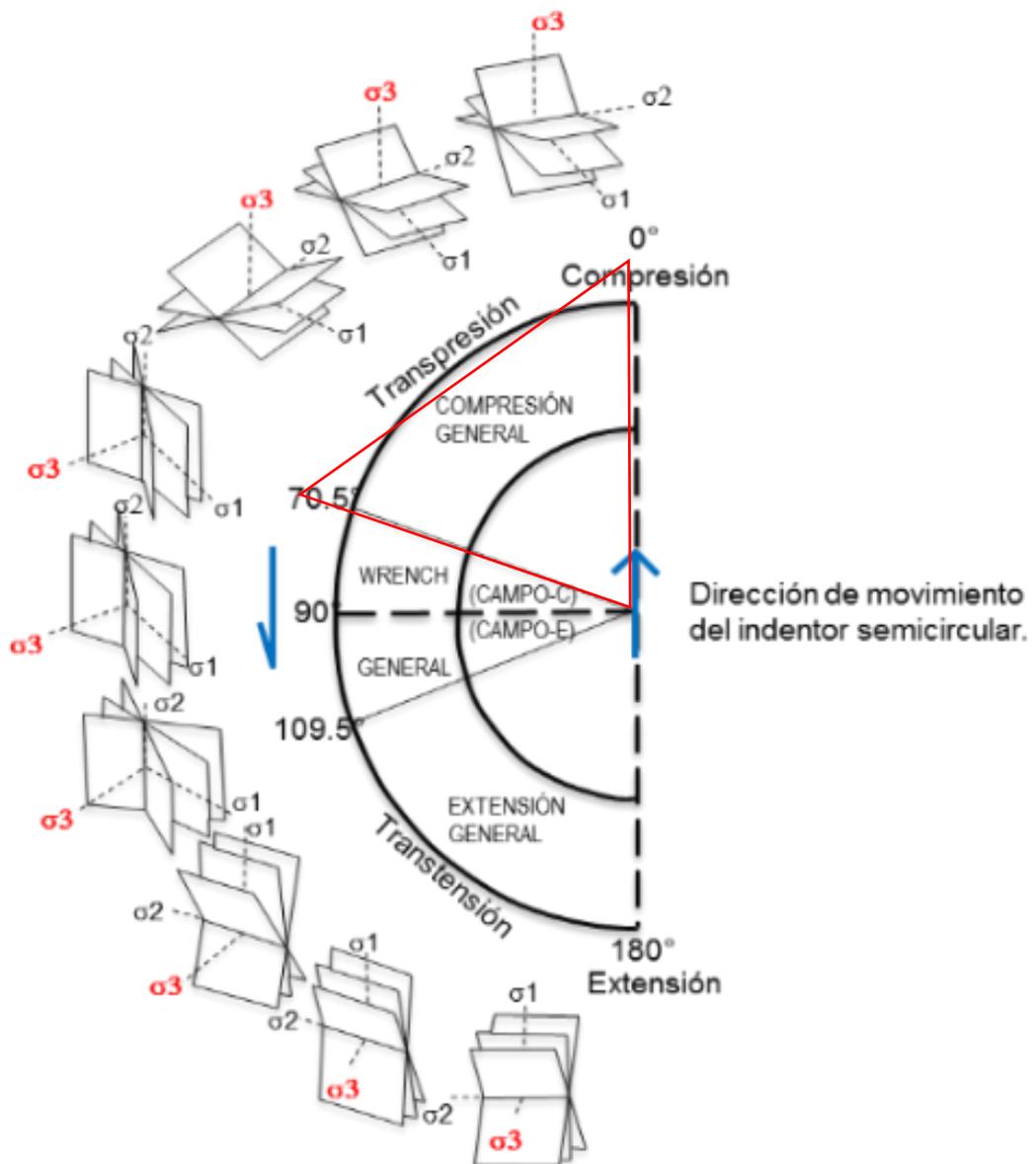
<b>ZONA</b>	<b>RUMBO PREDOMINANTE</b>	<b>TECTÓNICA</b>
1. FALLAS NORTE	345°	SINISTRAL
2. FALLAS SUR	295°	SINISTRAL
3. PLIEGUES CENTRO 1	335°	COMPRESIVA
4. PLIEGUES CENTRO 2	335°	COMPRESIVA
5. PLIEGUES NORTE	345°	COMPRESIVA
6. PLIEGUES SUR	275°	COMPRESIVA

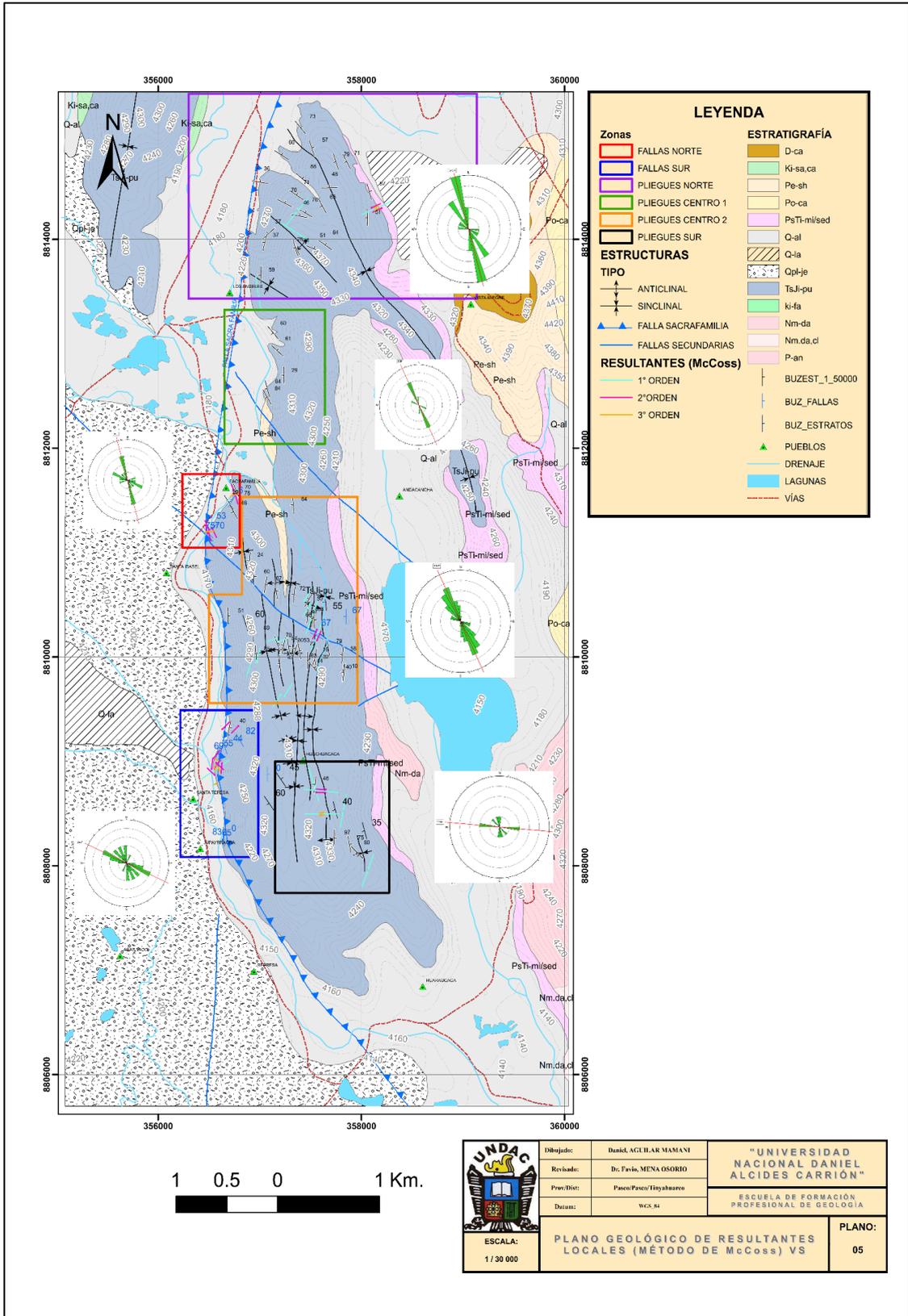
En el plano N°08 Se puede concluir que las resultantes locales de las estaciones microestructurales son predominantemente compresionales y en menor proporción transpresionales esto por los ángulos críticos (A) que se obtienen al usar la técnica de McCoss.

En el gráfico de la figura 31 podemos apreciar el campo donde coinciden la mayoría de las resultantes locales, datos tomados en calizas deformadas (pliegues) se puede evidenciar una correlación de estos datos por el rumbo de predominante de los diagramas de rosetas que dan un ángulo azimutal de 329°

o N31°W lo cual indica una dirección de deformación que es evidentemente de edad Cretácico superior a Cenozoico ya que los datos tomados corresponden a estructuras deformadas posteriores. Esto es evidencia contundente para relacionar estas estructuras a la época en que se deformaron estas rocas carbonatadas.

**Figura 31..Espectro tectónico**





Plano N° 8. Plano geológico de zonas de estudio, Resultantes locales vs rosetas

### **Plano geológico de resultantes locales por zonas estructurales**

A continuación, se describen los resultados detallados por zonas, las cuales ya fueron descritas, se describen las 6 zonas comenzando del norte:

#### **Zona Pliegue Norte:**

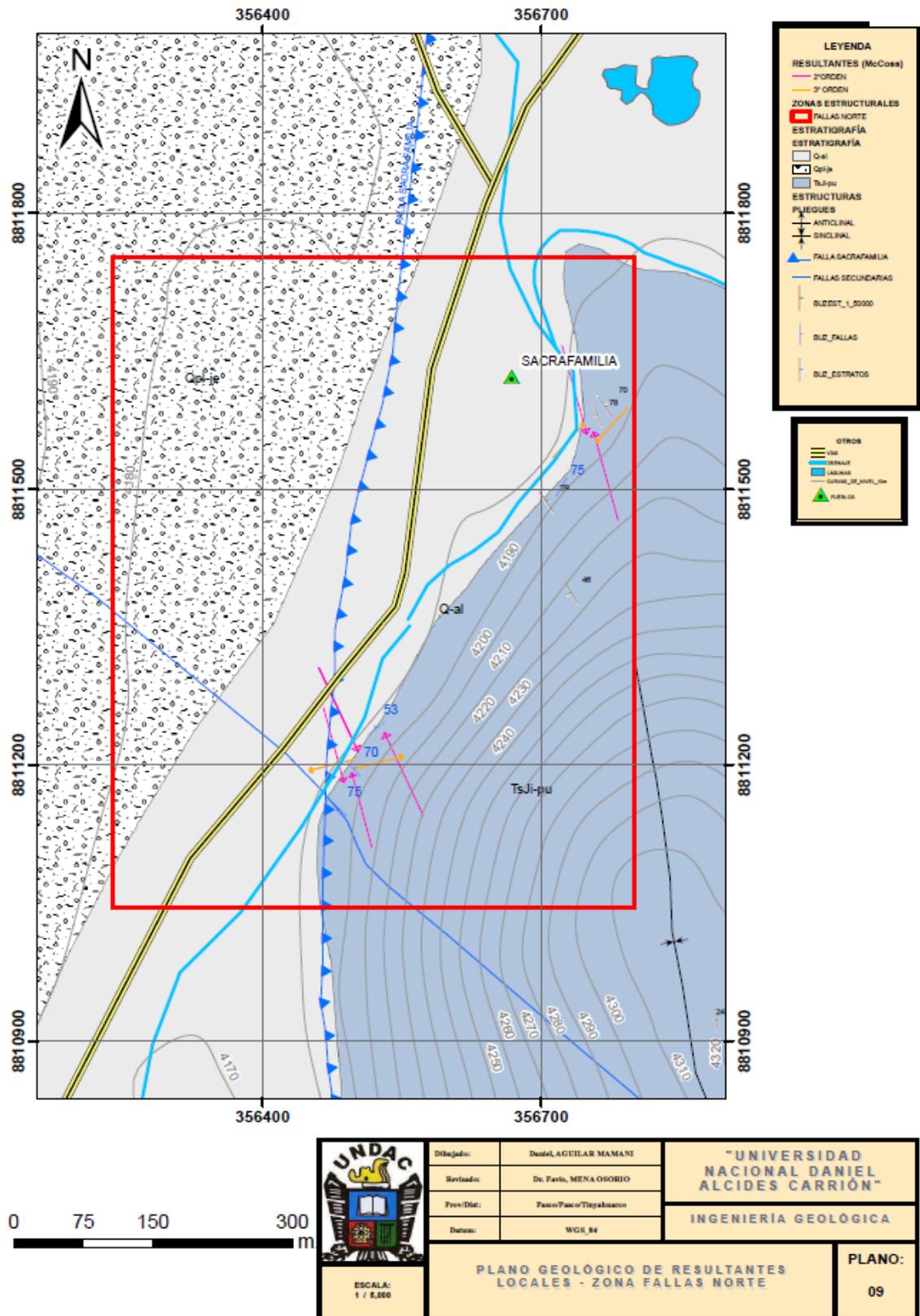
En la zona Norte se puede apreciar 3 resultantes locales de cuyo análisis arroja un resultado de ambiente Compresivo, se puede apreciar también la ocurrencia de una resultante de tipo de rumbo Dextral y a la vez Sinistral, esto queda evidenciado en el análisis de la microestación.

#### **Zona Pliegue Centro 2 y Pliegue Sur:**

Se pueden usar para el análisis las 6 resultantes locales de tipo compresivo a transtensivo los cuales por su ocurrencia se puede apreciar están exclusivamente en calizas, sin embargo, podemos ver desplazamientos de cizalla en la cercanía de la falla.

#### **Zona Falla Norte y Sur**

Estas resultantes tienen una característica bien definida y es que aquí ocurren movimientos de Cizalla con mucha más frecuencia que en las estaciones anteriores. Se puede ver la ocurrencia de movimientos sinestrales y dextrales, de los cuales en el último caso son mucho más evidentes, lo que nos da una idea de que estos movimientos tuvieron lugar durante el último ciclo tectónico y que está relacionado a la formación de yacimientos minerales tales como el de Colquijirca.

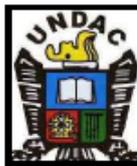
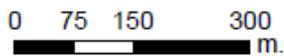
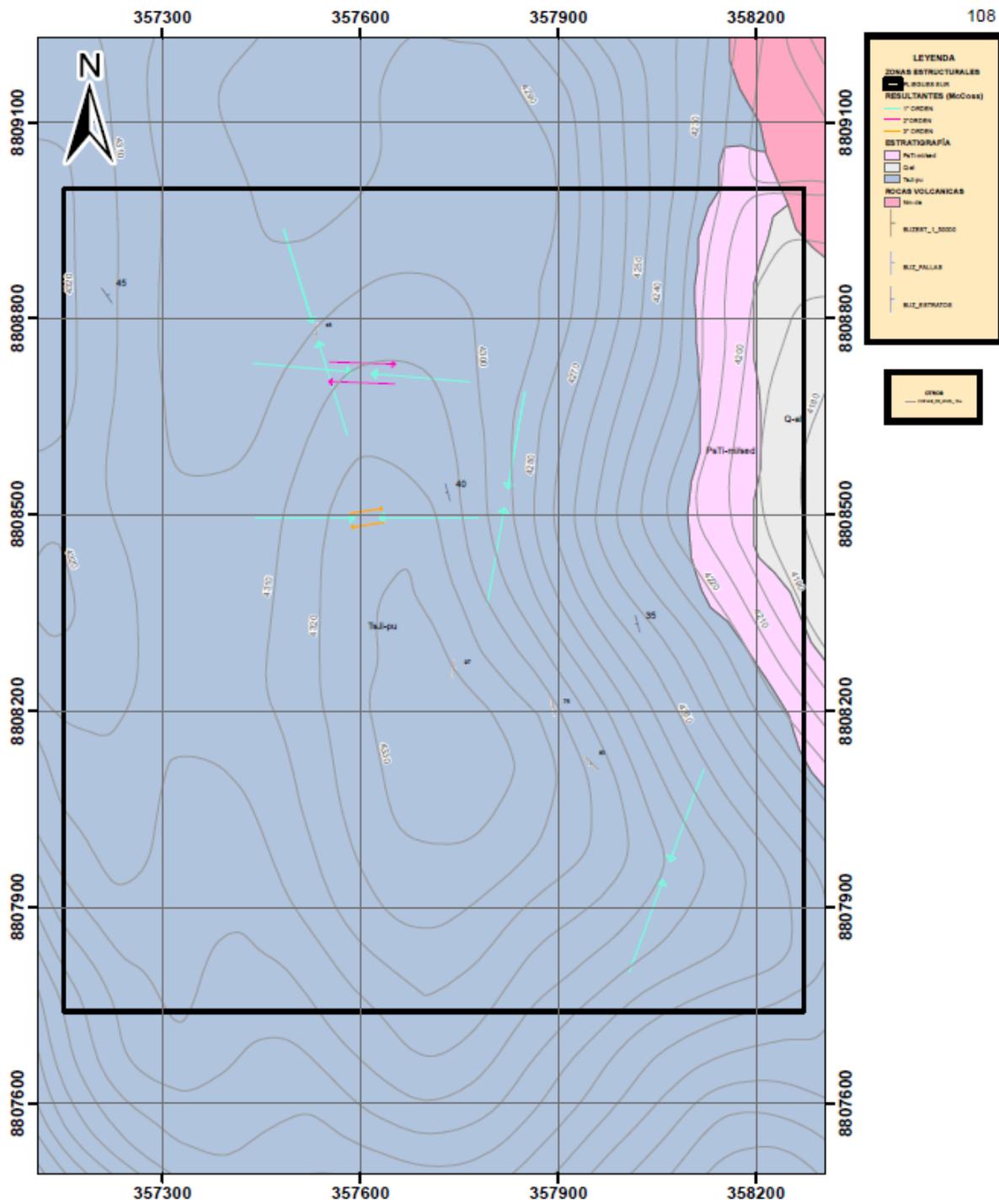


Plano N° 9. Plano geológico de Zonas fallas Norte.









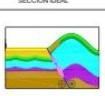
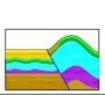
Dibujado:	Daniel AGUILAR MAMANI	"UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN"
Revisado:	Dr. Favis, MENA OSORIO	
Proy/Dist:	Puno/Puno/Tiyakimaco	
Datado:	WGS 84	INGENIERÍA GEOLÓGICA
ESCALA: 1 / 7,500		PLANO: 13

Plano N° 13. Plano geológico de Zona Pliegues Sur.

# Rotación del elipsoide de deformación durante la formación de la falla y posterior influencia

## CUADRO DE EVOLUCIÓN TECTÓNICA ZONA DE TRABAJO :

### COLUMNA COMPOSITADA - RECONSTRUCCIÓN TECTÓNICA DE LA FALLA DE SACRAFAMILIA

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE CERRO DE PASCO		CICLOS	FASES (boletín)	ORIGEN/EDAD DE LAS FALLAS	RÉGIMEN TECTÓNICO	SECCION IDEAL	TECTÓNICA INGENMET	ELIPSOIDES POR RÉGIMEN TECTÓNICO (PRINCIPALES)				
PERIODO	ETAPAS							COMPRESIONAL	TRANSVERSAL	DIAGONAL	SINISTRAL	TRANSVERSAL
CEÑOZOICO	CUATERNARIO	Depósitos aluviales, lavas y flujadas. Areniscas cuaternarias de grano fino y medio con estratificación cruzada.	LEVANTAMIENTO VOLCÁNICO	Levantamiento Andino. Invasión lavas (magmatismo). Depósitos de cuaternarios.	MOVIMIENTO INVERSO		Mioceno Régimen compresivo tectónico inverso con componente de rumbo, emplazan los domos y sistemas de Cerro de Pasco y Colqajirca.					
	PALEOGENO	Centros volcánicos de Cuzco, Cerro de Pasco y Yanabaya. COMPLEJO VOLCÁNICO QUEÑAN-PACUNAN. CONGLOMERADO SPUCCO. MIEMBRO CACALAN.						Cretácico Superior Régimen compresivo, emplazan la cuenca de Formación Pocobamba sobre el alto de Cerro de Pasco.				
MESOZOICO	CRETÁCICO	Areniscas cuaternarias de grano fino y medio con estratificación cruzada.	FASE PERUANA	FINALIZA SEDIMENTACIÓN MARINA CON LEVANTAMIENTO Y PLEGAMIENTO. SOLO DEPOSITACIÓN CONTINENTAL (CAPAS FOLIAS DE LA FORMACIÓN COSMOLICA).	MOVIMIENTO NORMAL		Cretácico Inferior Régimen compresivo, emplazan las lavas de Formación Chaylacatana.					
	JURÁSICO	Cafías, dolomitas y calizas dolomíticas con delgadas intercalaciones de lutitas, lutitas y volutas de chert.	FASE INCA Fuerza compresiva, genera plegados, fallas normales, activación de anticlinal posterior a ella se genera estiramiento generalizado en la cordillera occidental.	FINES DEL JURÁSICO LA FALLA ANDINA QUEDA DIVIDIDA EN DOS CUENCAS TECTÓNICAS POR GEOMORFOLÓGICA (CORDILLERA ORIENTAL) EN CUENCA OCCIDENTAL (INCA); SANTA, URBANA).				Pérmico Superior - Jurásico Inferior Régimen extensional, sedimentación de los grupos MTU y Pucará. Se origina el alto de Cerro de Pasco.				
PALEOZOICO	PERMIANO	Cafías, dolomitas y calizas dolomíticas con delgadas intercalaciones de lutitas, lutitas y volutas de chert.	TRANSGRESIÓN MARINA	GRUPO PUCARÁ - TRANSGRESIÓN SOBRE CUENCA PALEOZOICA.	MOVIMIENTO NORMAL							
	TRIASICO	Areniscas rojas con lentos de conglomerado gris oscuro, chert de arenita y cuarcas lentos.	HERCÍNICO	GRUPO MTU - MOLAS ROJAS. Cuenca continental. GRUPO COPACABANA. FACIES CALCÁREAS. METAMORFISMO REGIONAL.		SE ORIGINARON DESDE EL PERMIANO SUPERIOR. ACTUA DESDE PERMIANO SUPERIOR.						
NEO PROTEROZOICO	EXCELSIOR	Filas y pegmatita que persisten con arenita.	HERCÍNICO	PERIODO DISTENSIVO 'HACIA EL TOPE, EVENTO EXPLOSIVO.								

## **INTERPRETACIÓN DEL CUADRO DE EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA ZONA DE TRABAJO:**

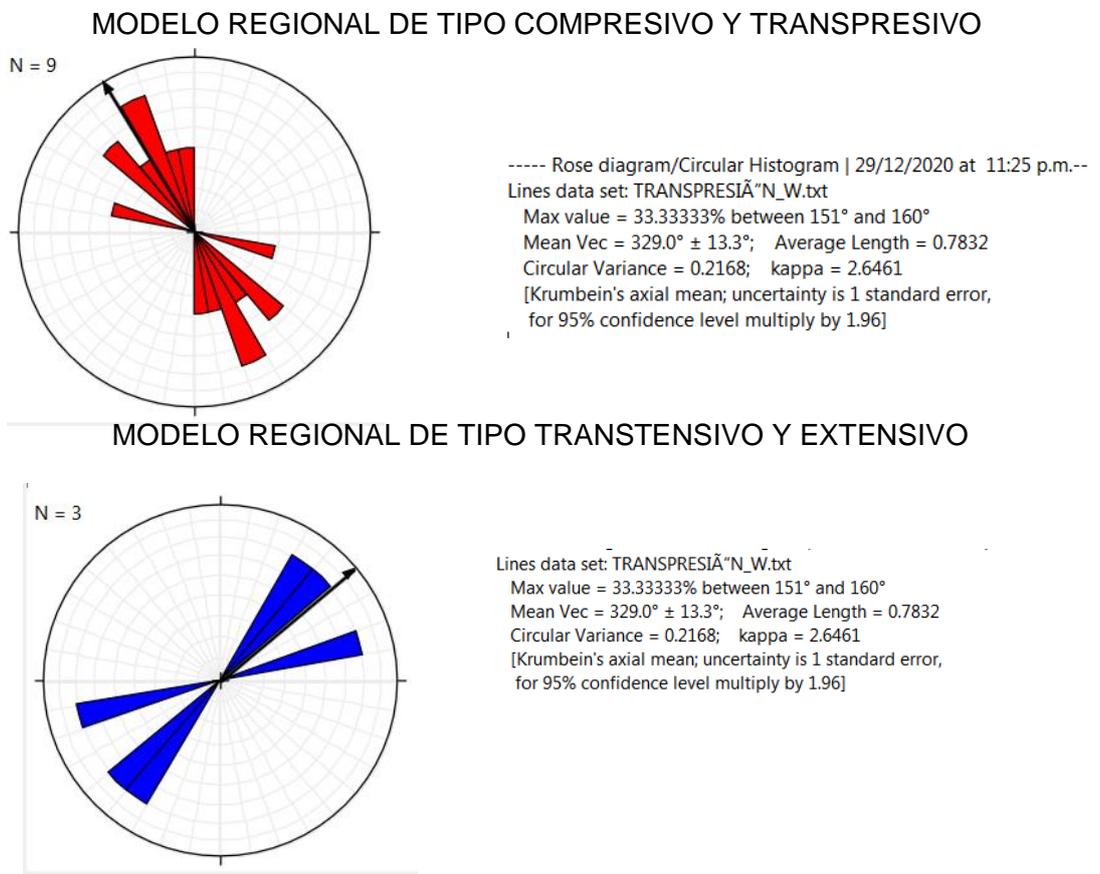
- i. La Tabla geocronológica compositados presentada como ANEXO 20 o pág.109 reúne toda la información de la zona bajo estudio y encierra aspectos como: Columna estratigráfica, reconstrucción de la tectónica histórica, Regímenes tectónicos y se correlaciona todos estos aspectos con los elipsoides de deformación resultantes de la aplicación de la Técnica de McCoss , es importante cruzar todas estas informaciones para llegar a las siguientes conclusiones: necesaria para entender los escenarios tectónicos los cuales fueron los responsables de la formación de estas estructuras.
- ii. Así mismo se puede apreciar claramente como se relaciona las litologías conformadas por rocas carbonatadas de origen marino y las cuales se formaron durante un adelgazamiento de la corteza terrestre dentro de nuestro territorio, este adelgazamiento obedece al evento de tipo distensivo de edad Jurásico que produjo que el mar ingrese al territorio continental y este evento culminó hace 145 ma. Aprox.
- iii. Con el inicio de la fase Inca hace 66 m.a. se originan movimientos compresivos producto de un cambio del escenario tectónico, esto fue acompañado en las Fases Quechuas de movimientos de rumbo, dextrales y sinestrales dando lugar a zonas de dilatación favorables para el emplazamiento de yacimientos minerales metálicos.
- iv. Los elipsoides que se muestran en el cuadro compósito fueron hallados analizando los fractales (estilolitas, venillas, venas etc.) usando la técnica de McCoss, el cual como se explicó antes nos permite determinar la forma del elipsoide en cada micro estación.
- v. Estos elipsoides por cada estación fueron compositados también y se analizaron por zonas de ocurrencia como lo son: Pliegues Norte, pliegues

centro, Pliegues Sur, Fallas Norte y Fallas sur respectivamente, con la finalidad de obtener patrones que nos permitieron agruparlos.

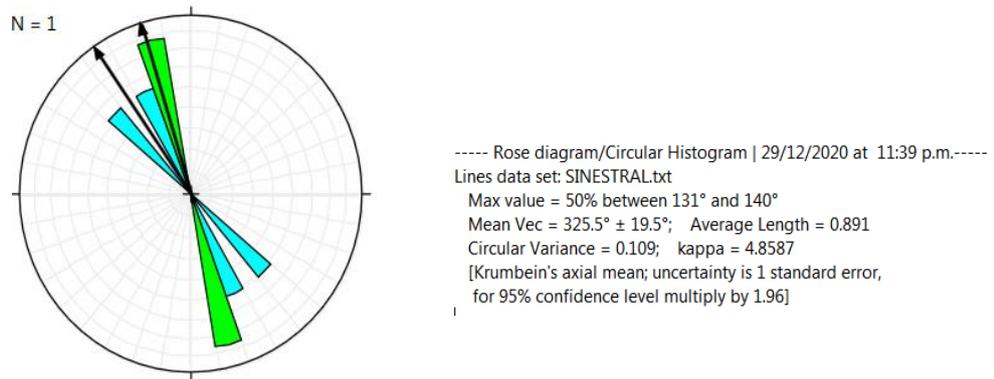
**Modelo regional de esfuerzo – Software Stereonet**

Para esto se realizó el tratamiento estadístico de las resultantes obtenidas con la Técnicas de McCoss, usando el Software Stereonet, en su función de Diagrama de Rosetas, el cual nos permite conocer la frecuencia y concentración de datos, para este caso los datos de Rumbo fueron tomados de los Azimut de las resultantes locales obtenidas y esta vez clasificado de acuerdo al Escenario Tectónico.

**Figura 32.** Integrado los cuatro escenarios (Compresivo-transpresivo, Extensivo-transtensivo, Dextral y Sinestral).

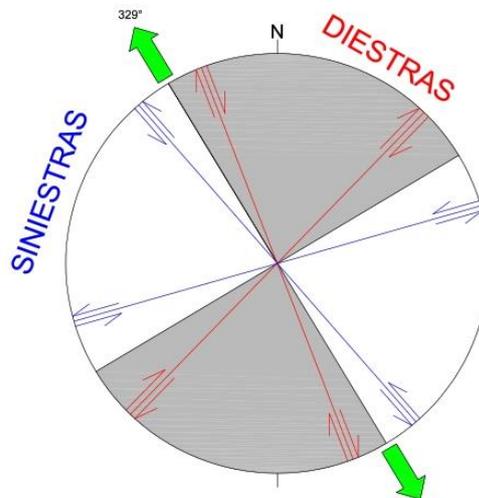


## MODELO REGIONAL DE TIPO DEXTRAL Y SINISTRAL



**Figura 33.** Esquema que muestra los esfuerzos regionales durante el proceso de plegamiento durante el Cretácico Superior. La zona de esfuerzos principales tiene 329° de Azimut.

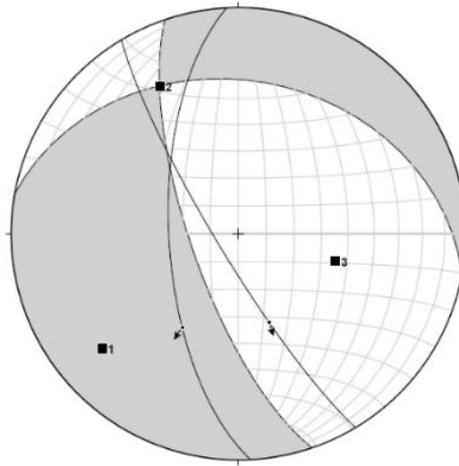
### EXTENSIÓN REGIONAL ZONA DE ESTUDIO FALLA SACRAFAMILIA



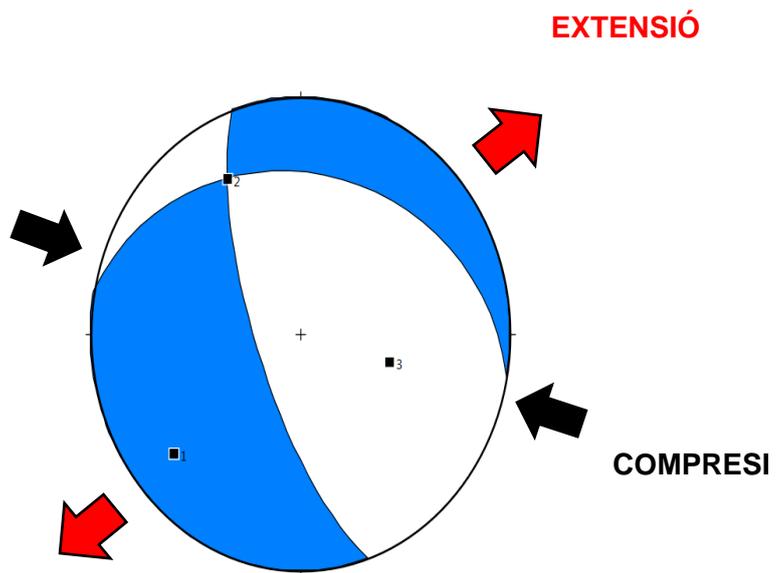
### **Análisis cinemático de la falla Sacrafamilia -Software Faultkin**

Durante el recorrido a lo largo de la falla Sacrafamilia se localizaron 2 afloramientos de escarpas de fallas, los cuales mostraron espejos de falla donde fue posible medir los indicadores cinemáticos y de esta manera poder analizar la cinemática de la falla, El rumbo promedio de la compresión para la Falla es N59°W y para la extensión N 64°E, direcciones que actuaron para la formación de la Falla Sacrafamilia. Se uso el software Faultkin.

**Figura 34.** Se realizó la proyección estereográfica de los datos de fallas tomados en campo.



**Figura 35.** Diagrama usando los diedros rectos los cuales arrojan una dirección promedio de compresión de  $131^\circ$  de Rumbo y extensión de  $244^\circ$  (N64°E).





## 4.2. Discusión de resultados

### Propuesta de la evolución tectónica de la Falla Sacrafamilia

- Según el área sombreada dentro del Cuadro compósito de la página 109., podemos observar una evolución de la paleogeografía el cual se produjo a través de 3 regímenes tectónicos importantes que comenzaron hace 237 m.a. con la formación de una cuenca de subsidencia, que provocó un sistema de fallas, de los cual forma parte la Falla de Cerro de Pasco y en conjunto con la Falla de Sacrafamilia ambas generaron un alto estructural que permitió la formación de esta cuenca marina. En esta cuenca se depositaron las rocas carbonatadas del Grupo Pucará.
- Durante esta deposición marina la corteza oceánica permitió el emplazamiento de Rocas Basálticas de Edad de Cretáceo Medio – superior, este emplazamiento es clave para respaldar la hipótesis de que la falla Sacrafamilia se creó bajo un régimen distensivo según la siguiente cita:

” Las lavas de la formación Chayllacatana son Basaltos alcalinos intracontinentales, originados por fusión parcial del manto subcontinental enriquecido. Su emplazamiento se produjo bajo un régimen tectónico distensivo y no muestra ninguna huella de subducción.” Geología del Cuadrángulo de Cerro de Pasco-Boletín N° 144-INGEMMET.
- Es decir, para reconstruir la cinemática de la falla de Sacrafamilia es necesario reconocer y comprobar todos los regímenes tectónicos, las lavas basálticas de la formación Chayllacatana así como las extensas y prominentes potencias de las calizas de ambiente marino no hacen más que afianzar este postulado.
- Sin embargo, aún existe 2 regímenes importante también que debemos abordar y es aquí donde toma protagonismo el análisis estructural en base a un arreglo caótico, basado en el uso de la técnica de McCoss que demostró

ser útil en estructuras no reactivadas y contemporáneas al evento estudiado. Toma protagonismo porque la solución que proporciona su análisis nos determina de manera rápida y clara el ambiente tectónico de cada microestación. Es así que se realizó el mapeo estructural de las fractales (venillas, venas, estilolitas) las cuales bajo el principio del escalamiento y fractalidad permitió conocer que los ambientes tectónicos que deformaron las rocas del grupo pucará, fueron afectadas por un régimen tectónico compresivo en principio de edad de Paleoceno y posterior a este se dio un tercer evento tectónico de edad Mioceno (13.8 ma.) que tuvo un componente de Rumbo Dextral, edad que coincide con el emplazamiento de otros centros volcánicos importantes tales como Cerro de Pasco y Colquijirca.

#### **Discusión de resultado**

- i. Según los postulados fue posible determinar los regímenes tectónicos que actuaron durante y después de la formación de la Falla Sacrafamilia. Estos regímenes obedecen a 3 eventos principales.

##### **1º. RÉGIMEN TECTÓNICO NORMAL – DISTENSIVO**

Evento de la Era Triásico-Jurásico, en la cual el mar ingreso al territorio peruano formando cuencas donde se formaron grandes extensiones de rocas carbonatadas, una de ellas son las rocas del Grupo Pucará.

##### **2º. RÉGIMEN TECTÓNICO INVERSO – COMPRESIVO**

Comienza en la Era Cretácico Superior cuando los mares comienzan su retirada e inmediatamente el levantamiento de la superficie continental, esto es característico de la Fase Peruana - Fase compresiva que generó plegamientos regionales, fallamientos y fracturamientos

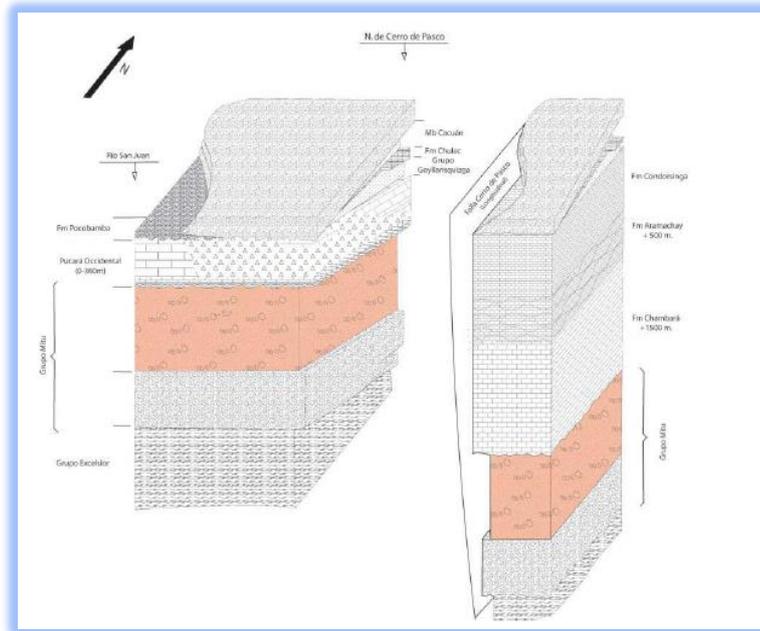
##### **3º. RÉGIMEN TECTÓNICO CON CINEMÁTICA DE RUMBO(DEXTRAL Y SINISTRAL)**

En este evento de época Mioceno, se evidencian no solo movimientos compresivos sino también de Rumbo y según información bibliográfica del tipo Dextral, ¿ambiente de relajación tectónica totalmente favorable para el emplazamiento de sistemas volcánicos con intrusivos?.

ii. Estas tres afirmaciones pueden ser corroboradas en el Boletín N°144 Serie A, Geología del Cuadrángulo de Cerro de Pasco, en el capítulo V pág.71, donde se sostiene que fueron 3 grandes eventos tectónicos. Sin embargo según los resultados obtenidos en el presente trabajo nos permite reafirmar lo siguiente:

1°. La presencia de calizas del grupo pucará se formó en el rift permo-triásico donde tuvo lugar un escenario tectónico extensivo que permitió el adelgazamiento de la corteza, lo cual el área bajo estudio que corresponde a la zona occidental del Grupo pucará en la zona de trabajo donde se puede apreciar que los sedimentos calcáreos alcanzan una potencia aproximada de 600m y en el sector oriental pueden alcanzar hasta 1500 m.

*Figura 36. División del Grupo Pucará en Cerro de Pasco: Pucará Oriental (Formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga) y Pucará Occidental (indiviso) (tomado de Ángeles, 1999), También se puede apreciar la diferencia de potencias respecto al Pucará Occidental (600m) y Oriental (1500m).*



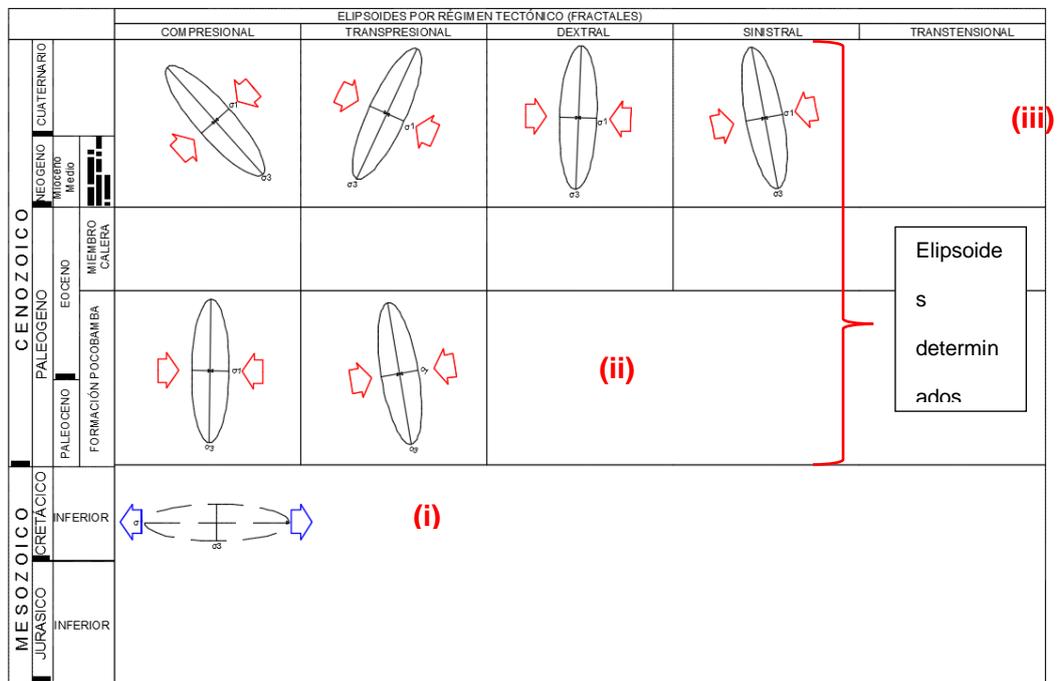
2º. Las rocas muestran estructuras fractales de rumbos variados pero todos ocurren en la caliza donde se forman estilolitas, venillas, etc., estas estructuras sirvieron según el contenido expuesto para determinar las direcciones y sentidos de los paleo esfuerzos que sufrieron estas rocas preexistentes, dando como direcciones predominantes para el Sigma 1 un Azimut de  $59^\circ$  y una dirección de  $329^\circ$  para el Sigma 3, es decir los esfuerzos principales compresivos serian NNE.

3º. Respecto a la disposición de los elipsoides deformación podemos afirmar que corresponden a los postulados del Boletín N° 144 que fueron producidos por el INGEMMET, el cual determina 2 episodios, el primero de edad Paleogeno con elipsoides muy similares de orientación N-S, sin ninguna rotación, y el segundo y evento mas reciente muestra a los elipsoides del Mioceno (23 m.a.) estos elipsoides se encuentran rotados tanto a ambos lados lo que concuerda con la afirmación de que en esta edad se dieron movimientos de rumbo, como se ve en la siguiente figura.

Por lo tanto: (i) Elipsoide referencial durante el Cretácico inferior (este elipsoide no es resultado del trabajo de análisis estructural) (ii) Elipsoides resultantes del análisis estructural de deformación del periodo Paleógeno

netamente compresivos, podemos apreciar que los sigmas 1 son predominantemente E-W (iii) Hacia el Neógeno se ve una ligera rotación del elipsoide de deformación hacia el Oeste, con seguridad se puede afirmar en base a los resultados que esta rotación corresponde a los movimientos dextrales y sinestrales, esto se confirma con las diferentes fuentes (boletín N°144-INGEMMET), que indican que en este periodo tardío se emplazaron los diferentes yacimientos mineros aprovechando el ambiente tectónico de movimientos laterales o de rumbo, tales como los yacimientos mineros de Colquijirca y Cerro de Pasco.

**Figura 37. (i) Elipsoide referencial durante el Cretácico inferior**



## CONCLUSIONES

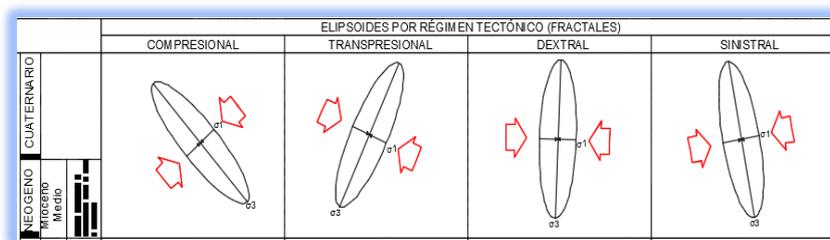
1. Como base para aplicación de la Técnica de McCoss se elaboró un plano geológico compósito de planos previos el cual estuvo a escala 1/20 000 el y ofreció una plataforma confiable ya que sirvió para corroborar en campo las informaciones de los planos preexistentes de diferentes autores y ajustando o corrigiendo las informaciones para que de esta manera nuestro plano geológico base sea confiable para la siguiente etapa de trabajo.

Con el mapeo geológico realizado se obtuvo las mediciones correspondientes a lo que según la geomorfología y según a las evidencias de fallamiento cerca al río San Juan, se puede afirmar que en el lugar de estudio ocurre una falla del tipo inversa con movimientos laterales (dextrales y sinestrales) de Azimuth aproximado de  $355^\circ$  (N-S aproximadamente y un ángulo de buzamiento de  $64^\circ$  en promedio, el cual estaría inclinado hacia el Este , conformando así una falla de tipo, con componentes de rumbo.

2. El análisis de los componentes cinemáticos de produjeron la FALLA SACRAFAMILIA, se realizaron en base a los datos obtenidos en campo los cuales mediante los gráficos presentados nos arroja estos resultados pero expresados en elipsoides de deformación y que se puede interpretar de la siguiente manera:
  - a. Durante el período del paleógeno y con el inicio de la formación Pocobamba, ocurrió un cambio en el ambiente tectónico controlado probablemente por movimientos cíclicos en el manto exterior de la tierra, el cual dió como resultado la formación de grandes fallas inversas como la que es la Falla de Sacrafamilia, esto se ve plasmado en los elipsoides de deformación, los cuales tienen una orientación casi Norte sur con una leve inclinación hacia el Oeste, la mayoría de fractales estudiados y clasificados para este evento tectónico muestran un ambiente compresional y en menor medida transtensional.

- b. El segundo evento tectónico que fue posible evidenciar ocurrió en el periodo neógeno, periodo caracterizado por eventos volcánicos e intrusivos, los cuales solo fueron posibles con la ocurrencia de zonas de baja presión explicadas en los elipsoides de deformación mostrados, los cuales a diferencia del primer evento muestran una rotación en ambos sentidos Este y Oeste, esto se puede interpretar como una familia de fractales las cuales se formaron en ambientes transtensionales con componentes de rumbo (Dextrales y Sinestrales). Ver figura 44.

**Figura 38.** Segundo evento tectónico evidenciado con elipsoides.



3. Respecto a la reconstrucción histórica de este importante rasgo estructural podemos decir que La Falla de Sacrafamilia fue posible demostrar que tuvo 3 regímenes tectónicos que actuaron para su formación. **1°** Evento distensivo en el Pérmico superior - Jurásico Inferior el cual se prolongó hasta el Cretácico Inferior, **2°** Evento compresivo que tuvo lugar en el Cretácico Superior y **3°** movimiento compresivo con componente de Rumbo del Mioceno, cada uno de estos eventos fueron evidenciados. El primer evento fue obtenido evidenciando la ocurrencia de basaltos de la formación Chayllacatana que afloran como lavas basálticas vesiculares, en la carretera Cerro de Pasco-Huariaca, al norte de Chicrin (vista tomada al este). El segundo evento fue evidenciado por los resultado arrojado haciendo uso de la técnica de McCoss a través de los elipsoides de deformación lo cuales muestran una orientación de los sigmas de orientación E-W para el cretácico inferior que fue donde las calizas ya estaban formadas y albergaron evidencias del ambiente tectónico compresivo por la cual fueron deformadas. Durante el ciclo

andino y en pleno apogeo esta invasión del mar se hizo mucho más evidente y fue propicio para la formación de grandes cuencas de relleno de sedimentos de origen marino en todo el territorio peruano, prueba de ello son las imponentes secuencias calcáreas como el grupo pucará, que se formaron en el rift permo-triásico, a fines del jurásico la faja andina queda dividida en dos cuencas tectónicas por geoanticlinal marañón (cordillera oriental) en cuenca occidental (Chimú, Santa, Carhuaz).

Consecuentemente se produjo la fase Peruana e Inca las cuales se caracterizan por ser fuertemente compresivas generando plegamientos, fallas inversas, grandes cabalgamiento que afectaron precisamente a las rocas depositadas ahora calizas, evidencia de esto son las innumerables estructuras plegadas que se tiene en el área de estudio. Hacia las fases tectónicas Quechua I y Quechua II continúan los movimientos compresionales, pero ahora con componentes de rumbo, las cuales forman zonas de baja presión.

4. Por el último y más importante para la generación de yacimientos minerales económicos es el tercer evento que es híbrido entre compresivo y con componente de rumbo el cual permite generar zonas de relajación por lo tanto de menor presión por donde lo fluidos mineralizantes recorrieron las diferentes estructuras como la falla cerro de Pasco paralela a la Falla Sacrafamilia estructura materia del presente estudio, este evento también fue posible evidenciar a través de la orientación del elipsoide de deformación el cual muestra respecto al elipsoide del evento segundo, una ligera rotación de 30° a 40° hacia ambos lados, esto resultado es apoyado por otra metodología que es a través del experimento de Riedel, que por cómo se vio a nivel macro las fallas secundarias muestran un movimiento Sinestral de la falla de Sacrafamilia.

## **RECOMENDACIONES**

- Tomar muestras de los espejos de falla, con el fin de obtener secciones delgadas que permitan identificar en micro el o los posibles movimientos que hayan tenido estas estructuras.
- Realizar secciones delgadas, de los espejos de falla ya que esto permite conocer a detalle todos los eventos cinemáticos de la falla y lo que permitirá hacer una especie de cuadro paragenético de los eventos. Lo cual nos permitiría confirmar aún más nuestras hipótesis.
- Extraer muestras de la falla para apreciar en micro el tipo de indicadores, método que podría facilitar también hacer una datación para ubicar la edad absoluta de la Falla de San Juan.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angus McCoss,(1986). *Simple Construction for deformation in transpresión/transtension zones. Journal of structural Geology, Vol 8.No 6. pp 715 to 718.1986.*
- Carlos Fernandez, Manuel Díaz Azpiroz, Juan Díaz Alvarado (2013) Las zonas de cizalla dúctil como recurso didáctico para entender la deformación de las rocas. El ejemplo de la zona de cizalla Sudibérica (Macizo Ibérico suroccidental). Huelva-España.
- Cobeñas Benites G.R(2008). Cinturones metalogénicos cenozoicos en Pasco y Huánuco: tipos de yacimientos y naturaleza geoquímica de los magmas asociados. Lima-Perú
- Comisión Estratigráfica Internacional.,(2021), Tabla cronoestratigráfica internacional V2021.
- Dávila Burga J., (2011).Diccionario geológico. INGEMMET-Rildo Rodrigúa.
- Donal M. Ragan (1986)Geología Estructural: Introducción a Las Técnicas Geométricas.
- Gummel Martinez P.(1996). Fractales, su importancia en Geología. Simulación de Patrones Fractales Naturales. GEOGACETA 20,(6). 1996
- Hochschild Mining,(2008). Análisis Estructural en la Exploración Minera
- INGEMMET,(1995). Bol. N°55 Serie A: Carta Geológica Nacional. Lima-Perú.
- INGEMMET,(2011). Bol. N° 144 – Serie A.Carta Geológica Nacional. Lima-Perú.
- Jonathan Guerrero Escobar (2014) Modelación fractal de yacimientos fracturados naturalmente. México
- K.R. McClay,(1987). The Mapping of Geological Structures. Universidad de Londres. Inglaterra
- Luis Ayala,Aplicaciones De Los Indicadores Cinemáticos En Geología Regional Y Exploración (2018). Lima-Perú
- Mamani Condori, José Alberto (2013) Fractales y su implicancia en geología. Lima-Perú.
- Marco T. Einaudi (1977) Enviromment of Ore Deposition at Cerro De Pasco, Perú. Standford, California, EE.UU.
- Martinez Mendoza J.A. Perspectivas de nuevos depósitos con base en un arreglo estructural caótico en el Distrito de Guanajuato.Compañía Minera Las Torres, S.A. de C.V.Guanajuato – Mexico.
- Miles I. Silberian ,Donald c. Noble (1977) Age of Igneous Activity and Mineralization, , Central Peru, Tecnological University Houghton, Michigan, EE.UU

Regina Baumgartner, Luís Fontboté (2008) Mineral Zoning and Geochemistry of Epithermal Polymetallic Zn-Pb-Ag-Cu-Bi Mineralization at Cerro de Pasco, Peru. Lima-Perú

Ronner BendeZú and Lluís Fontboté,(2009), Cordilleran Epithermal Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) Mineralization in the Colquijirca District, Central Peru: Deposit-Scale Mineralogical Patterns. Lima-Perú

Silvia Rosas A, Luis Fontbote, Anthony Tankard (2006) Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucara´ Basin, central Peru. Lima-Perú.

Víctor Carlotto, Rildo Rodríguez, José Cárdenas, Etienne Jaillard, (2009)Alto estructural Totos-Paras (Ayacucho) : Límite Paleogeográfico en la Evolución Mesozoica de las Cuencas Pucara (Triasico Superior-Liásico) y Arequipa (Jurásico - Cretácico). Lima-Perú

# **ANEXOS**

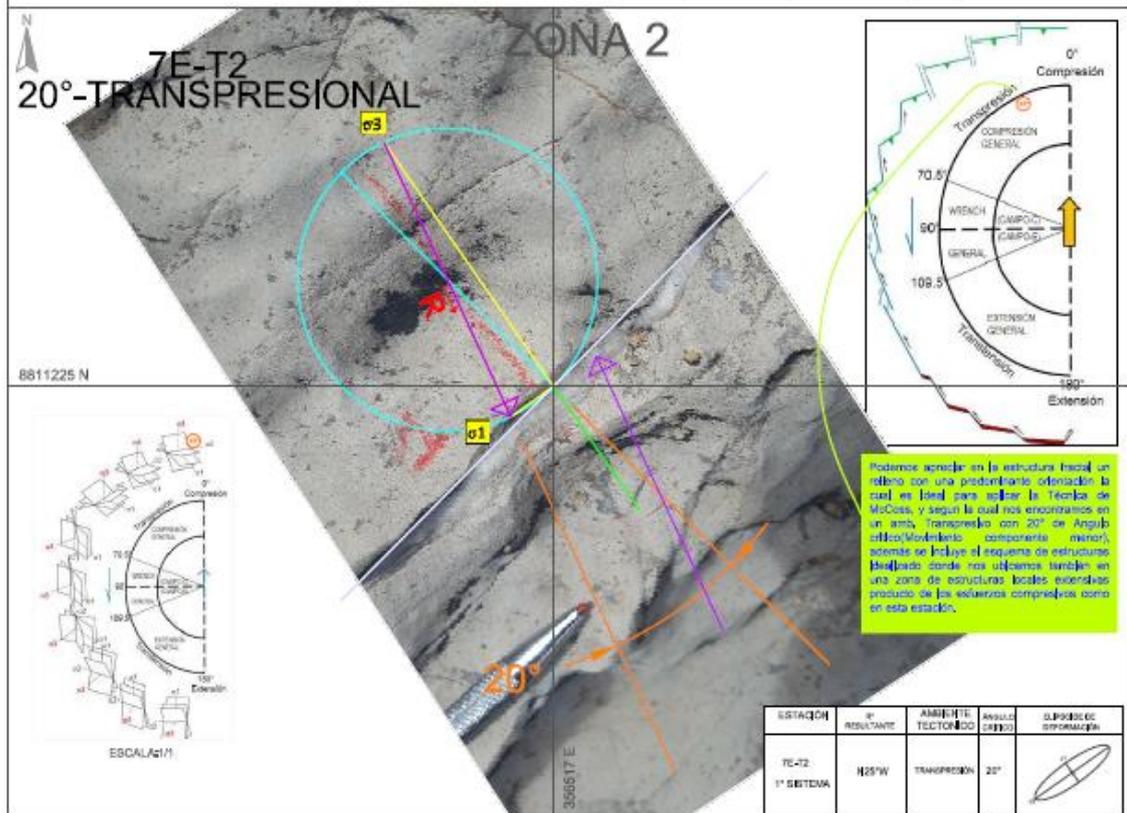
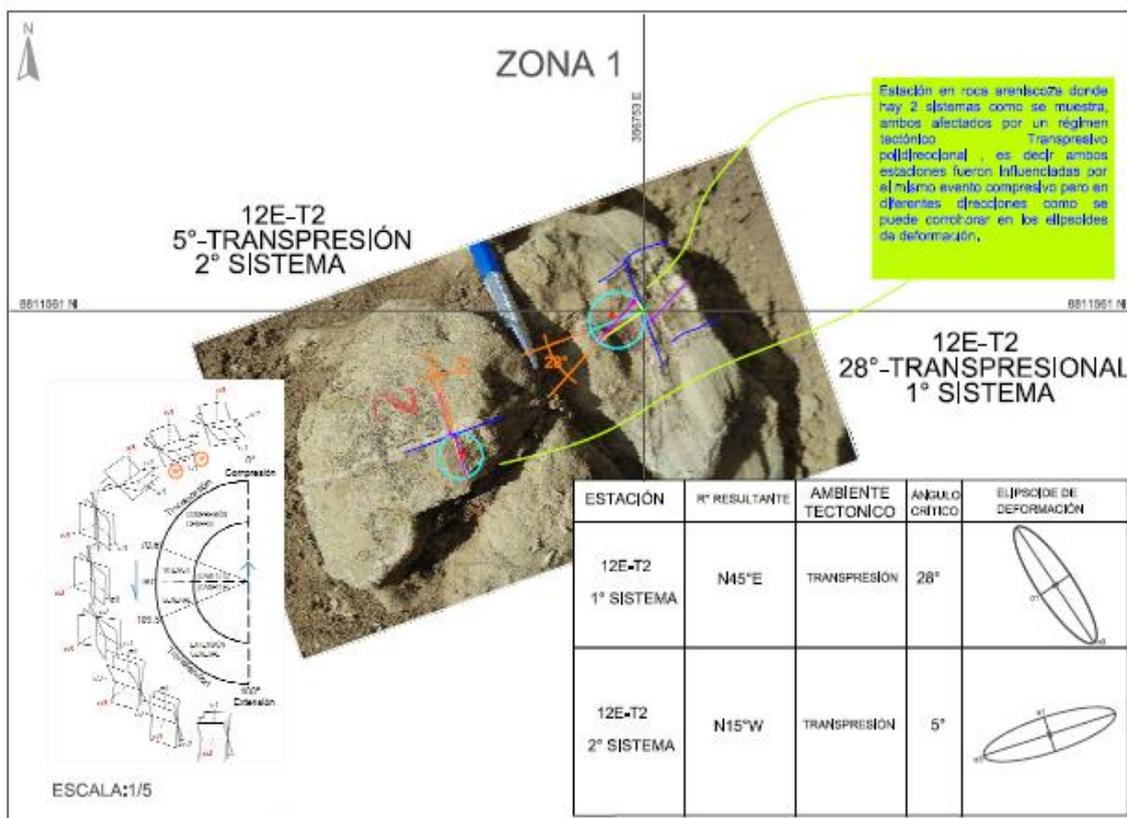
# ANEXO 01

OREN	TRAVER	ESTACION	ZONA	METODO	TIPO DE MAPO	ESTE	NORTE	COT A	ZANMUT	DIR. AZ	BUZAMIENTO	SISTEMA	AZIMUTH	AZ. RE	ANG CRITICO	ZANMUT VECTOR	TC	ANAL. TECTO	DESCRIPCION	FOTOGRAFIA 1	FOTOGRAFIA 2
1	1	1			GEOLOGICO	356648.972	8809299.15	4172											SE APRECIA UNA ESCARPA DE FALLA DE APROX DE 4M DE ALTURA. PRESENTA MATERIAL DETRITICO SEDIMENTADO POR MATRIZ ARCILLOSA BEIGE. SE OBSERVAN INDICADORES DE MOVIMIENTO EN FORMA DE ESCALONES, SEGUN LOS CUALES EL BLOQUE IZQUIERDO DESCENDE. ANCHURA UTILIZADA CON FRAGMENTOS DE CEMENTOS MONOMICTICOS. CUYOS COMPONENTES ANGULOSOS A SUP. ANGULOS Y MATRIZ ARCILLOSA.	F. SALIDA 230917X0170923_092705JF	F. SALIDA 230917X0170923_092705JF
2	1	2			GEOLOGICO	356636.972	8809254.15	4173	351	83	83								ESCARPA DE FALLA PRESENTE DE ARRAZOS COMO INDICADORES DE MOVIMIENTO. DE 56. DBZ 5. SON LOS DATOS QUE PROPORCIONA LOS INDICADORES DE MOVIMIENTO. SE PUEDE REDUCIR QUE EL BLOQUE IZQUIERDO DESCENDE Y EL DERECHO ASCIENDE.	F. SALIDA 230917X0170923_100435JF	F. SALIDA 230917X0170923_100435JF
3	1	2			GEOLOGICO	356636.972	8809254.15	4173	177	92	65								FRACCIÓN DE 0.10 mm CON APERTURA DE 0.02-0.03mm CON RELLENO DE CALCITA.	F. SALIDA 230917X0170923_100435JF	F. SALIDA 230917X0170923_100435JF
4	1	3	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356588.972	8809278.15	4213					SISTEMA 1	332	56	28	N 70° E	56	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
5	1	4	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356600.972	880915.14	4213					SISTEMA 1	62	149	6	N 34° W	59	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
6	1	5	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356576.972	880954.14	4194	2				SISTEMA 1	210	126	12	N 48° W	126	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
7	1	5	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356576.972	880954.14	4194					SISTEMA 2	21	148	74	N 5° E	148	C2	SINISTRAL	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
8	1	6	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356587.972	880906.14	4186	163	233	69		SISTEMA 1	38	118	20	N 72° W	118	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
9	1	7	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356587.972	880906.14	4186	163	233	69		SISTEMA 1	38	118	20	N 72° W	118	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
10	1	8	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356596.972	880909.14	4190	17	105	55		SISTEMA 1	35	145	40	N 5° E	145	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
11	1	9	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356605.972	880932.14	4197	341	235	44		SISTEMA 2	341	60	18	N 87° E	60	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
12	1	10	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356703.972	880932.14	4212	12	100	40		SISTEMA 1	205	168	116	N 45° E	168	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
13	1	11	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356703.972	880932.14	4212	12	100	40		SISTEMA 1	205	168	116	N 45° E	168	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
14	1	6	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	356572.972	880901.14	4190					SISTEMA 1	35	145	40	N 5° E	145	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
15	1	11	ZONA 5 B	ESTRUCTURAL	356710.972	880932.14	4212					SISTEMA 1	205	168	116	N 45° E	168	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF	F. SALIDA 230917X0170923_113219JF
16	1	12	ZONA 4 B	ESTRUCTURAL	356937.966	8809949.13	4305					SISTEMA 1	261	345	12	N 21° W	105	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF
17	1	13			GEOLOGICO	356950.966	8810027.13	4309	176	250	85								ALICORNIO DE ESTRATO QUIRINES SE APRECIA SU ORIENTACION RESPECTO A LA ZONA GRUPE DE LA FALLA SACRAMENTINA, AL FONDO DONDE INTRUSIVO	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF
18	1	14			GEOLOGICO	357052.965	8809897.13	4315											CONTACTO LITOLOGICO ENTRE FORMACION CASAPALCA Y EL GRUPO PUCARA	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF
19	1	12	ZONA 4 B	ESTRUCTURAL	356937.966	8809949.13	4305					SISTEMA 2	335	215	20	N 25° E	35	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF
20	1	13	ZONA 4 B	ESTRUCTURAL	356937.966	8809949.13	4305					SISTEMA 1	2	202	10	N 72° E	92	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF
21	1	16	ZONA 4 B	ESTRUCTURAL	357145.963	8809939.13	4304	175	255	47		SISTEMA 1	138	220	16	N 32° E	40	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF
22	1	17	ZONA 4 B	ESTRUCTURAL	357234.963	8809634.14	4307	235	59			SISTEMA 1	138	220	16	N 32° E	40	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF	F. SALIDA 230917X0170923_140293JF
23	2	1			GEOLOGICO	356480.937	8811192.12	4168	135	40	75								FRACCIÓN DE 0.05 mm DE POTENCIA CON RELLENO DE CALCITA SE OBSERVA UN SISTEMA DE VENILLAS DE CALCITA DECIMÉTRICAS CON APERTURA DE 0.5 CM	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
24	2	2			ESTRUCTURAL	356480.937	8811192.12	4179				SISTEMA 2	213	140	34	N 23° W	140	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
25	2	2	ZONA 3 B	ESTRUCTURAL	356480.937	8811192.12	4179					SISTEMA 3	178	262	12	N 76° E	82	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
26	2	2	ZONA 3 B	ESTRUCTURAL	356480.937	8811192.12	4179					SISTEMA 3	178	262	12	N 76° E	82	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
27	2	2	ZONA 3 B	ESTRUCTURAL	356480.937	8811192.12	4179					SISTEMA 4	178	172	168	N 76° E	82	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
28	2	2	ZONA 3 B	ESTRUCTURAL	356480.937	8811192.12	4179					SISTEMA 4	178	172	168	N 76° E	82	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
29	2	6			GEOLOGICO	356480.937	8811192.12	4179	317	40	70								FRACCIÓN DE 0.08 mm DE POTENCIA CON RELLENO DE CALCITA CON RELLENO DE CALCITA. LOS HOMBROS TIENEN UN COMPORTAMIENTO FRÁGIL DUCTIL CON EL SISTEMA 3	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
30	2	7	ZONA 2 B	ESTRUCTURAL	356516.97	8811225.12	4187					SISTEMA 1	225	145	10	N 23° W	134	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
31	2	8			GEOLOGICO	356520.97	8811243.12	4181	231	322	53								APRECIA UN PLANO CON LENTES ESCALONADO DE CALCITA EN CUYAS GRABACIONES SE EMBENCAN TAMBIEN ESTRIAS MILIMÉTRICAS A CENTIMÉTRICAS SOLDADOS POR MATRIZ FINA CLARA.	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
32	2	9			GEOLOGICO	356680.967	8811462.11	4182											SE OBSERVA Y REGISTRAN EL RUMBO Y BUZAMIENTO DE MANERA CLARA EN LOS ESTRATOS LOS CUALES MUESTRAN PERSISTENCIAS DE CIENTOS DE METROS	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
33	2	10			GEOLOGICO	356705.967	8811486.11	4174	326	54	29								PARALELO AL RUMBO DE LA ESTRUCTURA	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
34	2	11			GEOLOGICO	356719.967	8811504.11	4178	210	295	6								PARALELO AL RUMBO DE LA ESTRUCTURA	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
35	2	12	ZONA 1 B	ESTRUCTURAL	356752.966	8811564.11	4189					SISTEMA 1	160	56	28	N 45° E	56	C1	TRANSPRESION	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
36	2	12	ZONA 1 B	ESTRUCTURAL	356752.966	8811564.11	4189					SISTEMA 2	290	18	5	N 15° W	102	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
37	2	12	ZONA 1 B	ESTRUCTURAL	356752.966	8811564.11	4189					SISTEMA 2	290	18	5	N 15° W	102	C2	TRANSPRESION	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
38	2	15			GEOLOGICO	356912.964	8811636.11	4188	336	72	62								ROCA ROJIZA DE TEXTURA ARENISCOSA PRESENTA ABUNDANTE VENILLO (GOYLLARISQUIZO) A DECIMÉTRICAS CLASTOS DE CUARZO, CHERT, CONGLERADO POLIMICTICO CON CLASTOS REDONDEADOS ANGULOSOS MILIMÉTRICOS A DECIMÉTRICOS CLASTOS DE CUARZO, CHERT, CALIZA	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
39	2	16			GEOLOGICO	357074.962	8811512.11	4193											CONTACTO LITOLOGICO ENTRE GRUPO MITU Y PUCARA	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
40	2	17			GEOLOGICO	357148.961	8811870.11	4204											CONTACTO LITOLOGICO ENTRE GRUPO MITU Y PUCARA	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
41	2	18			GEOLOGICO	357040.962	8812091.11	4196											CONTACTO LITOLOGICO ENTRE GRUPO MITU Y PUCARA	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
42	2	19			GEOLOGICO	357006.959	8814559.07	4207	279	1	36								CALIZAS DEL PUCARA TONOS GRIS CLAROS LAS SECUENCIAS TIENEN PERSISTENCIA EN CIENTOS DE METROS.	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
43	2	20			GEOLOGICO	357220.956	8814816.07	4206	302	30	60								CALIZAS DEL PUCARA TONOS GRIS CLAROS LAS SECUENCIAS TIENEN PERSISTENCIA EN CIENTOS DE METROS.	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
44	2	21			GEOLOGICO	357220.956	8814816.07	4206	302	30	60								CALIZAS DEL PUCARA TONOS GRIS CLAROS LAS SECUENCIAS TIENEN PERSISTENCIA EN CIENTOS DE METROS.	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
45	3	1	ZONA 3 B	ESTRUCTURAL	357085.966	8808478.13	4184					SISTEMA 1	371	120	78	N 21° W	120	C1	SINISTRAL	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
46	3	2			GEOLOGICO	357105.965	8808815.15	4337											ANGULOSOS DE TAMAÑO DECIMÉTRICO - MATRIZ DE COLOR BEGE CLARO.	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
47	3	3			GEOLOGICO	357105.965	8808815.15	4337											FRACCIÓN DE 0.05CM DE POTENCIA CON RELLENO DE CALCITA SE OBSERVA UN SISTEMA DE VENILLAS DE CALCITA DECIMÉTRICAS CON APERTURA DE 0.5 CM	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF	F. SALIDA 301017X0170930_084152JF
48	3	3			GEOLOGICO	357203.957	8808255.15	4307		</											

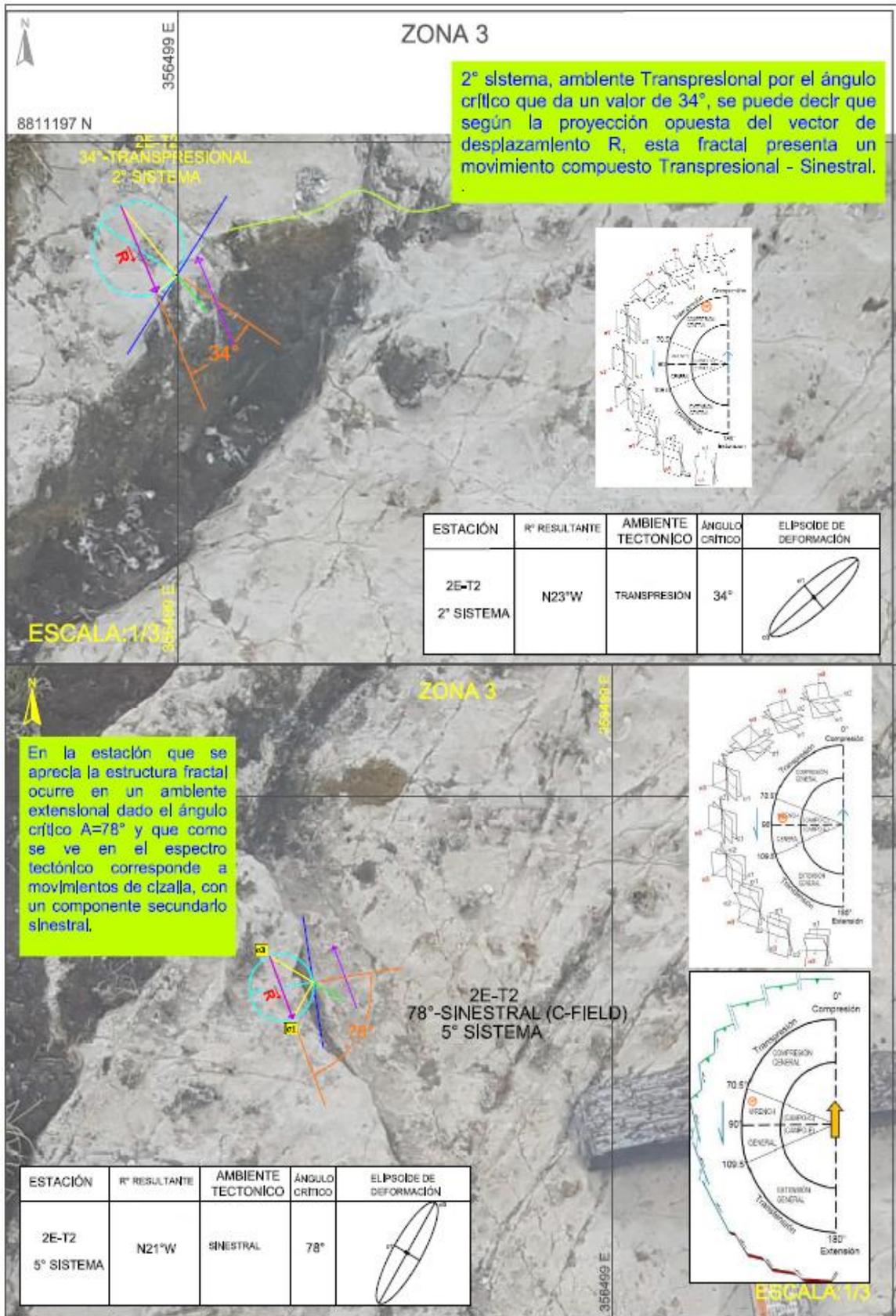
# ANEXO 02

ORDEN	TRAYECTORIA	ZONA	METODO	EST	NORTE	COT	AMPL	DIREZ	BRAZAMIENTO	SISTEMA	AMPL	ANG	AZIMUT	TR	DESCRIPCION	FOTOGRAFIA 1	FOTOGRAFIA 2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
68	4	1	A	ESTRUCTURAL	35655E	888926	4170			SISTEMA 1	90	106	148	N32°E	SE AEREA UNA VENTILADA DE CALCITA CON EL AZMUT DEL RELLENO FIBROSO INDICADO EN EL CUADRO CUENTA CON RELLENO FIBROSO PARA ESTE PRACTAL SE USA EL METODO A				
69	4	5	ZONA 6 A	ESTRUCTURAL	35656E	888923	4175			SISTEMA 1	146	0		56	C1	COMPRISIONAL			
70	4	6	ZONA 6 B	ESTRUCTURAL	35656E	888921	4171			SISTEMA 2	60	54	168	N42°W	FRANGULOS PARA HALAR EL ANGLULO CHERTO				
71	5	1	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35697E	881032	4234	1	90	51					SE AEREA LA PERSISTENCIA DEL AZMUT BUZAMIENTO DEL LOS ESTRATO EN 1 Km APROX HACIA EL SUR	5° SALIDA 071117/20171107_105015E			
72	5	3	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35723E	881030	4209	39	66	90					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
73	5	4	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35723E	881030	4209	39	66	90					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
74	5	5	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35722E	881013	4305	192	270	54					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
75	5	4	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35726E	881010	4303	382	50	80					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
76	5	6	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35734E	881008	4308	200	292	53					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
77	5	7	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35734E	881008	4308	200	292	53					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
78	5	8	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35747E	880964	4292	0	90	63					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
79	5	9	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35759E	881003	4282	195	285	18					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
80	5	10	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35754E	880990	4273	170	260	44					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
81	5	11	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35760E	880988	4270	165	255	40					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
82	5	12	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35760E	880988	4270	165	255	40					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
83	5	13	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35781E	880984	4317	187	270	10					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
84	5	14	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35772E	8809910	4315								ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
85	5	15	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35780E	881022	4297	187	278	58					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
86	5	16	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35788E	881038	4282	180	270	67					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
87	5	17	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35788E	881038	4282	180	270	67					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
88	5	18	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35768E	8810091	4261	172	82	79					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
89	5	19	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35768E	8810211	4266	296	26	67					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
90	5	20	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35768E	881032	4256	2	80	68					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
91	5	21	ZONA 6 A	GEOLOGICO	357810	8810375	4269	187	274	47					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
92	5	22	ZONA 6 A	GEOLOGICO	357481	8810404	4276	4	91	88					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
93	5	23	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35747E	8810562	4264	211	300	50					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
94	5	24	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35747E	8810562	4264	211	300	50					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
95	5	25	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35724E	8810640	4262	209	273	72					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
96	5	27	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35717E	8810634	4301	350	84	58					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
97	5	28	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35706E	8810690	4624	10	100	67					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
98	5	29	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35706E	8810690	4624	10	100	67					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
99	5	30	ZONA 6 A	GEOLOGICO	356790	8811386	4228	150	60	46					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
100	5	31	ZONA 6 A	GEOLOGICO	356790	8811386	4228	150	60	46					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
101	5	32	ZONA 6 A	GEOLOGICO	356770	8811591	4192	325	55	70					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
102	5	33	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35753E	8810351	4235								ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
103	5	34	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35753E	8810351	4235								ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
104	5	35	ZONA 6 A	GEOLOGICO	356953E	8810770	4343	0	90	60					ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
105	5	36	ZONA 6 A	GEOLOGICO	35664E	8810101	4257								ALORAMIENTO DE ROCAS CALCARIAS DE COLOR CLARO CON NODULO DE CHERT				
106	5	37	ZONA 4 A	ESTRUCTURAL	357503	8810211	4266			SISTEMA 1	291	0	21	C2	COMPRISIONAL	NUMEROS ARRUGAS CON RUMBO PARALELO AL MEDIDO	5° SALIDA 071117/20171107_146824E		
107	5	38	ZONA 4 A	ESTRUCTURAL	357503	8810211	4266			SISTEMA 1	290	0	20	C2	COMPRISIONAL	NUMEROS ARRUGAS PARALELAS EN DIRECCION DEL AZMUT MEDIDO	5° SALIDA 071117/20171107_143419E		
108	5	38	ZONA 4 A	ESTRUCTURAL	357510	8810375	4269			SISTEMA 1	99	198	26	N31°E	21	C2	TRANSPIERSONAL	ESTRUCTURAS DONDE SE PUEDE APLICAR LA TECNICA DE MACOS, POR LA PRESENCIA DE RELLENO FIBROSO	5° SALIDA 071117/20171107_144925E
109	5	39	ZONA 4 A	ESTRUCTURAL	357460	8810523	4268			SISTEMA 1	99	198	26	N31°E	21	C2	TRANSPIERSONAL	ESTRUCTURAS DONDE SE PUEDE APLICAR LA TECNICA DE MACOS, POR LA PRESENCIA DE RELLENO FIBROSO	5° SALIDA 071117/20171107_144925E
110	6	1	ZONA 9 A	GEOLOGICO	357410	8815077	4220	320	50	73					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.				
111	6	2	ZONA 9 A	GEOLOGICO	357420	8815078	4220	320	50	73					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.				
112	6	3	ZONA 9 A	GEOLOGICO	35727E	8814728	4260	182	248	29					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.				
113	6	4	ZONA 9 A	GEOLOGICO	357843	8814741	4265	152	240	71					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.				
114	6	5	ZONA 9 A	GEOLOGICO	357886	8814844	4240								CALIZA BEIGE CON NODULOS CENTIMETRICOS DE CHERT O SILICE				
115	6	6	ZONA 9 A	GEOLOGICO	358089	8814460	4250	344	241	87					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.				
116	6	7	ZONA 9 A	GEOLOGICO	358070	8814458	4251	351	59	84					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON ROCAS CONGLOMERADAS ROJAS EN LA PARTE INFERIOR Y SECUENCIAS CALCARIAS EN LA PARTE SUPERIOR DE LA FOTOGRAFIA	6° SALIDA 291117/20171125_109730E			
117	6	8	ZONA 9 B	ESTRUCTURAL	358150	8814301	4248			SISTEMA 1	340	68	4	N66E	48	C1	TRANSPIERSONAL	FRAGATA DE 1CM. CON RELLENO FIBROSO DE SILICE BEIGE EN ROCA CALIZA CLARA	6° SALIDA 291117/20171125_113454E
118	6	9	ZONA 9 B	ESTRUCTURAL	358048	8814210	4273	178	270	51					ESTRATO CON AZMUT INDICADO PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_120826E			
119	6	10	ZONA 9 B	ESTRUCTURAL	357970	8814207	4271	178	270	51					ESTRATO CON AZMUT INDICADO PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_120826E			
120	6	11	ZONA 9 B	ESTRUCTURAL	357820	8814507	4321	268	344	48					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_122844E			
121	6	12	ZONA 9 B	ESTRUCTURAL	357604	8814317	4300	351	234	65					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_124637E			
122	6	13	ZONA 9 B	ESTRUCTURAL	357452	8814264	4315	300	40	70					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_124637E			
123	6	14	ZONA 9 B	ESTRUCTURAL	357347	8813918	4278	155	260	25					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_124637E			
124	6	15	ZONA 9 B	ESTRUCTURAL	357297	8813918	4278	155	260	25					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_124637E			
125	6	16	ZONA 9 B	ESTRUCTURAL	357651	8813955	4345	305	25	64					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_140939E			
126	6	17	ZONA 9 A	GEOLOGICO	357339	8813916	4381	163	252	76					PAQUETE METRICO DE ROCA CALCARIA DONDE SE PUEDE APLICAR UNA DE FORMACION EN LA PARTE INFERIOR DEL AFLORAMIENTO.	6° SALIDA 291117/20171125_140939E			
127	6	18	ZONA 9 A	ESTRUCTURAL	358150	8814301	4248			SISTEMA 2	62	90	17	C2	SINISTRAL	FRAGATA MOSTRANDO EL DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA 1 EN LA MISMA ESTACION INDICADA	6° SALIDA 291117/20171125_140939E		
128	6	19	ZONA 9 A	ESTRUCTURAL	358150	8814301	4248			SISTEMA 2	62	90	17	C2	SINISTRAL	FRAGATA MOSTRANDO EL DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA 1 EN LA MISMA ESTACION INDICADA	6° SALIDA 291117/20171125_140939E		
129	6	20	ZONA 9 A	ESTRUCTURAL	357394	8814233	4328	280	16	46					SISTEMA DE ESTILO TALLAS CON ESPORADICO RELLENO DE CALCITA	6° SALIDA 291117/20171125_140939E			
130	6	21	ZONA 9 A	ESTRUCTURAL	357371	8814269	4322	283	30	71					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_140939E			
131	6	22	ZONA 9 A	ESTRUCTURAL	357251	8814357	4295	286	29	70					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_140939E			
132	6	23	ZONA 9 A	ESTRUCTURAL	357536	8814435	4296	301	47	78					PROBABLE EFE DE PLEGUE UBICADO EN EL VALLE ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_152026E			
133	6	24	ZONA 9 A	ESTRUCTURAL	357928	8814053	4264	330	317	37					ESTRATO COLOR BLANQUECINO CON TEXTURA CLASTICA EN PAQUETES DE ORIENTACION PERISTENTE EN DECENAS DE METROS.	6° SALIDA 291117/20171125_155029E			
134																			

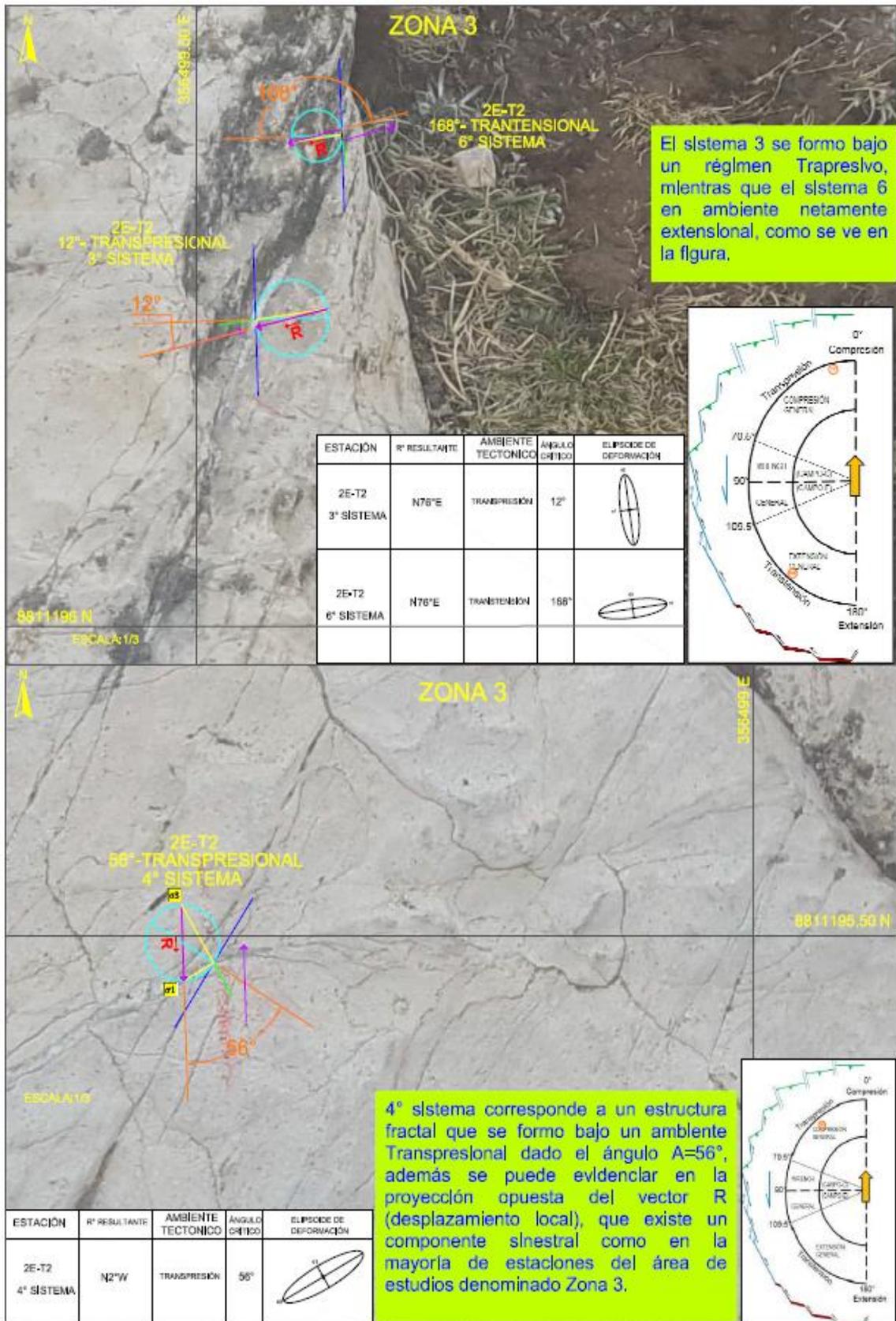
# ANEXO 03



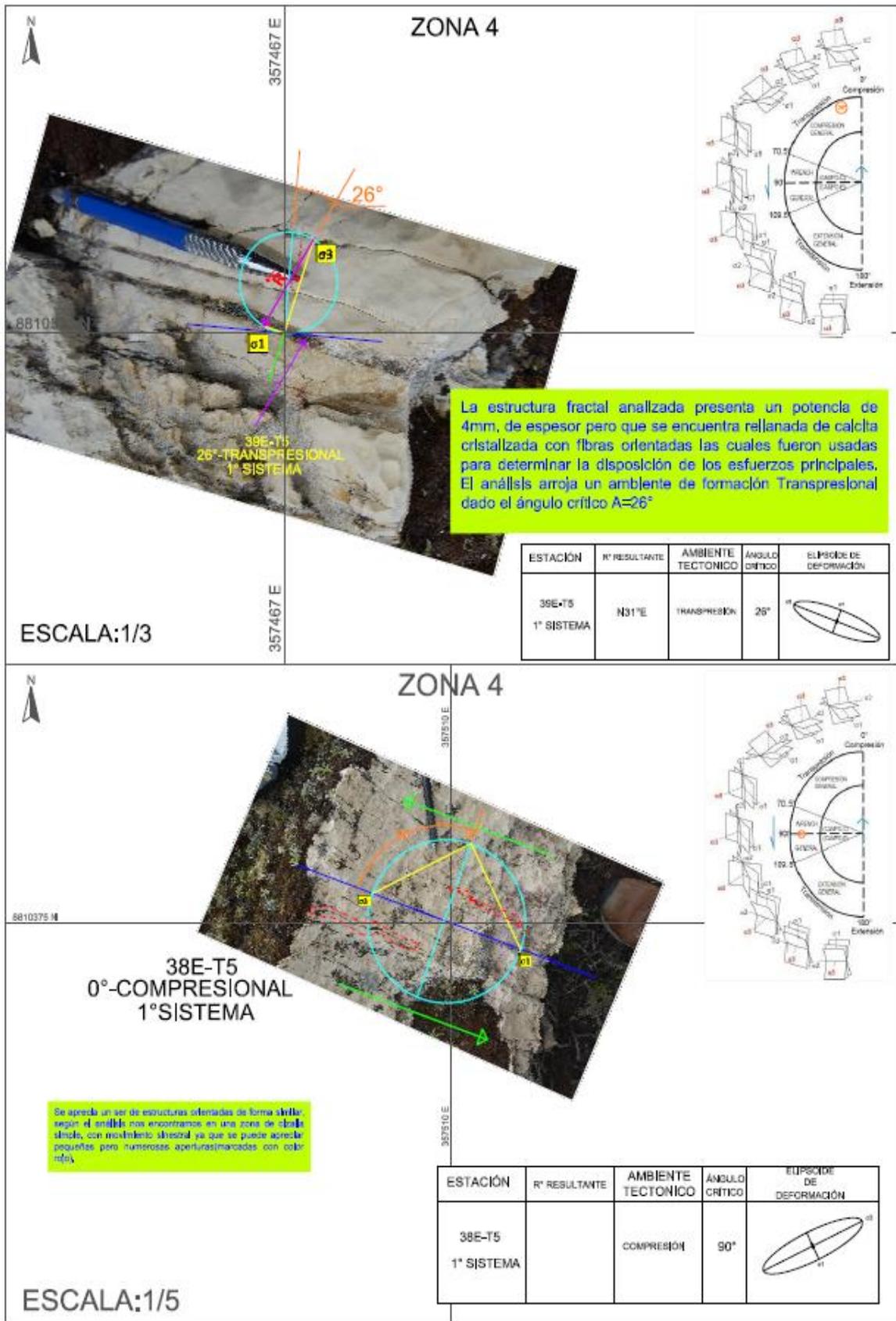
# ANEXO 04



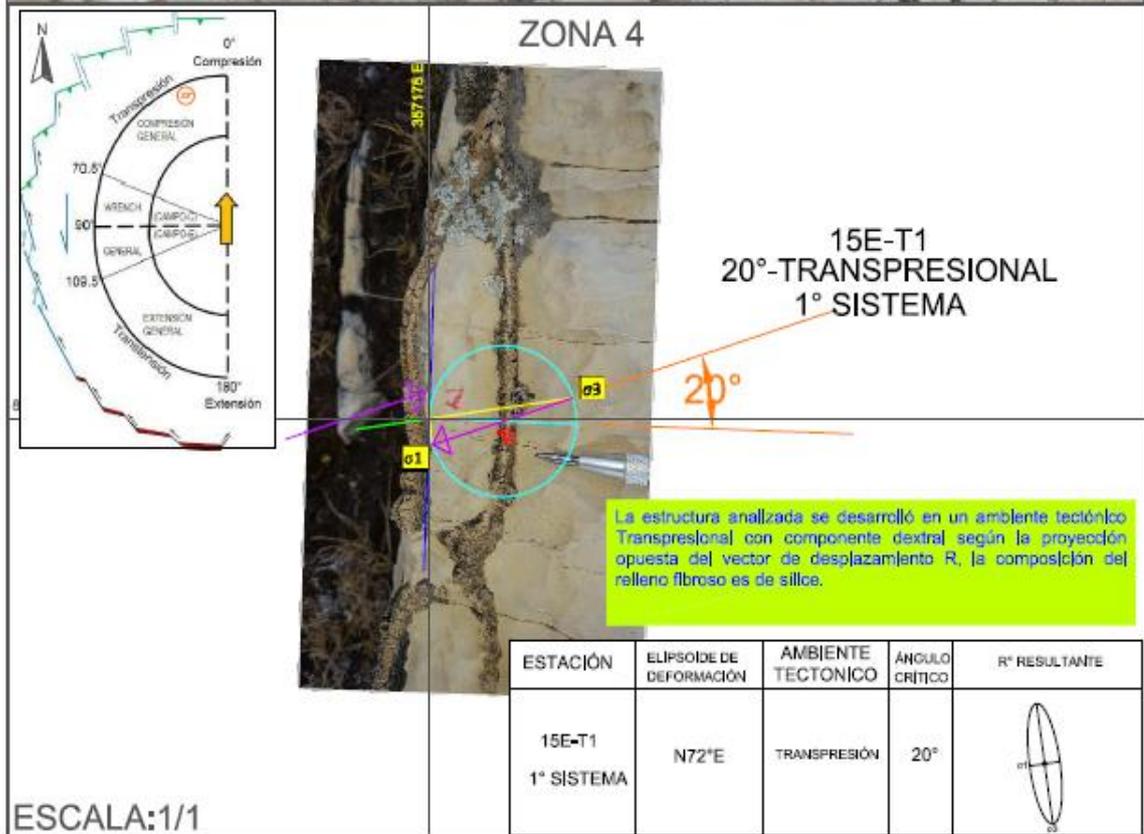
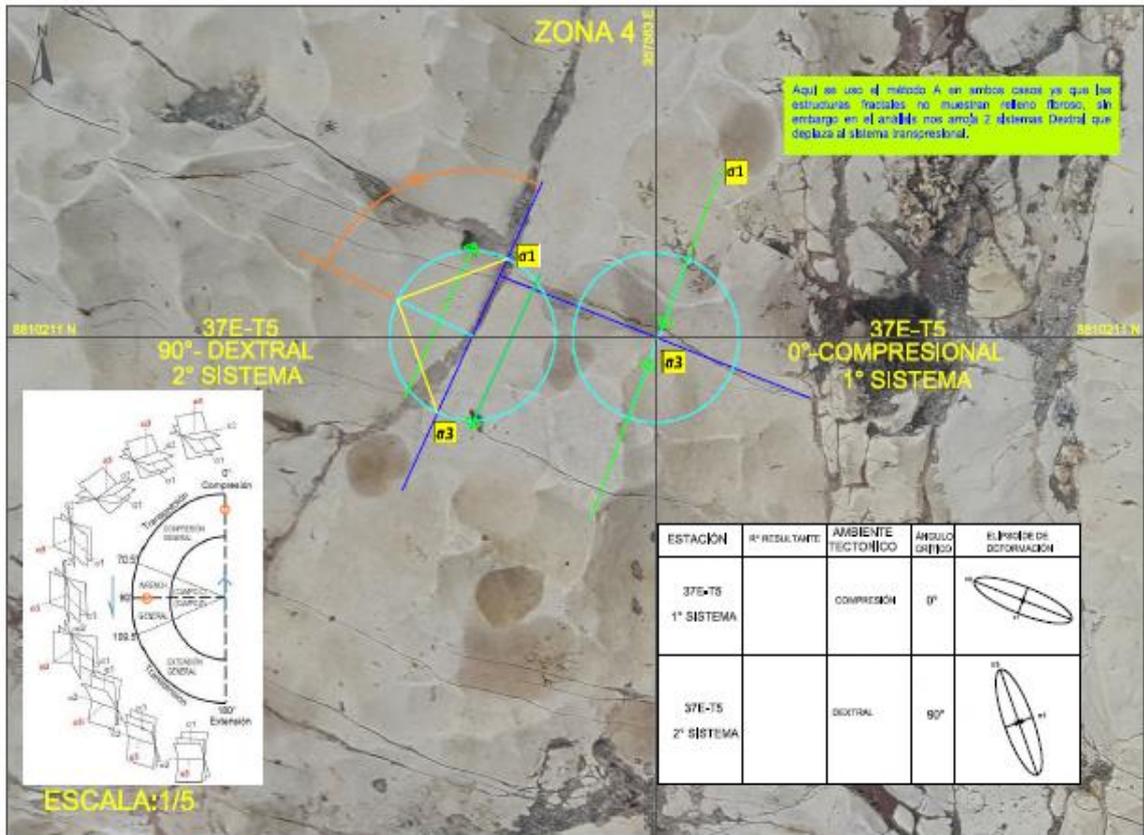
# ANEXO 05



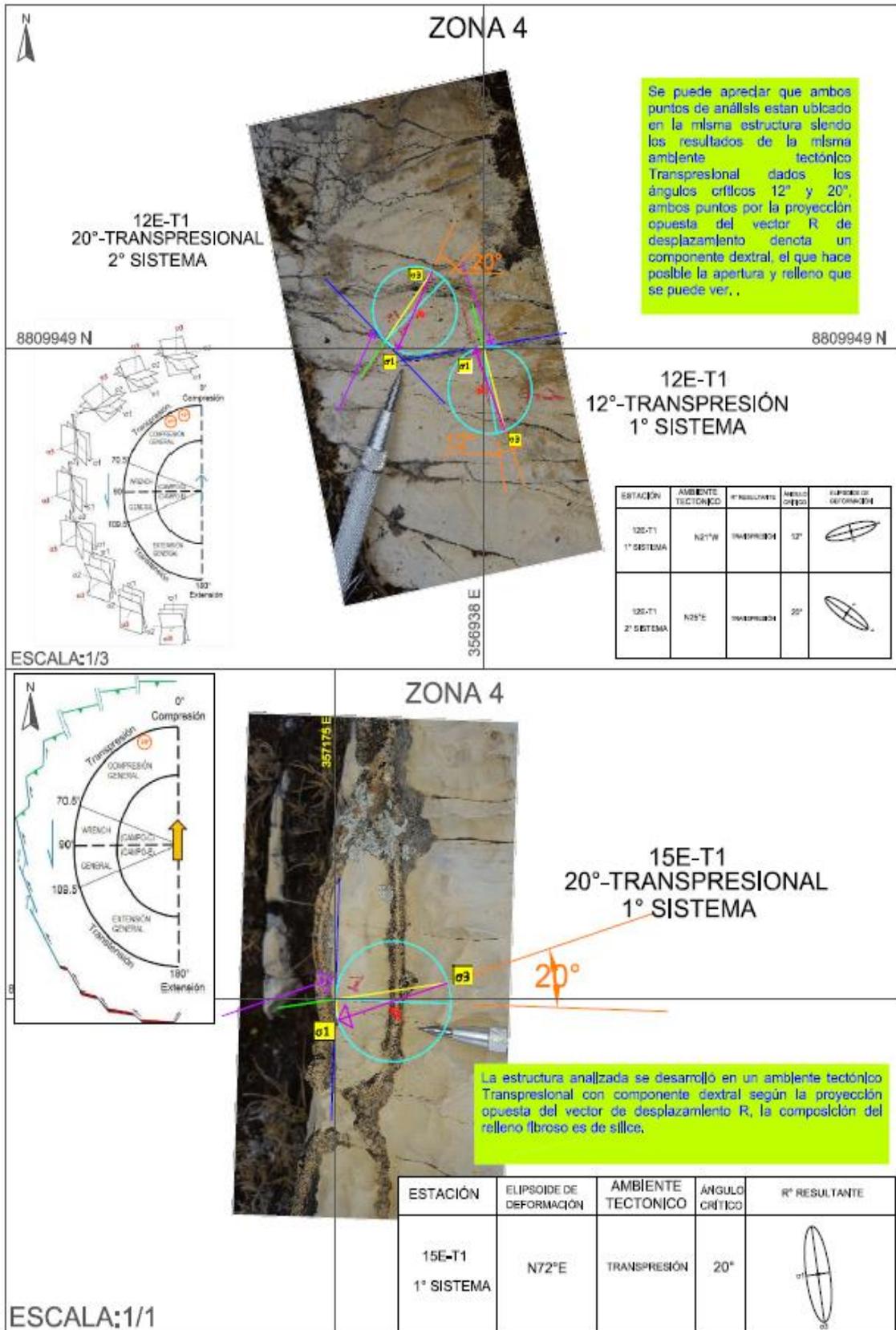
# ANEXO 06



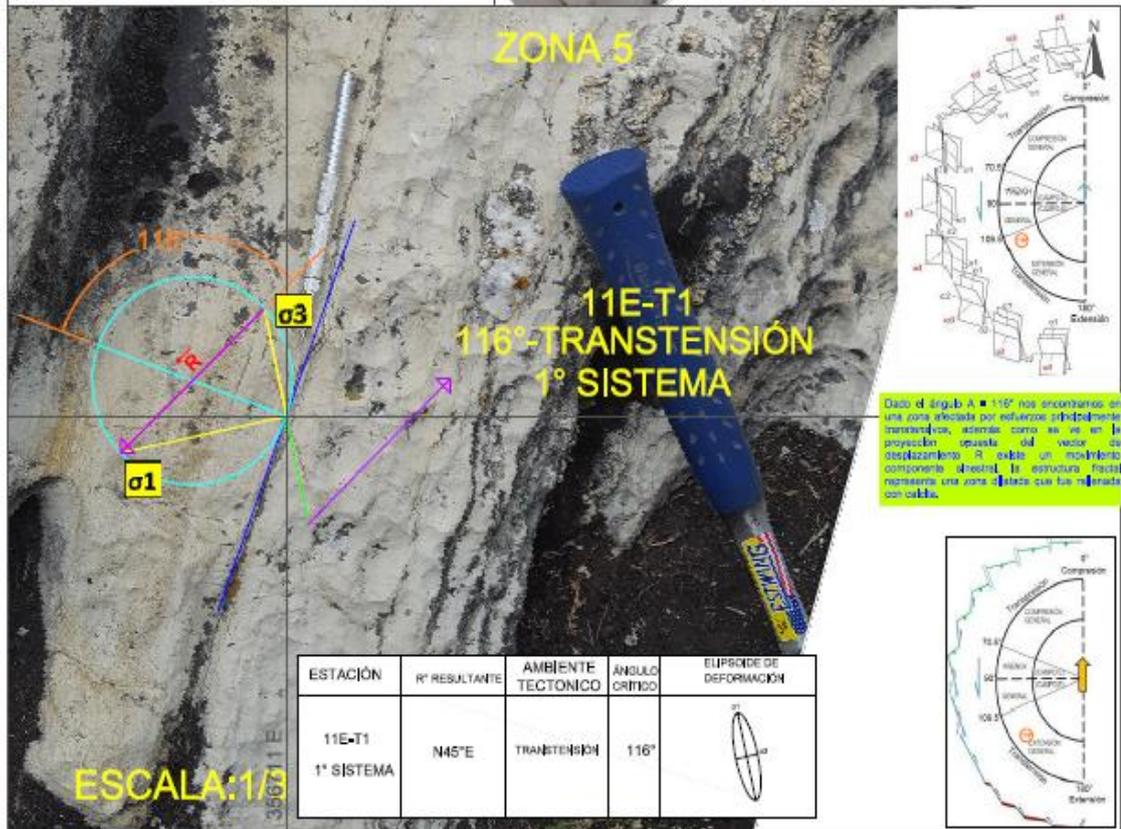
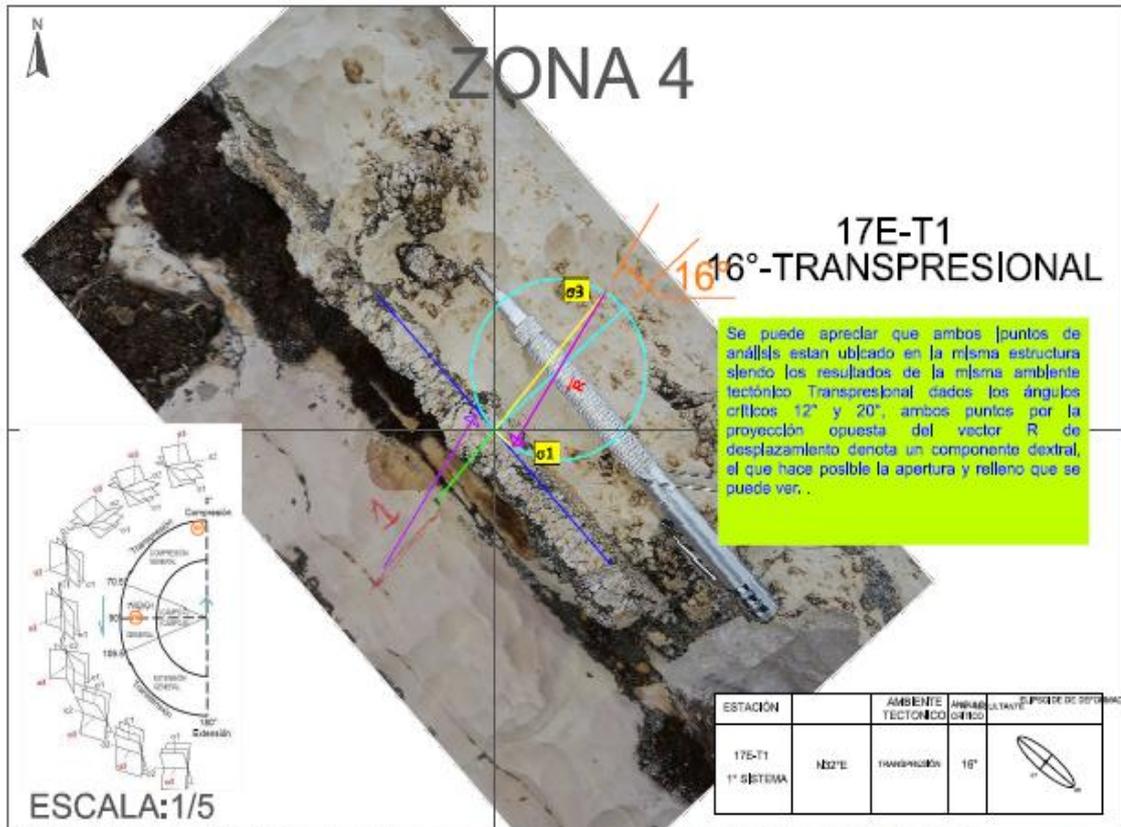
# ANEXO 07



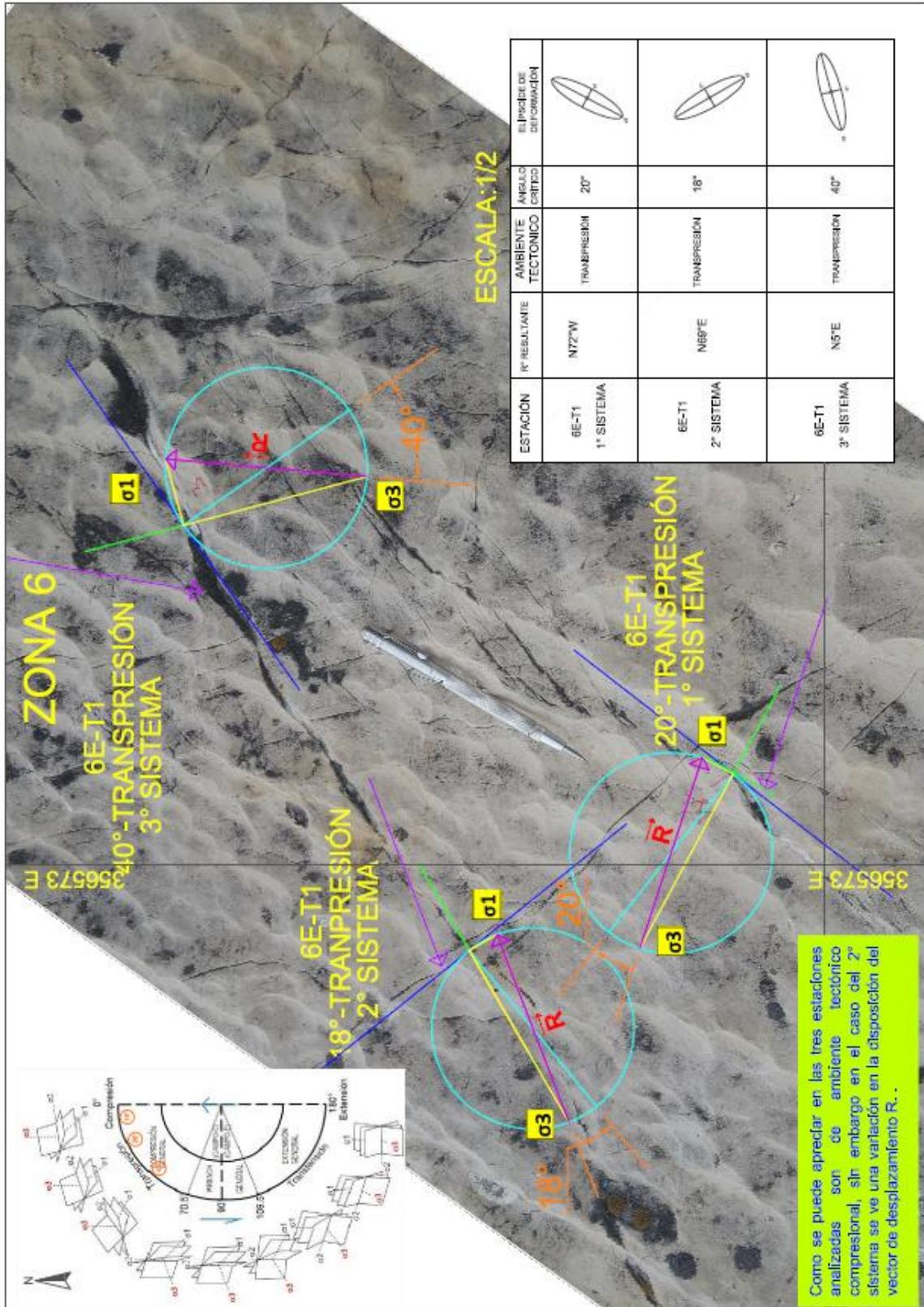
# ANEXO 08



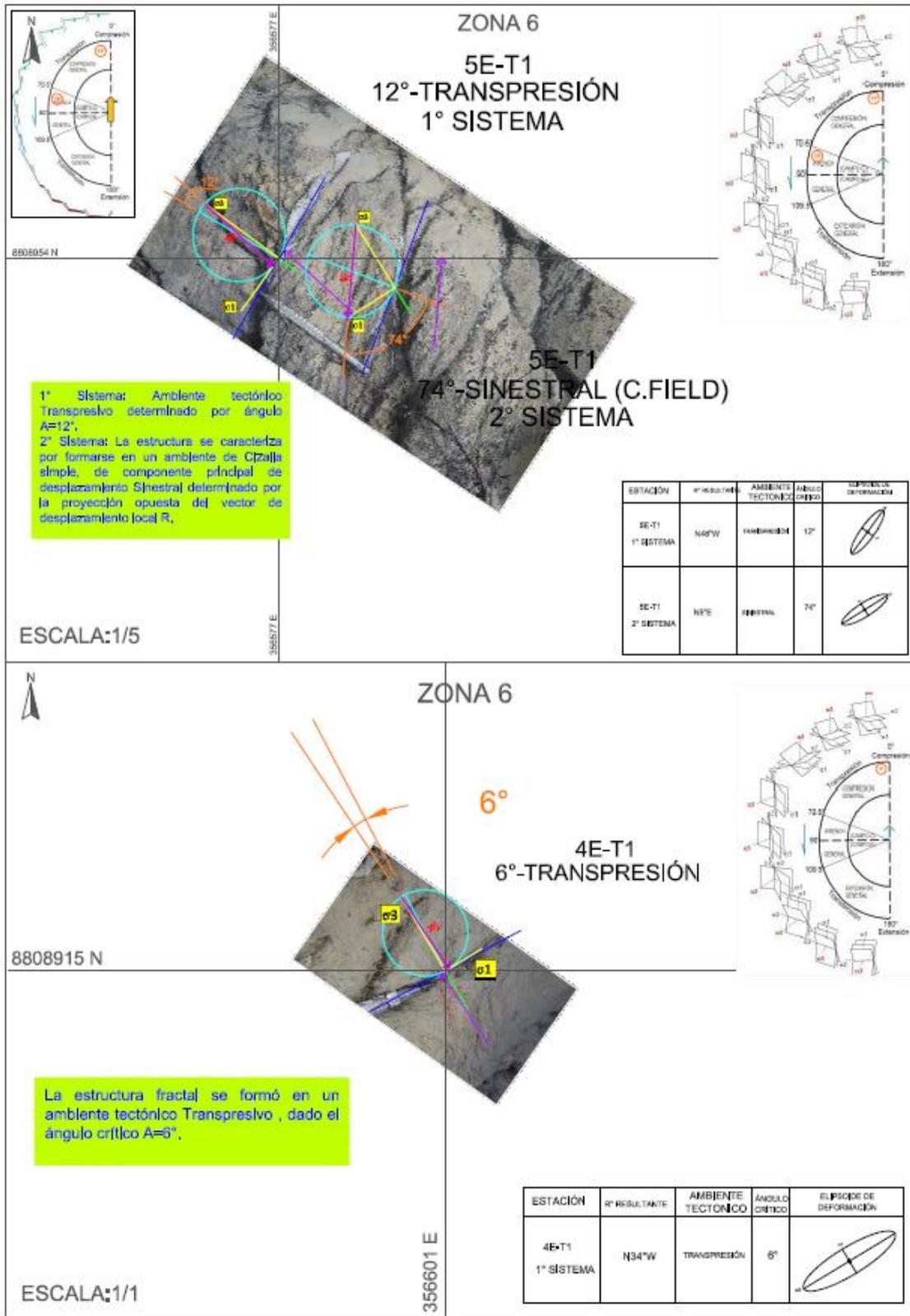
# ANEXO 09



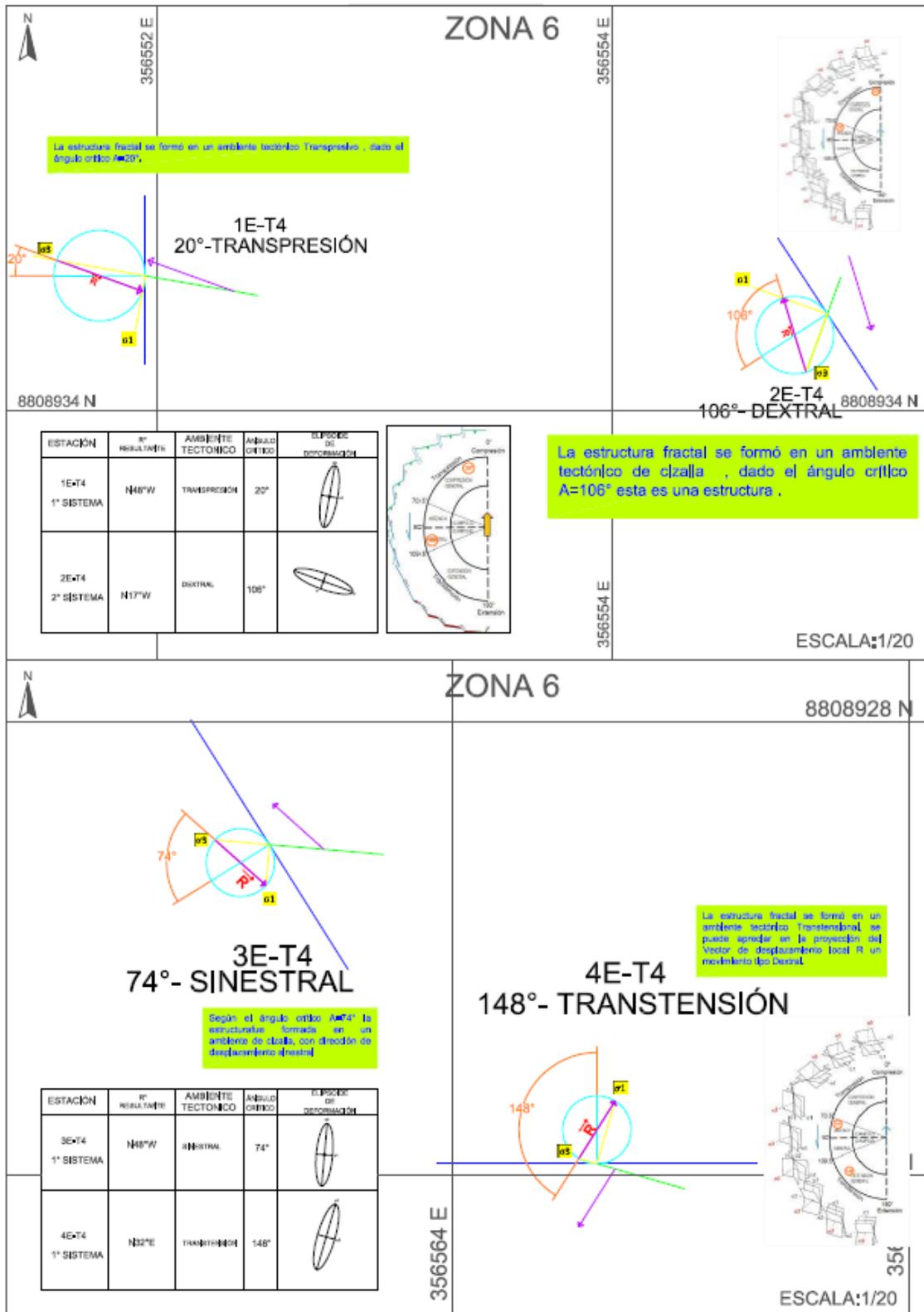
# ANEXO 10



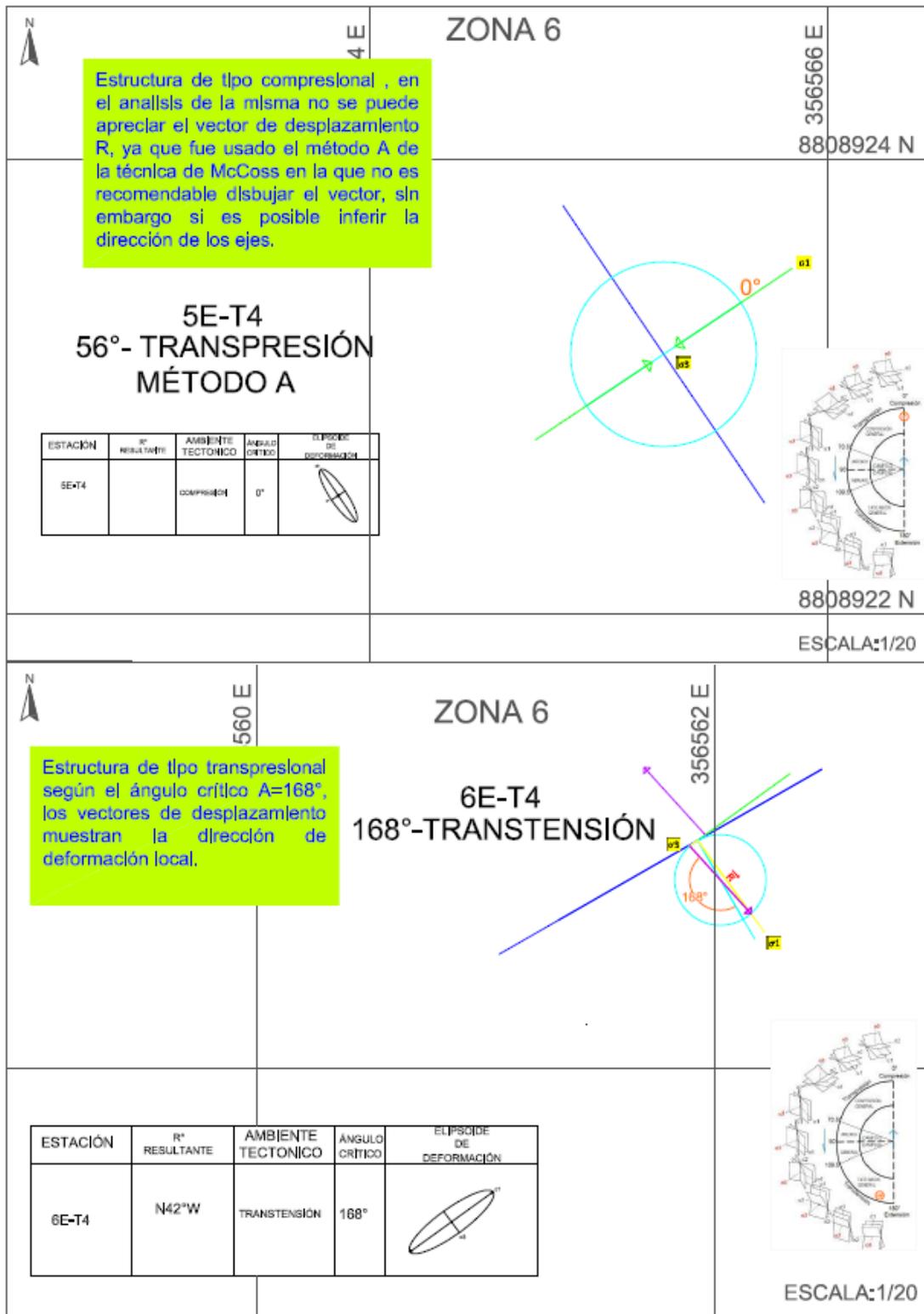
# ANEXO 11



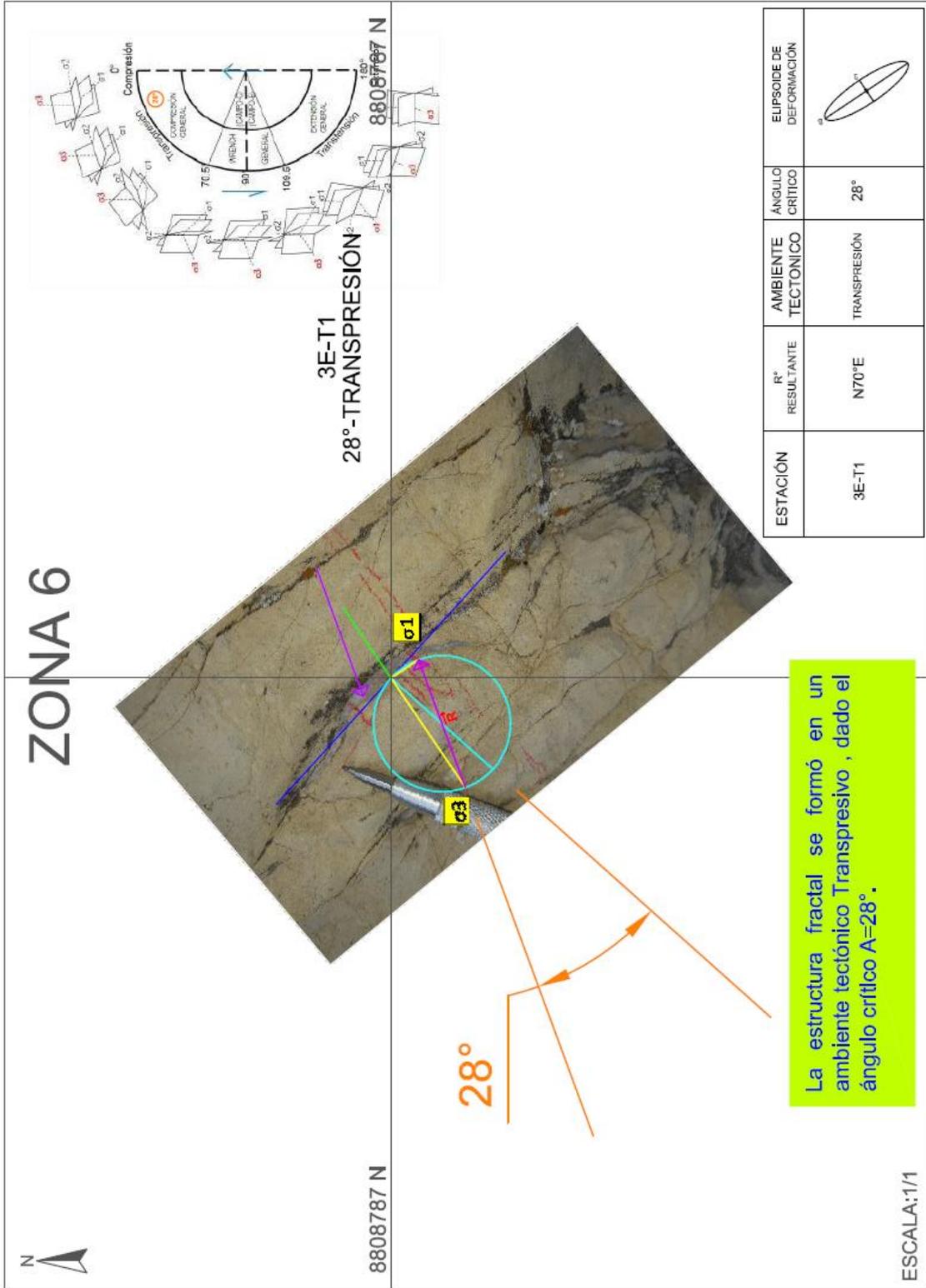
# ANEXO 12



# ANEXO 13

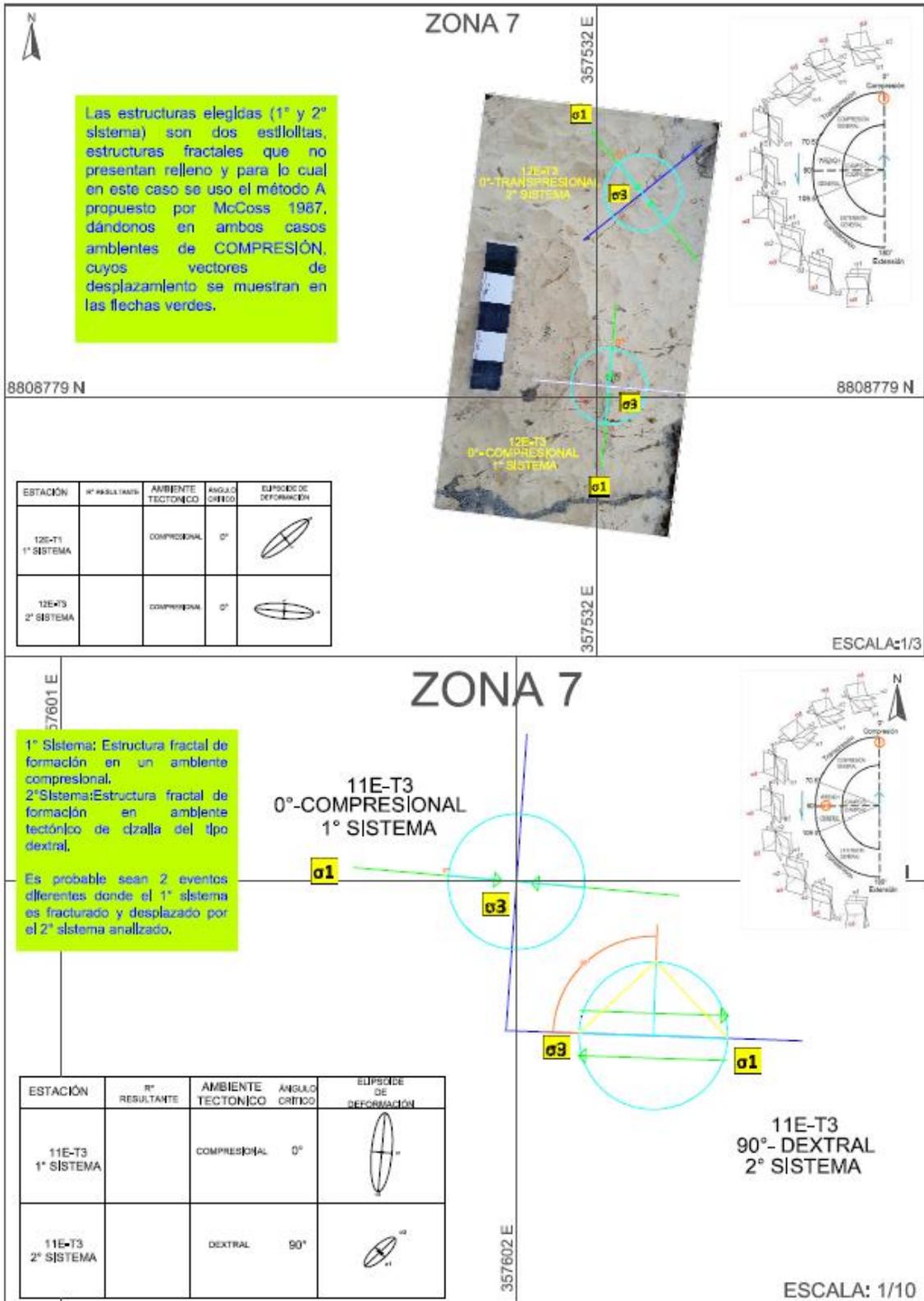


# ANEXO 15



La estructura fractal se formó en un ambiente tectónico Transpresivo , dado el ángulo crítico A=28° .

# ANEXO 16



N

## ZONA 7

357602 E

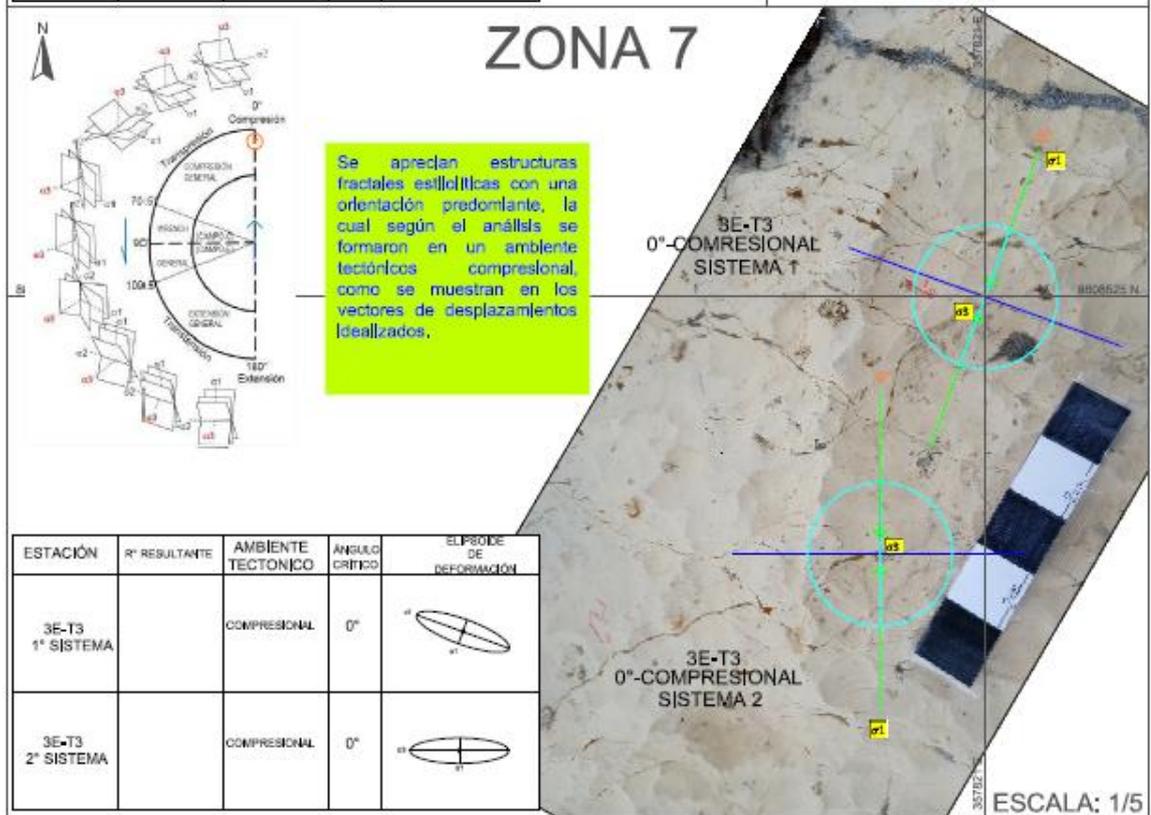
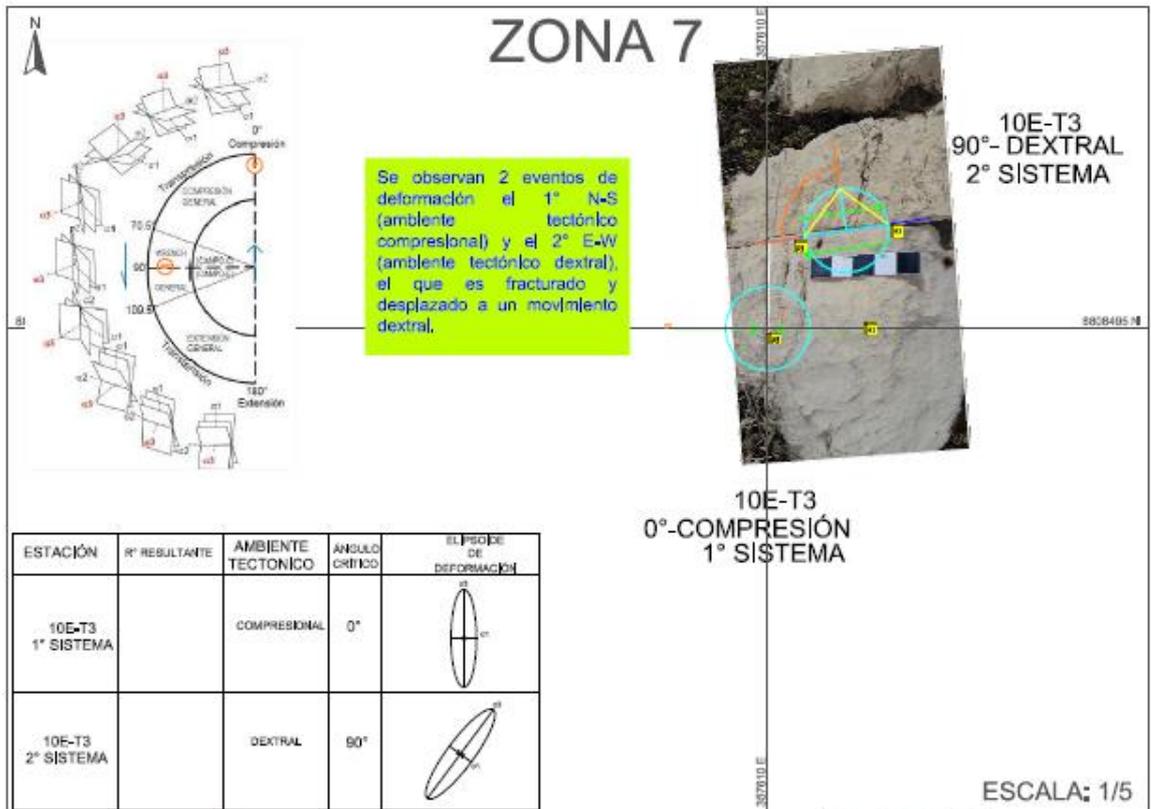
1° Sistema: Estructura fractal de formación en un ambiente compresional.  
2° Sistema: Estructura fractal de formación en ambiente tectónico de cizalla del tipo dextral.  
Es probable sean 2 eventos diferentes donde el 1° sistema es fracturado y desplazado por el 2° sistema analizado.

357601 E
357602 E

ESTACIÓN	R° RESULTANTE	AMBIENTE TECTÓNICO	ÁNGULO CRÍTICO	ELIPSOIDE DE DEFORMACIÓN
11E-T3 1° SISTEMA		COMPRESIONAL	0°	
11E-T3 2° SISTEMA		DEXTRAL	90°	

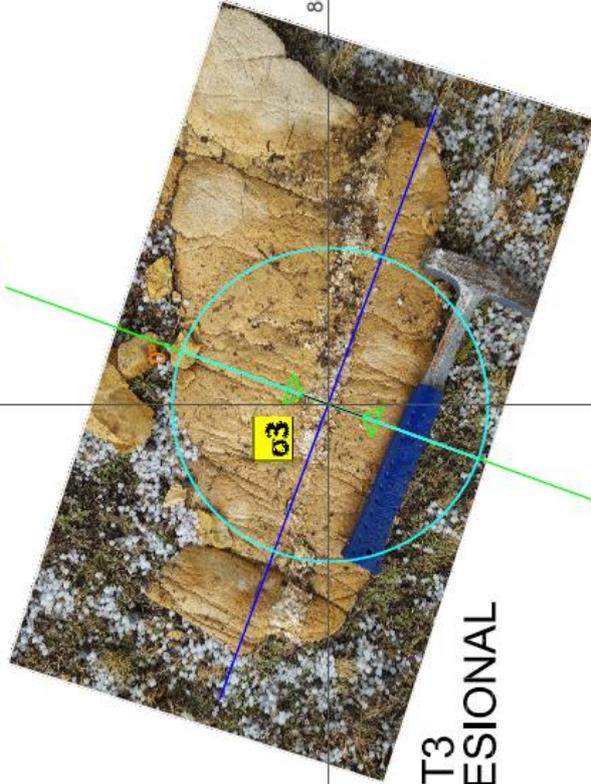
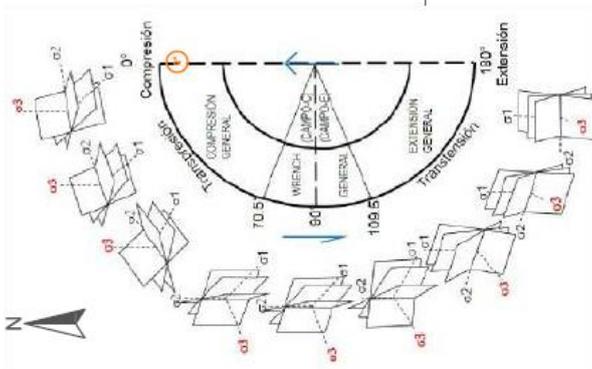
ESCALA: 1/10

# ANEXO 17



# ANEXO 18

## ZONA 8



Estructura fractal con relleno de siliceo orientado, el cual fue usado para definir la dirección del vector de desplazamiento R, el cual es determinado por el ángulo crítico  $A=0^\circ$ , y nos ubica en un ambiente tectónico compresivo.

### 8E-T3 0°-COMPRESIONAL

ESTACIÓN	R° RESULTANTE	AMBIENTE TECTÓNICO	ÁNGULO CRÍTICO	ELIPSOIDE DE DEFORMACIÓN
8E-T3 1° SISTEMA		COMPRESIÓN	0°	

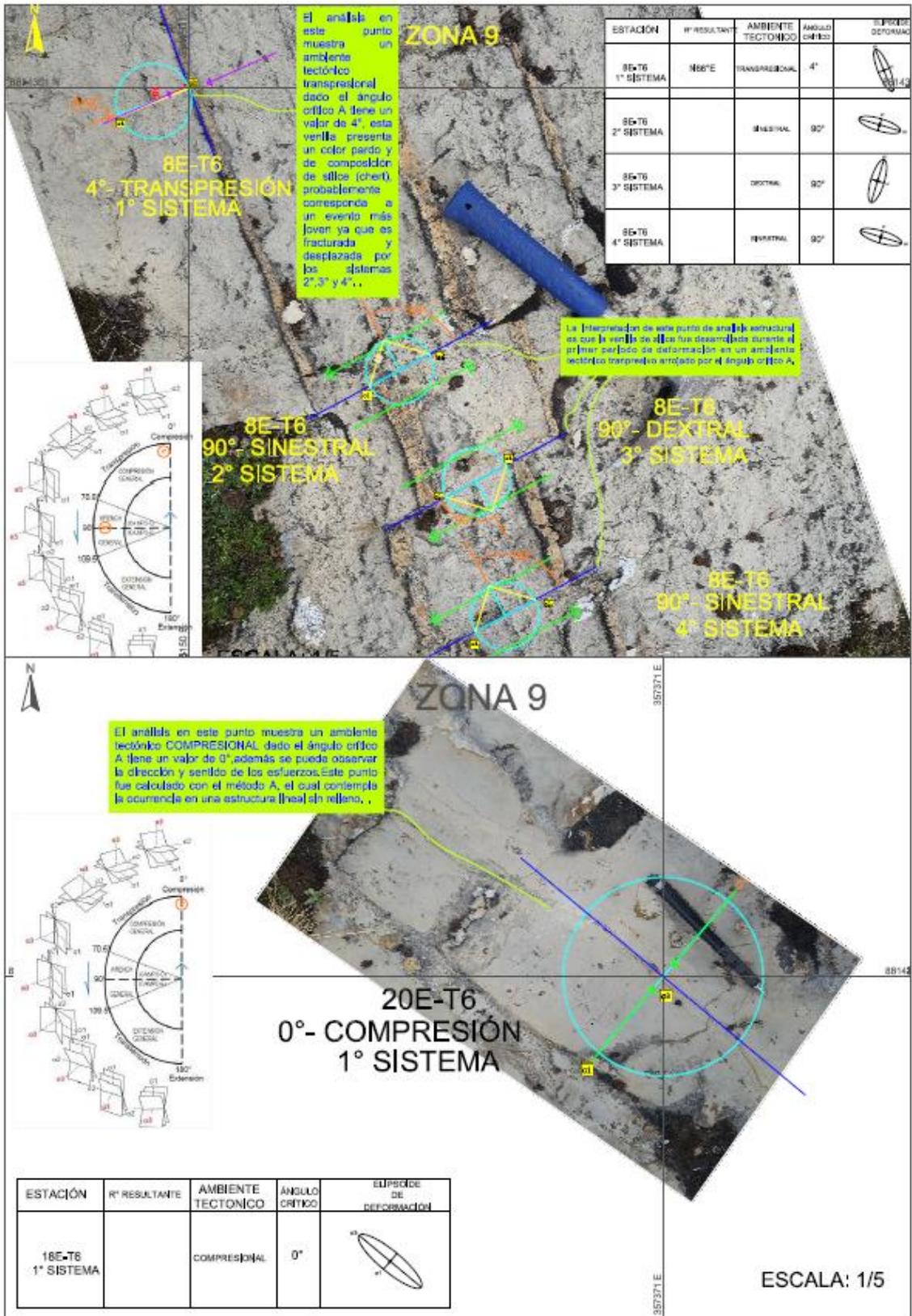
358064 E

8807956 N

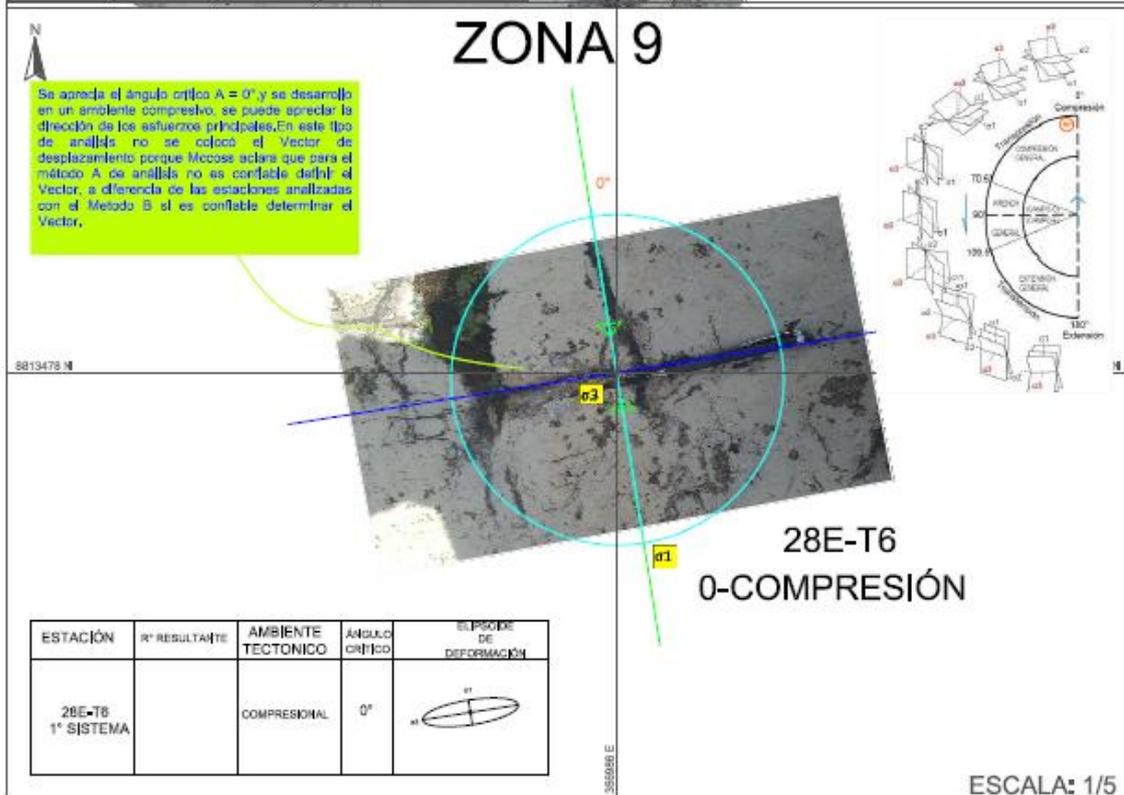
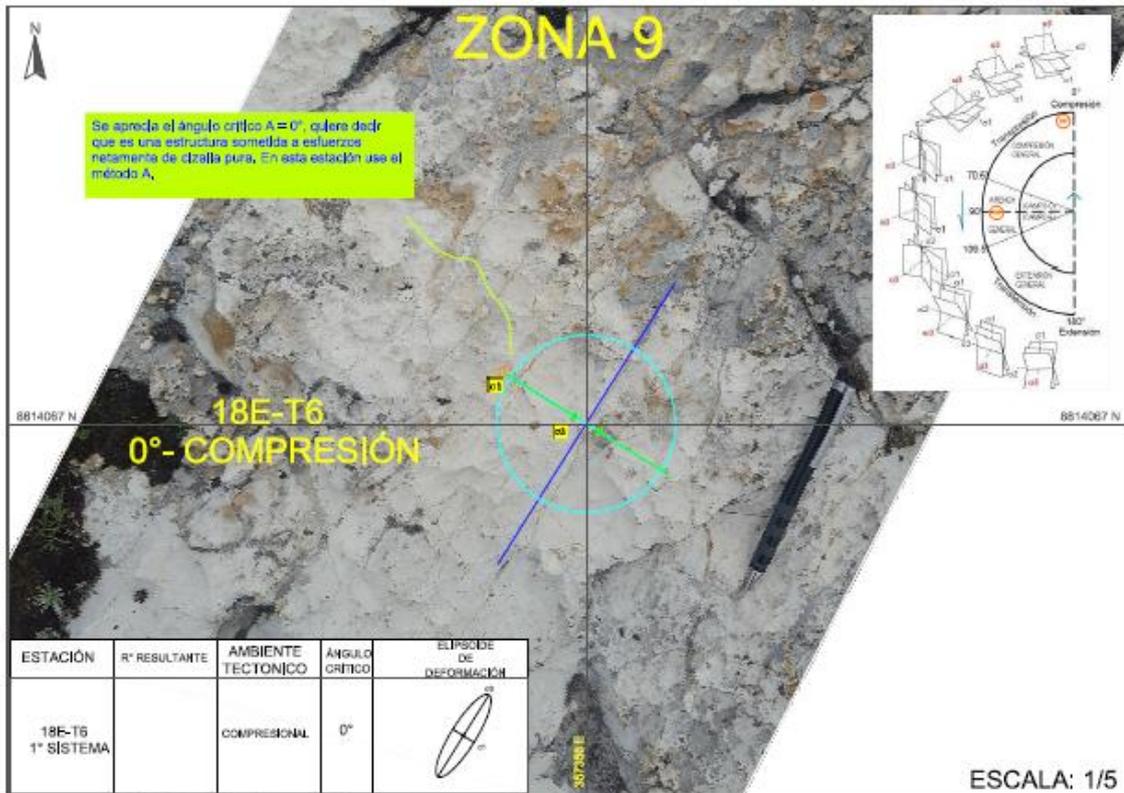
358064 E

ESCALA: 1/5

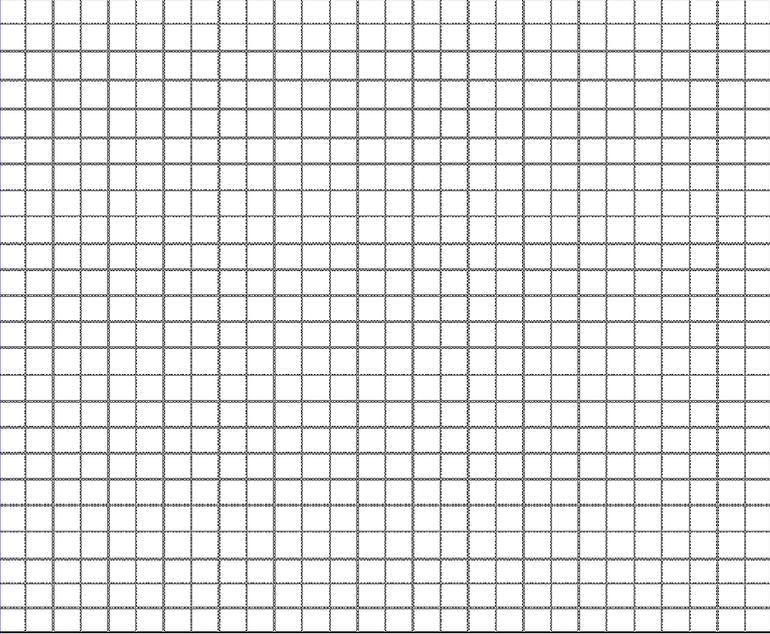
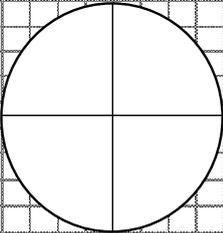
# ANEXO 19



# ANEXO 20



# ANEXO 21

	PROYECTO: _____ AREA: _____ U. T. M.      E: _____ N: _____	<b>PUNTO DISCRETO DE OBSERVACION ESTRUCTURAL</b>												
<b>CROQUIS</b>	 PLANTA PERFIL	GEOLOGIA												
	<u>ROCA DE CAJA</u> Formacion : _____ Edad : _____ Litologia : _____ _____ _____	<u>DUCTILIDAD / FRAGILIDAD</u> _____ _____												
	<u>TIPO DE RELLENO</u> _____ _____ _____	<u>CLASIFICACION</u> _____ _____												
	<b>CALCULO DE ESFUERZOS (Tecnica McCoss)</b>	EJES DE ESFUERZOS <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">LOCAL</th> <th style="text-align: center;">REGIONAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\rho 1</math></td> <td style="width: 50px;"></td> <td style="width: 50px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\rho 2</math></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\rho 3</math></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		LOCAL	REGIONAL	$\rho 1$			$\rho 2$			$\rho 3$		
		LOCAL	REGIONAL											
	$\rho 1$													
	$\rho 2$													
$\rho 3$														
	A = _____ _____	REGIMEN TECTONICO : _____ _____												
_____ _____	ETAPA vs MINERALIZACION <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>PRE</th> <th>SYN</th> <th>POST</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 30px;"></td> <td style="width: 30px;"></td> <td style="width: 30px;"></td> </tr> </tbody> </table>	PRE	SYN	POST				FECHA: _____ _____						
PRE	SYN	POST												
COMENTARIOS: _____ _____	_____ _____	_____ _____												
Por: <b>J.A. Martinez-Mendoza</b>														

