

**ESTUDIO ESTRUCTURAL DEL GRANITO DE PESCADERO ENTRE EL
SECTOR DE PESCADERO Y CEPITÁ, SANTANDER**

**EDWING ENRIQUE DIAZ MARTINEZ
SAMUEL SALCEDO LOPEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2014

**ESTUDIO ESTRUCTURAL DEL GRANITO DE PESCADERO ENTRE EL
SECTOR DE PESCADERO Y CEPITÁ, SANTANDER**

**EDWING ENRIQUE DIAZ MARTINEZ
SAMUEL SALCEDO LOPEZ**

Trabajo de grado para optar al título de Geólogo

DIRECTOR

Ph. D. Giovanni Gimenez Diaz

Director UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por guiarme y permitirme concluir esta etapa, que con mucho esfuerzo y dedicación pude completar, y con ello poder seguir sobre el sendero del conocimiento y el trabajo en equipo, para cosechar buenos momentos y éxitos venideros en la siguiente etapa de mi vida.

Dedico este proyecto de grado a mis padres Jaime y Teresa, que siempre estuvieron conmigo apoyándome en todo momento desde el inicio de mi carrera, que con su amor, experiencia y astucia me motivaron a seguir adelante, trabajar con compromiso y rectitud, y nunca perder el camino.

También a mi hermana Erika, mi prima Blanca y mi tía Rosa, ya que ellas me acompañaron en este proceso de aprendizaje, donde depositaron su confianza y ayuda, para aportarme confort y bienestar y así llevar a cabo esta ilusión.

Finalmente a mis compañeros, Samuel, Jorge, Wilmer, Jaime, Olguer, John, y Oscar, que gracias a su amistad me impulsaron más allá de mis capacidades para poder desarrollar y completar este proyecto.

Edwing

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por haberme guiado en el buen camino y brindado la oportunidad de emprender una nueva etapa en mi vida, que con diligencia y esmero espero poder llevarla al camino del éxito.

Dedico este triunfo a mis padres Samuel y María, que con su amor, sabiduría y experiencia me guiaron por el sendero del conocimiento y la dedicación para que lograra completara esta etapa de mi vida.

A mi hermana Alexandra que con sus sermones lograba que mi cabeza estuviera centrada en un objetivo a cumplir, a mi familia que siempre estuvieron a mi lado apoyándome y dándome ánimos para concluir esta carrera como hoy en día concluí.

Por último, a mis amigos Sheyston, Daniel, Jaime, Jorge, Edwing, Olguer y Juan Camilo, que me brindaron una amistad desinteresada en lo que llevo de mi carrera y me impulsaron a ser la persona que soy hoy en día.

Samuel

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Phd Giovanni Jimenez, por habernos otorgado la oportunidad de trabajar en este proyecto y por la confianza que nos brindó en todo momento en el desarrollo de esta etapa.

Un agradecimiento especial a la profesora Ana Milena Cardozo, por su guía y orientación a la hora de culminar este trabajo, que con su vista crítica nos ayudó a reconocer las falencias que presentábamos y así poder mejorar.

A Jorge Ivan Duarte, compañero y amigo, por su acompañamiento en todo momento y su apoyo incondicional en todo el trayecto de este arduo trabajo, que sin su ayuda no habría sido posible completar a tiempo.

A nuestros compañeros y amigos, Jaime Guerrero y Juan Villabona, los cuales nos incentivaron en seguir adelante, aprender de nuestros errores y realizar este proyecto con diligencia y esmero.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	21
1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
2 OBJETIVOS	24
2.1 OBJETIVO GENERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	24
3 METODOLOGÍA	25
3.1 Recopilación de información bibliográfica y elaboración de un cronograma de trabajo	25
3.2 Reconocimiento de la zona de estudio	25
3.3 Selección de información estructural y análisis de datos	26
3.4 Diseño y elaboración del modelo de sucesión de eventos estructurales en la zona de trabajo	27
3.5 Edición del informe final	27
4 ANTECEDENTES	28
4.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	30
4.1.1 Estratigrafía	30
4.1.2 Geología Estructural	37
4.2 MARCO TEÓRICO	42
4.2.1 Estructuras de Deformación	42
5 RESULTADOS	56
5.1 REVISIÓN CARTOGRÁFICA	56
5.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS ESTRUCTURALES	61
5.2.1 Datos de diaclasas del Granito de Pescadero	61
5.2.2 Datos de diaclasas en la Formación Silgará	68
5.2.3 Datos de venas en la Formación Silgará	69
5.2.4 Datos de las fallas menores en el Granito de Pescadero	69
5.2.5 Datos de estrías de falla sobre el Granito de Pescadero	70
6 DISCUSIONES	72
6.1 REVISIÓN CARTOGRÁFICA	72
6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS ESTRUCTURALES	73
6.2.1 Datos de Diaclasas del Granito de Pescadero	73
6.2.2 Datos de diaclasas en la Formación Silgará	74
6.2.3 Datos de venas en la Formación Silgará	74
6.2.4 Datos de las fallas menores en el Granito de Pescadero	75
6.2.5 Datos de estrías de falla sobre el Granito de Pescadero	75
6.3 ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO A PARTIR DEL ELIPSOIDE DE DEFORMACIÓN	76
6.4 SUCESIÓN DE EVENTOS ESTRUCTURALES EN LA ZONA DE ESTUDIO	78
7 CONCLUSIONES	81
8 BIBLIOGRAFÍA	83
9 ANEXOS	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. Representa la ubicación del cuerpo intrusivo de geometría elongada (Granito de Pescadero) emplazado en su roca encajante (Formación Silgará), mostrando la transecta de estudio (línea verde), al flanco izquierdo de la Falla de Bucaramanga, Macizo de Santander, Colombia. Imagen base: Modelo Digital de Elevación (DEM) del 2013.	23
Figura 2. Columna cronoestratigráfica generalizada, Oeste de la Falla de Bucaramanga, Macizo de Santander.....	31
Figura 3. Esquema tectónico del Departamento de Santander. Adaptado de Clavijo <i>et al.</i> , (1993). Tomado de Royero & Clavijo (2001).	39
Figura 4. Principales rasgos geológicos del Norte de Colombia. Tomado de Boinet <i>et al.</i> , (1989).	40
Figura 5. Ilustración de los conceptos de deformación homogénea y no homogénea (heterogénea). A la izquierda se tienen los estados iniciales de los materiales antes de la deformación. A la derecha, en la parte superior, deformación heterogénea o no homogénea, la cual puede incluir en su interior sectores que a una escala menor presentan deformación homogénea. (Tomado de Passchier & Trouw, 2005).	43
Figura 6. Tipos de fracturas según Anderson. Modo I: Abertura, Modo II: Deslizamiento, Modo III: Desgarramiento. (Tomado de Catalán, 2003).	44
Figura 7. Distintas asociaciones de diaclasas en una familia: diaclasas sistemáticas, no sistemáticas y cruzadas (Tomado de Sevillano, 2000).	49
Figura 8. Esquema de varios elementos de fábrica que pueden generar una foliación. a) Bandeamiento Composicional; b) Orientación preferencial de minerales hojosos; c) Orientación de límites de grano y formas; d) Variación del tamaño de grano; e) Orientación preferencial de granos hojosos en una matriz sin orientación preferencial; f) Orientación Preferencial de agregados de minerales lenticulares; g) Orientación preferencial de microfallas; h) Combinación de elementos de fábrica a,b,c. (Tomado de Passcheir & Trouw 2005).	51
Figura 9. Diagrama que representan lineaciones. (a) Fábrica lineal simple definida por orientación preferente de cuerpos lineales. (b) Combinación de lineación y foliación definida por orientación preferente de cuerpos tabulares alargados. (c) Fábrica lineal definida por un eje común de intersección de cuerpos tabulares alargados de diversa orientación. (d) Fábrica lineal definida por plegamiento penetrativo. (e) Lineación definida por la interacción de dos foliaciones. (Tomado de Hobbs <i>et al.</i> 1981).	53
Figura 10. Imagen esquemática de la representación de estrías de falla sobre un plano de falla y su movimiento relativo.....	54
Figura 11. Representación tridimensional de dos zonas de cizalla conjugadas con venas sigmoidales. (Tomado de Catalán, 2003).	55

Figura 12. Superposición de imágenes para ilustrar el desfase de la Falla de Bucaramanga. a) Superposición del DEM (2013) con el mapa de sombras generado a través del software Arcgis para proponer el trazo de la Falla de Bucaramanga usando características fotogeológicas (línea roja). b) Superposición del Cuadrángulo H-12 (Ward <i>et al.</i> , 1973) con el mapa de sombras de la imagen DEM (2013), donde se observa el desfase que exhibe el trazo de la Falla de Bucaramanga, visto a través de las líneas roja y azul que lo denotan.	57
Figura 13. Mapa geológico de la zona de estudio a escala 1:25.000, donde se representa la geometría elongada del cuerpo intrusivo, la propuesta de modificación de los contactos Sur y Este del granito en el sector de Pescadero y el trazo de la Falla de Bucaramanga, mostrando la transecta y estaciones de estudio. Modelo base: Cuadrángulo H-12 (Ward <i>et al.</i> , 1973). Modificado por Diaz & Salcedo, 2014.	59
Figura 14. Mapa geológico de la zona de estudio a escala 1:100.000, donde se observan las fallas menores identificadas sobre el cuerpo intrusivo en el sector de Pescadero (líneas rojas discontinuas). Modelo base: Cuadrángulo H-12 (Ward <i>et al.</i> , 1973). Modificado por Diaz & Salcedo, 2014.	60
Figura 15. Análisis estadístico de las diaclasas del Granito de Pescadero. a) Diagrama de polos, donde se aprecia la distribución de los polos a lo largo del sistema de fracturas. b) Diagrama de densidad, donde se expresa la distribución espacial de los datos de las fracturas. c) Diagrama de rosetas, donde se observan las orientaciones principales de las fracturas y su agrupación en familias de diaclasas.	61
Figura 16. Análisis estadístico de la familia 1 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos relacionados. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección NE-SW. d) Diagrama de buzamientos de diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando ángulos altos.	62
Figura 17. Análisis estadístico de la familia 2 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección E-W. d) Diagrama de buzamientos de las diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando ángulos altos.	63
Figura 18. Análisis estadístico de la familia 3 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección NE-SW. d) Diagrama de buzamientos de las diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando ángulos altos.	64

Figura 19. Análisis estadístico de la familia 4 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección NW-SE. d) Diagrama de buzamientos de las diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando ángulos altos. 65

Figura 20. Análisis estadístico de la familia 5 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección NW-SE. d) Diagrama de buzamientos de las diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando variedad de ángulos, desde medio a altos..... 66

Figura 21. Análisis estadístico de la familia 6 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección N-S. d) Diagrama de buzamientos de las diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando ángulos de buzamientos variados... 67

Figura 22. Análisis estadístico de las diaclasas de la Formación Silgará. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las fracturas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos relacionados a las fracturas. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de tres familias de fracturas en dirección NW-SE, NW-SE y NE-SW. d) Diagrama de buzamientos de los planos de diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando una variedad de ángulos altos y bajos. 68

Figura 23. Análisis estadístico de las venas de la Formación Silgará. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las venas con sus respectivos polos. b) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial en dirección NW-SE. c) Diagrama de buzamientos de los planos de las venas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando unos ángulos intermedios. 69

Figura 24. Análisis estadístico de las fallas menores del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las mismas con sus respectivos polos. b) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de tres direcciones en sentidos NW-SE, E-W y NE-SW. c) Diagrama de buzamientos de los planos de las fallas menores, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fallas, presentando unos ángulos altos. 70

Figura 25. Análisis estadístico de las estrías del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución uniforme de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos

y las variaciones de sus pitch. b) Diagrama de rosetas, donde se observa la orientación preferente de dirección NW-SE. c) Diagrama de buzamientos de las estrías, donde se aprecian los buzamientos de los planos de las estrías, presentando ángulos altos. d) Diagrama de ángulo plunge de las estrías, donde se denotan los ángulos plunge de los planos de las estrías, presentando ángulos altos.	71
Figura 26. Elipsoide de deformación por cizallamiento simple (Tomado de Rossello, 2009). ...	76
Figura 27. Elipsoide de deformación superpuesto con las estructuras presentes en la zona de estudio; observando que el bloque yacente a la Falla de Bucaramanga presenta fallas normales de componentes antiriedel, y estructuras de estilolitos en dirección SW. En el bloque colgante a la Falla de Bucaramanga se aprecian fallas de rumbo de componente inversa y tipo riedel, presentado en clivajes y plegamientos en dirección NE. Las orientaciones preferentes de cada ítem medido se expresa de un color diferente sobre el elipsoide de deformación.....	77
Figura 28. Modelo propuesto por Toussaint en 1995 para la formación del Grupo Plutónico de Santander, debido a una serie de pulsos magmáticos generados a finales del Triásico. Modificado de Toussaint, 1995, basándonos en estudios realizados por Ordeñez & Mantilla (2004) y Mantilla (2001, 2002, 2006 y 2011).	78
Figura 29. Diagrama de sucesión de eventos estructurales del Granito de Pescadero en la zona de estudio. El estado 1 representa la fase inicial del evento intrusivo del Granito de Pescadero. El estado 2 muestra el contacto en superficie del cuerpo intrusivo y la fase final del emplazamiento. El estado 3 evidencia el corte del granito con la Falla de Bucaramanga y su deformación frágil posterior. Modelo base: Ramos, 2003; Toussaint, 1995.	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para distinguir entre foliación primaria y secundaria. (Tomado de Passchier & Trouw, 2005).	52
--	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Datos de diaclasas en el Granito de Pescadero.....	90
Anexo B. Datos de diaclasas en la Formación Silgará.....	144
Anexo C. Datos de venas en la Formación Silgará.....	146
Anexo D. Datos de fallas menores en el Granito de Pescadero.....	147
Anexo E. Datos de estrías de falla en el Granito de Pescadero.....	148
Anexo F. Mapa Geológico-Estructural a escala 1:25.000 del Sector de Pescadero.....	149
Anexo G. Mapa de Estaciones a escala 1:25.000 del Sector de Pescadero.....	150
Anexo H. Mapa Geológico-Estructural a escala 1:100.000 del Macizo de Santander, Sector de Pescadero.....	151
Anexo I. Mapa de Estaciones a escala 1:100.000 del Macizo de Santander, Sector de Pescadero.....	152

Resumen

TÍTULO:

ESTUDIO ESTRUCTURAL DEL GRANITO DE PESCADERO ENTRE EL SECTOR DE PESCADERO Y CEPITÁ, SANTANDER.*

Autores: Edwing Enrique Díaz Martínez, Samuel Salcedo López**

Palabras Clave: Granito de Pescadero, Formación Silgará, emplazamiento, Diaclasas, Estrías de Falla

El presente trabajo de grado busca dar a conocer la complejidad estructural que se presenta en el sector de Pescadero y Cepitá, ubicado en el Macizo de Santander. La principal razón que justifica este trabajo es explicar la geometría elongada que exhibe el Granito de Pescadero de manera paralela a la Falla de Bucaramanga, a partir de mediciones de deformación frágil, tales como, diaclasas, venas, fallas menores y estrías de falla.

La metodología utilizada para la realización de este proyecto constó en la recopilación bibliográfica, reconocimiento de la zona de estudio, medición de datos estructurales, análisis estadístico e interpretación de dichos datos, con el fin de construir un modelo estructural y elaboración de un informe final.

Utilizando los software Stereonet y Win Tensor se establecieron las principales familias de diaclasas y sus orientaciones preferentes, con las cuales se pudo observar que el principal agente deformativo en el área de estudio es del tipo frágil, al cual ha sido sometido el cuerpo intrusivo y su roca encajante, correspondiente a la Formación Silgará.

Finalmente este trabajo se fundamentó en la elaboración de un modelo estructural que describe la cinemática principal y agentes deformativos que influyeron en el emplazamiento del Granito de Pescadero en la Formación Silgará, y así establecer la relación que se presenta entre el cuerpo granítico y la Falla de Bucaramanga.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: PhD. Giovanni Jiménez.

Abstract

TITLE:

STRUCTURAL STUDY OF PESCADERO PLUTON BETWEEN PESCADERO AND CEPITÁ SECTORS, SANTANDER.*

Authors: Edwing Enrique Diaz Martinez, Samuel Salcedo Lopez**

keywords: Pescadero Pluton, Silgará Formation, Emplacement, Joints, Fault striations

The actual document looks for introduce the structural complex that occurs in the area of Pescadero and Cepita, located in Santander massif. The main reason of this document is to explain the elongated geometry that shows the Pluton of Pescadero parallel to Bucaramanga fault, from measurements of fragile deformation, such as joints, veins, minor faults and fault striations deformation.

The methodology used for this document consisted in collect bibliographic information, checkup of the study area, measuring of structural data, statistical analysis and interpretation of those data in order to build a structural model and to produce a final report.

Using Stereonet and Win Tensor software, were established the principal families of joints and their preferred orientations, with which it could be observed that the main deformity agent in the study area is the brittle type, which has undergone the intrusive body and its box rock, corresponding to the Silgara formation.

Finally, this document was based on the development of a structural model which describes the main cinematic and deformity agents that influenced in the siting of the Pluton of Pescadero in Silgara formation, and so establish the relation that occurs between the granitic body and Bucaramanga fault.

* Draft Grade

** Faculty of Engineering Physicochemical. School of Geology. Director: PhD. Giovanni Jiménez.

INTRODUCCIÓN

El complejo ígneo-metamórfico del Macizo de Santander está constituido por distintos tipos de secuencias metamórficas (Neis de Bucaramanga, Ortoneis y Formación Silgará), ígneas (Granito de Pescadero, Cuarzo Monzonita La Corcova, Cuarzo Monzonita de Santa Barbará, Batolito de Mogotes y Batolito de Rio Negro) y sedimentarias (Formaciones Jordán, Girón, Tambor y Rosablanca).

El Granito de Pescadero presenta una geometría elongada paralela a la Falla de Bucaramanga, en su bloque yacente. A partir del planteamiento de dos hipótesis se explica la razón por la cual el Granito de Pescadero exhibe dicha geometría. La primera se basa en la deformación que sufrió el Granito de Pescadero, del tipo dúctil, indicando que la elongación se generó a partir del emplazamiento del cuerpo intrusivo en la roca encajante, a medida que el cuerpo granítico se emplazó, comenzó a tener una geometría elongada, por efecto del movimiento de la Falla de Bucaramanga. La segunda se basa en el desarrollo de una deformación contemporánea (syn) al emplazamiento, del tipo frágil, observable principalmente en la superficie, donde posterior al emplazamiento del granito, empezó a sufrir fracturamiento causado por el desplazamiento de la Falla de Bucaramanga, generando una geometría elongada.

Desde un punto de vista cartográfico, este trabajo se fundamenta en la hipótesis dos, debido al alto grado de fracturamiento que expone el Granito de Pescadero asociado a la deformación frágil.

Finalmente, se busca determinar las deformaciones frágiles a las que se vio sometido el Granito de Pescadero por la Falla de Bucaramanga y el diaclasamiento presente.

1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Geológicamente, el Granito de Pescadero aflora al Oeste de la Falla de Bucaramanga, se presenta en contacto intrusivo hacia el Sur con la unidad metamórfica Formación Silgará (Figura 1) y sus fragmentos hacen parte del conglomerado basal de la Formación Jordán. Geográficamente, se encuentra ubicado al noreste del municipio Los Santos hasta el sitio donde desemboca la quebrada Chinavega sobre el río Chicamocha y en los alrededores de Umpalá, Municipio de Piedecuesta.

El área de estudio abarca los cuadrángulos H-12 y H-13 (Ward *et al.*, 1973) de INGEOMINAS. La transecta de estudio comprende las coordenadas planas:

PUNTO INICIAL = X1:1'257.860 - Y1: 1'117.847 (Cuadrángulo H-12)

PUNTO FINAL = X2:1'242.910 - Y2: 1'116.075 (Cuadrángulo H-13)

Adoptadas del sistema de coordenadas para Colombia (Esferoide Internacional 1904, proyección conforme de Gauss) con origen de coordenadas X: 1'000.000 Y: 1'000.000, del Observatorio Astronómico de Santa Fe de Bogotá D.C.

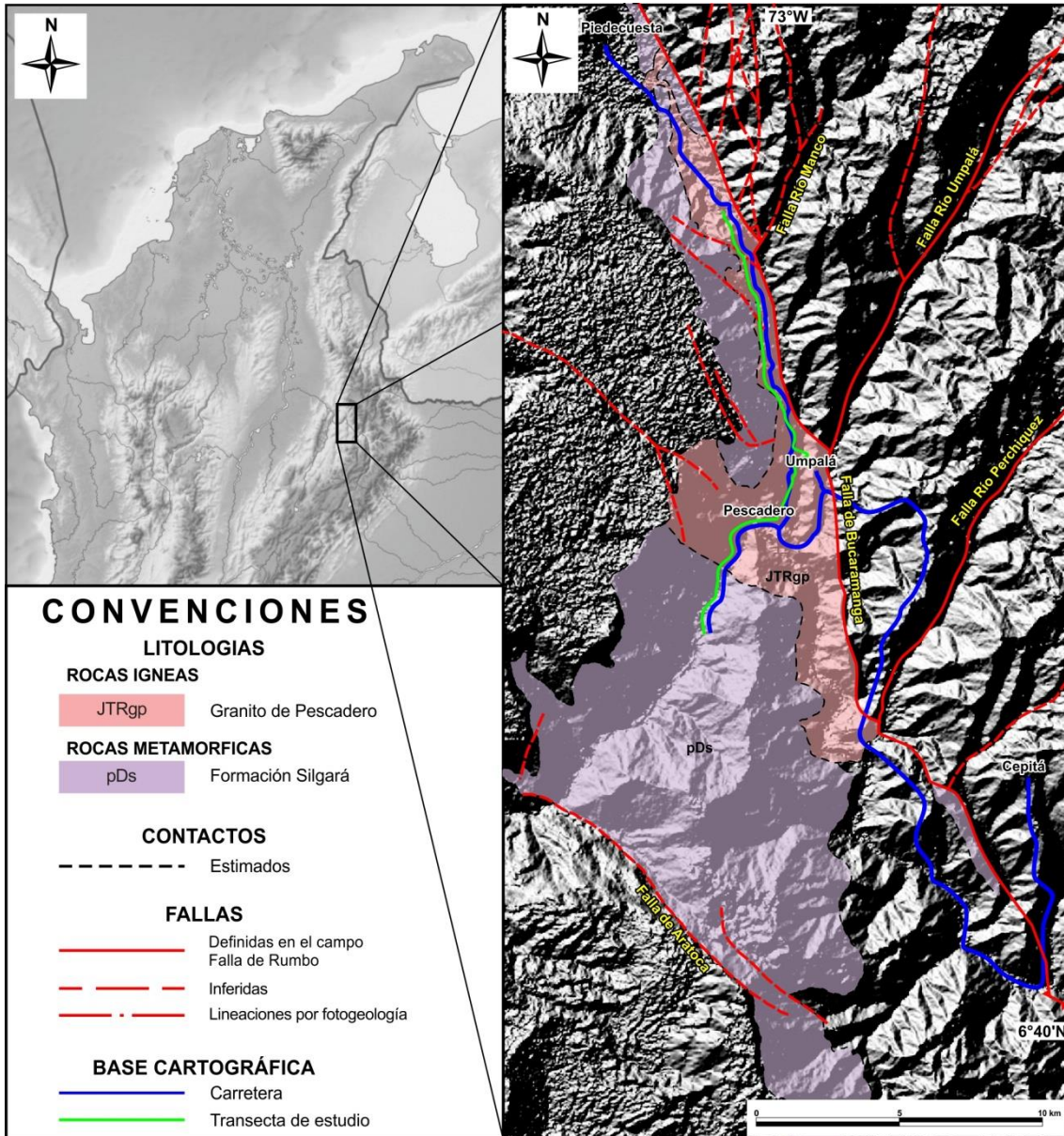


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. Representa la ubicación del cuerpo intrusivo de geometría elongada (Granito de Pescadero) emplazado en su roca encajante (Formación Silgará), mostrando la transecta de estudio (línea verde), al flanco izquierdo de la Falla de Bucaramanga, Macizo de Santander, Colombia. Imagen base: Modelo Digital de Elevación (DEM) del 2013.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar las deformaciones frágiles presentes en el Granito de Pescadero y la Formación Silgará y su relación con la Falla de Bucaramanga, entre el sector de Pescadero y Cepitá.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar una revisión cartográfica y estructural de la zona de estudio a escala 1:25.000 para representar las dimensiones del cuerpo intrusivo, su contacto con la roca encajante y la deformación generada por la Falla de Bucaramanga, a partir de la información bibliográfica previa y los datos estructurales recopilados en campo.
- Identificar y discriminar las familias estructurales de diaclasas, venas y estrías a partir de los datos obtenidos en campo usando análisis estadístico.
- Realizar un diseño del Modelo de la Evolución Tectónica Local en deformación frágil, para comprender la influencia de los esfuerzos aplicados en el Granito de Pescadero y su roca encajante (Formación Silgará).

3 METODOLOGÍA

Para el desarrollo y logro de los objetivos formulados se hizo un trabajo distribuido en las siguientes fases: 1) Fase de Recopilación de información bibliográfica y elaboración de un cronograma de trabajo, 2) Reconocimiento de la zona de estudio, 3) Selección de información estructural y análisis de datos, 4) Diseño y elaboración del modelo de sucesión de eventos estructurales en la zona de trabajo, 5) Edición del informe final.

3.1 Recopilación de información bibliográfica y elaboración de un cronograma de trabajo

Esta fase se inicia con la recopilación bibliográfica de estudios estructurales previos y mapas geológicos que han sido efectuados en la zona del Granito de Pescadero, a partir de artículos publicados sobre la zona de estudio y el Macizo de Santander, Tesis de grado desarrolladas previamente en el área y recursos electrónicos como el SICAT, el catalogo bibliográfico de la biblioteca de la UIS, etc.; con el fin de tomar fundamentos y definiciones básicas para el desarrollo y conocimiento de la zona de trabajo. Posteriormente se procede con la elaboración de un cronograma de trabajo que permita evaluar los objetivos a conseguir en un límite determinado de tiempo para el desarrollo de este trabajo de investigación.

3.2 Reconocimiento de la zona de estudio

Se llevó a cabo la visita a la zona de estudio, la cual, tuvo como objetivo el reconocimiento del área y determinación de los principales lugares donde los agentes deformativos en el Granito de Pescadero se hacen más evidentes. Posteriormente se efectuó la toma de datos estructurales que representan los tipos de deformación a la que ha sido sometido el Granito en base a las diaclasas, venas, estrías y fallas menores vistas en campo, realizando las

mediciones de manera consecutiva usando un método sencillo que constó en tomar los datos de los elementos que cortan o intersectan una línea recta prolongada e imaginaria.

Se realizó una revisión cartográfica y estructural para definir los contactos entre el cuerpo intrusivo con su roca encajante, y los puntos en contacto con las fallas geológicas presentes en la zona de estudio. El procedimiento de la revisión cartográfica en el sector de Pescadero constituyó en los siguientes pasos:

- El trabajo de campo se programó con una duración de 30 días, consistió en la recolección de información primaria, buscando adquirir el mayor número de estaciones distribuidas uniformemente en el área de estudio, estableciendo los aspectos más relevantes como: ubicación, contactos, geología local y datos estructurales.
- Mediante el uso de una imagen DEM del 2013 y los mapas cartográficos existentes, se realizó la representación de las unidades aflorantes y las fallas geológicas que circundan el área.
- Se digitalizó la geología y estructuras del sector de Pescadero a partir de los cuadrángulos H-12 y H-13 (Ward *et al.*, 1973), haciendo énfasis en las modificaciones propuestas a partir del reconocimiento de campo, también se exportaron los datos de foliaciones de dichos cuadrángulos para llevar una mejor revisión estructural.

3.3 Selección de información estructural y análisis de datos

Durante la etapa de reconocimiento de campo de la zona de estudio se tomaron mediciones sistemáticas del rumbo e inclinación de diaclasas, fallas menores, estrías y venas desarrolladas en el basamento cristalino. La recolección de los datos se realizó mediante una brújula tipo Brunton, tomando

las mediciones en nomenclatura de azimut de rumbo, además de la orientación se hizo una interpretación inicial de las diaclasas existentes en cada afloramiento, observando la relación que hay entre cada una de ellas. Posteriormente se analizaron las fallas menores aflorantes en el cuerpo rocoso, las cuales se determinaron debido a su elevado grado de deformación por la presencia de material altamente fracturado. Para expresión de los mismos se realizaron diagramas estereográficos mediante el programa Stereonet y Win Tensor, realizando un análisis estereográfico de las mismas, cuya finalidad es la definición de los patrones de fracturamiento en el Granito de Pescadero.

El trabajo de oficina hizo énfasis en el análisis de las diaclasas, venas, fallas menores y estrías, y su agrupación en familias a nivel de afloramiento, teniendo en cuenta que dentro de la transecta de estudio el estilo estructural no es homogéneo y por ello se tuvieron que dividir en grupos de familias, realizando la asociación de manera coherente.

3.4 Diseño y elaboración del modelo de sucesión de eventos estructurales en la zona de trabajo

A partir de los datos interpretados mediante el análisis estereográfico en la etapa anterior se procedió con la elaboración de un modelo de evolución tectónica que ilustra el comportamiento del emplazamiento a través del tiempo y la deformación frágil que sufrió, así evidenciando los eventos tectónicos que han dado lugar a el Granito de Pescadero en la actualidad.

3.5 Edición del informe final

Mediante la Integración de los resultados obtenidos en las diferentes fases del proyecto, la síntesis de conclusiones, redacción y digitalización de gráficos se diseñó el informe final con el cual se demuestra el trabajo realizado en este proyecto de grado para ostentar el título de geólogo.

4 ANTECEDENTES

Dentro del área de estudio se han obtenido trabajos previos de carácter petrográfico, estructural, geoquímico, hidrogeológico, etc.; que sirvieron para la elaboración del presente trabajo:

Ward *et al.*, (1973) realizaron la “Cartografía Geológica del Macizo de Santander, comprendida en los cuadrángulos H-12 de Bucaramanga y H-13 de Pamplona respectivamente, a escala 1:100.000 en los departamentos de Santander y Norte de Santander”; Lozano *et al.*, (1993) realizaron el estudio de las “Características geomecánicas del Granito de Pescadero y su aprovechamiento industrial”; García & Mantilla, (1995) elaboraron el libro titulado “Metamorfismo y metalogenia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (Colombia). UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga”; García & Castellanos, (1999) realizaron el trabajo de grado titulado “Estudio mineralógico y petrográfico de la Formación silgará en la franja Pescadero - Aratoca, Santander”; Mantilla *et al.*, (2001) elaboraron el estudio de la “Historia hidrotermal de la Formación Silgará a partir del estudio de inclusiones fluidas en al área de los municipios Cepitá y Aratoca (dpto. de Santander): implicaciones estructurales y metalogeneticas”; Royero & Clavijo, (2001). Elaboraron y editaron los documentos “Mapa geológico generalizado del Departamento de Santander a escala 1:400.000, memoria y mapa”; Mantilla, (2002) elaboró el “Estudio sobre el origen de los filones de fluorita en los municipios Cepita, Los Santos, Piedecuesta, y su relación con la historia hidrotermal del flanco suroeste del Macizo de Santander”; Ríos *et al.*, (2002) elaboraron la “Caracterización textural del granate y de sus elementos de deformación asociados, y modelamiento de su historia de nucleación y crecimiento en rocas pelíticas de la Formación Silgara en la región suroccidental del Macizo de Santander”; Zambrano *et al.*, (2002) desarrollaron el estudio del “Comportamiento estructural asociado al sistema de fallas Bucaramanga - Santa Marta y diaclasas, para definir una red de drenaje

subterráneo en el Macizo de Santander, sección entre Piedecuesta (Río de Oro) y Bucaramanga (Río Suratá”); Ordóñez, (2003) realizó el trabajo de grado para maestría titulado “Petrology and geochemistry of the granitoids at the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes”; Ordóñez & Mantilla, (2004) realizaron el estudio llamado “Significance of an early Cretaceous Rb-Sr age in the Pescadero Pluton, Santander Massif”; Mantilla *et al.*, (2006) elaboraron el estudio de la “Petrogénesis de venas hidrotermales con cianita en rocas metapelíticas de la Formación Silgara, región central del Macizo de Santander”; Ríos *et al.*, (2006) realizaron el estudio de la “Petrogénesis de las rocas calcosilicatadas que ocurren como bandas de reacción entre mármoles y rocas metapelíticas de la Formación silgara, región central del Macizo de Santander”; Castellanos & Ríos, (2008) elaboraron el “Itinerario geológico del basamento cristalino de la región suroccidental del Macizo de Santander”; Diaz *et al.*, (2009) realizaron la “Evaluación hidrogeológica preliminar de las unidades geológicas de la Mesa de los Santos, Santander”; García *et al.*, (2009) elaboraron la “Aplicación de la técnica AFTA@ (Apatite Fision Track Analisis) para la evaluación de la historia termal y evolución tectónica de un sector de Macizo de Santander”; Mantilla *et al.*, (2011) elaboraron el “Estudio mineralógico y petrográfico comparativo entre las rocas ígneas del Granito de Pescadero aflorantes en los sectores de Berlín (Tona), Curos (Piedecuesta) y Pescadero departamento de Santander, Colombia”; Mantilla *et al.*, (2011) elaboraron el “Estudio petrográfico y geoquímico de (cuerpos ígneos subvolcanicos) aflorantes en áreas de los municipios Piedecuesta y Aratoca (sector suroccidental del Macizo de Santander)”; Ríos *et al.*, (2012) realizaron el estudio de “Metamorfismo de la Formación Silgará en el sector Sardinata Abrego-hacari, región Norte del macizo de Santander, cordillera oriental, Colombia”.

4.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

4.1.1 Estratigrafía

La secuencia litológica sobre la zona de estudio exhibe una gran variedad, debido al complejo control estructural presente. La zona de estudio presenta litologías de tipo metamórfico, ígneo y sedimentario, con edades desde el Proterozoico hasta el Terciario, cubiertas parcialmente por depósitos Cuaternarios de origen diverso. Las litologías reconocidas en el presente estudio son las unidades metamórficas Neis de Bucaramanga (Complejo Bucaramanga) y la Formación Silgará, el cuerpo ígneo Granito de Pescadero, y las unidades sedimentarias Formaciones Floresta, Diamante, Tiburón, Bocas, Jordán, Girón y Tambor (Figura 2). A continuación se realiza una breve descripción de las unidades aflorantes y particularmente en el cuerpo ígneo.

- **Neis de Bucaramanga**

Esta unidad (Figura 2) pertenece a una secuencia de rocas meta-sedimentarias compuestas por paraneises pelíticos, semi-pelíticos y arenáceos, esquistos cuarzo micáceos y cantidades subordinadas de neises calcáreos, neises hornbléndicos, anfibolitas y mármoles, agrupadas en las facies anfibolita de baja presión de metamorfismo (Sánchez, 2001), datadas en edades del Proterozoico Superior (Royero & Clavijo, 2001).

Las unidades que suprayacen al Neis de Bucaramanga son del Paleozoico, Jurásico y aún del Cretácico. El Neis de Bucaramanga ha sido intruido por plutones félsicos del Paleozoico y Jurásico (Ward, *et al.*, 1973).

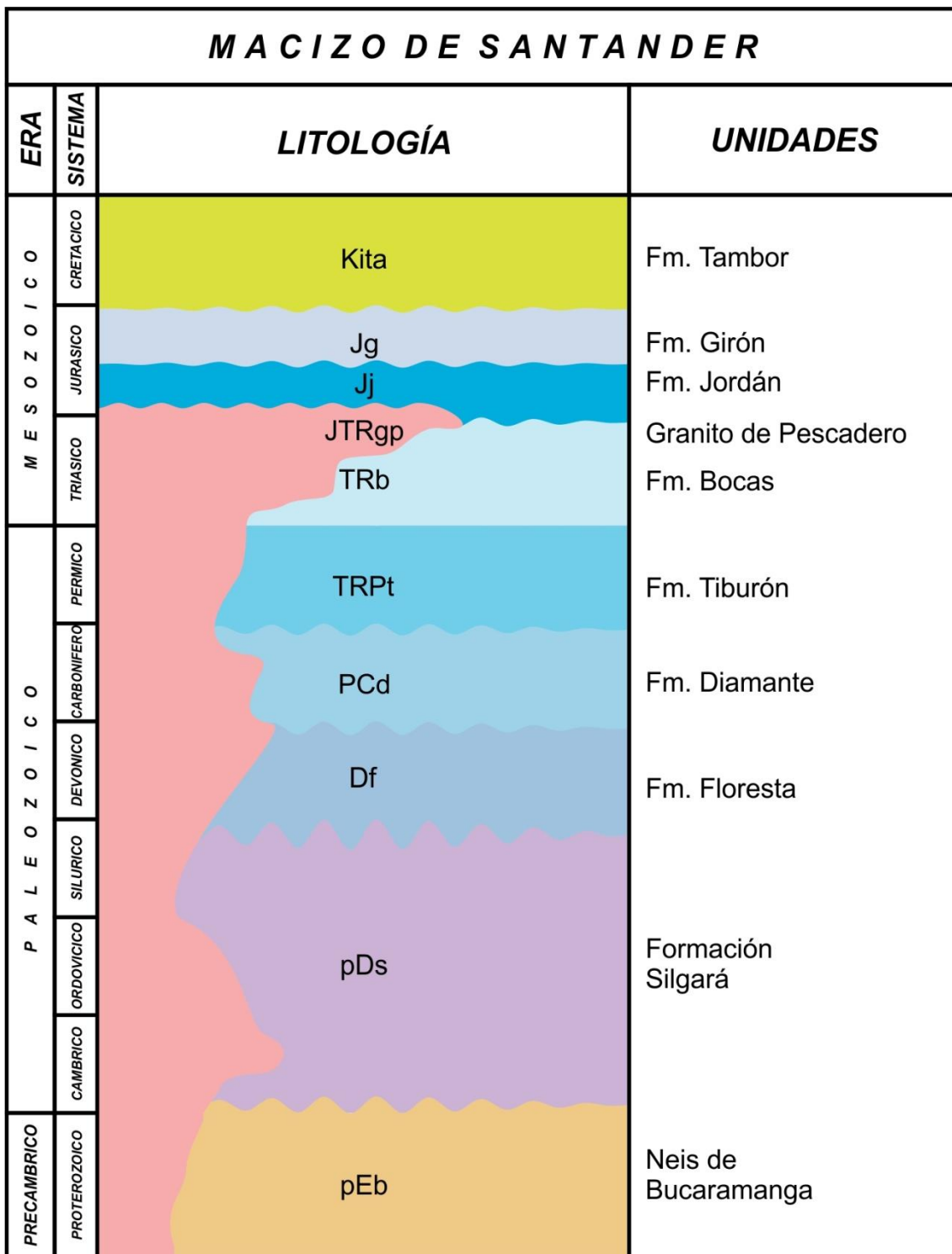


Figura 2. Columna cronoestratigráfica generalizada, Oeste de la Falla de Bucaramanga, Macizo de Santander.

- **Formación Silgará**

Unidad compuesta por pizarras, filitas, esquistos micáceos con sillimanita-granate y estaurolita, esquistos de granate-biotita-moscovita, esquistos micáceos con cianita, cuarcitas micáceas, mármoles, meta-conglomerados, meta-limolitas y meta-areniscas formados bajo las condiciones de las facies anfibolita y esquistos verde, con una presión de metamorfismo baja y localmente media (Sánchez, 2001), datadas en edades del Cámbrico al Ordovícico (Ward *et al.*, 1973). La Formación Silgará (Figura 2) suprayace el Neis de Bucaramanga e infrayace discordantemente a la Formación Floresta del Devónico. Esta unidad se encuentra distribuida en áreas irregulares del Macizo de Santander.

La principal estructura de carácter regional es la Falla Bucaramanga – Santa Marta de dirección NW, que pone en contacto a esta unidad metamórfica con rocas del Neis de Bucaramanga (Ward *et al.*, 1973).

- **Formación Floresta**

Unidad constituida por arcillolitas negras y areniscas multicolores, con intercalaciones de arcillolitas ocre, violetas, gris amarillentos y amarillo rojizas, con niveles fosilíferos y areniscas gris oscuras (Royero & Clavijo, 2001). El ambiente de depositación de esta unidad es de plataforma marina (Mojica & Villarroel, 1984).

“El contacto inferior con la Formación Tibet es concordante y transicional; mientras su contacto superior con la Formación Diamante es aparentemente concordante, pero localmente presenta discontinuidad estratigráfica” (Figura 2) (Royero & Clavijo, 2001). La unidad ha sido datada a través de fósiles en edad del Devónico medio (Cediel, 1969).

- **Formación Diamante**

Esta unidad consta de una secuencia que presenta una parte basal conformada por arenisca gris purpura, de grano fino, medio y localmente de

grano grueso a conglomerado; una parte media con lodolita gris oscura e intercalaciones de caliza del mismo color, y hacia la parte superior conformada de caliza gris oscura, ligeramente arcillosa con delgadas intercalaciones de arcillolitas y areniscas grises a rojo grisáceas (Royero & Clavijo, 2001). El ambiente de formación de esta unidad pertenece a un entorno epicontinental (Clavijo *et al.*, 1993).

“La Formación Diamante reposa en aparente discontinuidad estratigráfica sobre la Formación Floresta e infrayace discordantemente a la Formación Tiburón” (Figura 2) (Royero & Clavijo, 2001). Las dataciones por fósiles van en edades desde el Pensilvaniano medio al Pérmico medio (Ward *et al.*, 1973).

- **Formación Tiburón**

La unidad está constituida por conglomerados calcáreos, líticos, granosoportados, con fragmentos de guijos y guijarros de calizas subredondeadas a subangulares y en menor proporción por fragmentos de areniscas, cherts y rocas volcánicas, dentro de una matriz arenoso-calcareo, de color gris y de grano fino, provenientes de la Formación Diamante que infrayace a esta unidad (Figura 2). (Royero & Clavijo, 2001).

Rabe (1974) data a la Formación Tiburón de edad del Triásico y la considera producto de erosión de la Formación Diamante, debido a movimientos epirogénicos ocurridos al final del Paleozoico.

- **Formación Bocas**

Esta unidad se conforma por una alternancia de limolitas, areniscas y arcillolitas calcáreas, gris verdosas y gris oscuras, limolitas gris verdosas, con nódulos calcáreos, conglomerados gris verdosos y arcillolitas gris oscuras, fosilíferas, limolitas gris verdosas a rojo grisáceas, levemente calcáreas. Hacia la parte superior se encuentran capas delgadas de rocas volcánicas. Su ambiente de formación pertenece a un entorno continental. (Remy *et al.*, 1975).

“La Formación Bocas suprayace en discontinuidad estratigráfica al Neis de Bucaramanga, a las formaciones Silgará, Floresta e infrayace concordantemente a la Formación Jordán” (Figura 2) (Royero & Clavijo, 2001). La edad datada a través de conodontos para esta unidad es del Jurásico inferior (Remy *et al*, 1975).

- **Granito de Pescadero**

En el área de trabajo la unidad litológica representativa es el cuerpo ígneo intrusivo denominado Granito de pescadero, el cual está constituido por cristales leucocráticos, los cuales son considerados una variación del Batolito de Mogotes. Constituye un Intrusivo alargado de forma irregular, de 21 km de longitud aproximadamente, aflorando al Oeste de la Falla de Bucaramanga. Es un intrusivo que atraviesa la Formación Silgará en las edades datadas Triásico – Jurásico (Figura 2), según Ward *et al.*, 1973.

En el NE el granito presenta una alta densidad de fracturas asociadas a procesos tectónicos. Hacia el sur, en el cañón del río Manco, está intensamente diaclasado debido a que está en la zona de influencia de la Falla de Bucaramanga (Mendoza *et al.*, 1993).

El granito típico del sector de Pescadero se caracteriza por ser rosado naranja, de grano fino a muy fino, equigranular, ligeramente porfirítico, con fenocristales de feldespato potásico, solo ligeramente más grandes que el grano medio de la roca y unos pocos nidos dispersos de minerales máficos. Se tiene presencia de monzogranitos de grano fino con textura granofirítica, monzogranito porfirítico, y monzogranitos de grano grueso. Las texturas granofiríticas y porfiríticas sugieren que el granito se emplazó cerca a la superficie (Ward *et al.*, 1973).

Composicionalmente, el granito se constituye de feldespato potásico y cuarzo en un alto porcentaje, y minerales accesorio como biotita, zircón y apatito (Ward *et al.*, 1973).

Presenta diques pegmatíticos de grano muy grueso que atraviesan la unidad, compuestos de fenocristales de cuarzo y muscovita, asociados con los últimos estadios de la intrusión granítica; también presenta diques riolíticos de grano fino (Ward *et al.*, 1973).

Ordóñez (2003) reportó una edad Rb-Sr en roca total de 168 Ma para el Granito de Pescadero. Según Ordóñez (2003), el cuerpo intrusivo muestra evidencias de alteración hidrotermal a escala mineral, lo que hace el sistema Rb-Sr roca total más efectivo que las dataciones en minerales como biotita o anfíbol que son fácilmente afectados por procesos hidrotermales.

Ordóñez & Mantilla (2004) reportaron una edad Rb-Sr en roca total-mineral de 129 ± 8 Ma para el Granito de Pescadero, que de acuerdo a estos autores se entiende como una edad de reajuste isotópico que data un evento hidrotermal del Cretácico temprano (Valanginiano-Barremiano) registrado en la región suroccidental del Macizo de Santander, el cual no estaría asociado con la actividad magmática del cuerpo intrusivo sino con la paleo-elevación del macizo.

En base a los estudios de dataciones para el Granito de Pescadero citados anteriormente, Ordoñez (2003) interpretó la edad de 168 Ma como la edad de cristalización del intrusivo e identificó una zonación vertical en el intrusivo que se manifiesta por cambios texturales y geoquímicos.

Texturalmente, las partes topográficamente más altas y externas del intrusivo se caracterizan por la presencia de monzogranitos de grano fino con textura granofírica, la parte intermedia del intrusivo corresponde a un monzogranito porfirítico, y las partes topográficamente más bajas e internas del intrusivo se caracterizan por la presencia de mozogranitos de grano grueso. Las texturas granofíricas y porfiríticas sugieren que este intrusivo se emplazó cerca de la superficie, probablemente a una profundidad no mayor de 4 km (Ordoñez, 2003).

En el sector de Pescadero en las zonas de contacto del granito con la Formación Silgará, ocurre una abundancia de venas pegmatíticas, posiblemente relacionado con la evolución magmática tardía del intrusivo (Ordoñez, 2003).

Este cuerpo intrusivo muestra fracturamiento (diacclasas) y alteración hidrotermal representada por silicificación y epidotización, aunque también argilitización, esta última asociada a los depósitos de fluorita que ocurren en la zona marginal del Granito de Pescadero hacia el contacto con la formación Silgará. Estos fenómenos se consideran post-magmáticos en un ambiente tectónico de extensión (Ordóñez & Mantilla, 2004).

- **Formación Jordán**

Unidad formada por areniscas gris verdosas, de grano grueso a ligeramente conglomerática, con estratificación cruzada; intercalados se presentan niveles de arcillolitas gris verdosas. En la parte superior se encuentran intercalaciones de limolitas, de color marrón rojizo a rojo grisáceo y areniscas de grano fino en capas medianas. El ambiente de depositación de esta unidad es continental vulcanoclástico (Royero & Clavijo, 2001).

Esta formación infrayace discontinuamente a las formaciones Girón y Tambor; suprayace concordantemente a la Formación Bocas (Figura 2). Esta unidad se considera de edad Jurásico inferior y medio (Royero & Clavijo, 2001).

- **Formación Girón**

La Formación Girón se compone por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente conglomerático, de color rojo violáceo, rojo grisáceo y gris verdoso, con estratificación cruzada, en capas gruesas, con interestratificaciones de limolitas y lodolitas, de color rojo violeta, grisáceo. El ambiente de depositación de esta unidad es continental, fluvial a lacustre-fluviátil (Royero & Clavijo, 2001).

Esta formación se encuentra en discontinuidad estratigráfica sobre las formaciones Bocas y Jordán e infrayace concordantemente a la Formación Tambor (Figura 2) (Royero & Clavijo, 2001). A la Formación Girón se le ha dado una edad Jurásico superior – Cretácico inferior (Pons, 1982).

- **Formación Tambor**

Unidad constituida por areniscas conglomeráticas, lodolitas rojo grisáceas y cuarzoareniscas gris amarillentas, con estratificación cruzada. Su ambiente de depositación se ha interpretado en un entorno fluvial acumulado por corrientes trezadas (Clavijo, 1985, Laverde & Clavijo, 1985).

Se encuentra en discontinuidad estratigráfica en la parte inferior con la Formación Girón (Figura 2), mientras que en la parte superior está en contacto concordante con la Formación Cumbre. Esta unidad ha sido datada en edad Berriasiano (Cediel, 1968; Etayo & Rodríguez, 1985)

4.1.2 Geología Estructural

- **Marco Tectónico Regional**

El nororiente colombiano es un territorio geológicamente complejo y tectónicamente dinámico; su distribución está relacionada con la interacción de las placas tectónicas Nazca, Caribe y Suramérica.

La zona de estudio tectónicamente corresponde a la provincia geológica Macizo de Santander (Figura 3), donde el rasgo característico principal es el complejo ígneo-metamórfico denominado Macizo de Santander, el cual sufrió levantamiento tectónico dentro del evento orogénico que dio lugar a la formación de la Cordillera Oriental en los Andes Colombianos. Estos esfuerzos tectónicos han deformado las unidades aflorantes en la zona de estudio. La zona está fuertemente afectada por el sistema de fallas de Bucaramanga – Santa Marta, como la falla principal más importante de la zona de trabajo. Este sistema de fallas presenta direcciones principales de fracturamiento, con

sentido NW – SE; asociadas a este sistema se encuentran otras fallas menores.

➤ **Fallas**

La principal falla identificada en la zona de estudio posee un sistema transcurrente lateral izquierdo, con una componente vertical, dirección de rumbo N-NW; también se presentan fallas secundarias con desplazamientos laterales derechos, orientadas hacia el Noreste. Estas fallas se reconocen como: Falla de Bucaramanga, Falla del Rio Manco, Falla de Umpalá y Falla de Perchiquez.

✓ **Falla de Bucaramanga**

La Falla de Bucaramanga es el segmento Sur del sistema de fallas de Santa Marta-Bucaramanga, que se extiende desde el Mar Caribe, en el Norte, hasta el pueblo de Ricaurte, en el Sur (Figura 4), cubriendo una distancia de 550 km (Paris *et al.*, 2000).

Durante la Orogenia Andina se formaron los cabalgamientos que limitan la Cordillera Oriental de Colombia y la Serranía del Perijá, cuyas estructuras plegadas afectan las formaciones del Mioceno. En esta época se sitúa el desplazamiento de rumbo sinextral de la Falla de Bucaramanga (Boinet *et al.*, 1989).

La Falla de Bucaramanga se amortigua en la Cordillera Oriental como fallas inversas (Figura 4), que solo pueden absorber una pequeña parte del desplazamiento observado al norte. Al NW de estos intrusivos el bloque occidental está hundido, mientras que al SE está levantado (Boinet *et al.*, 1989).

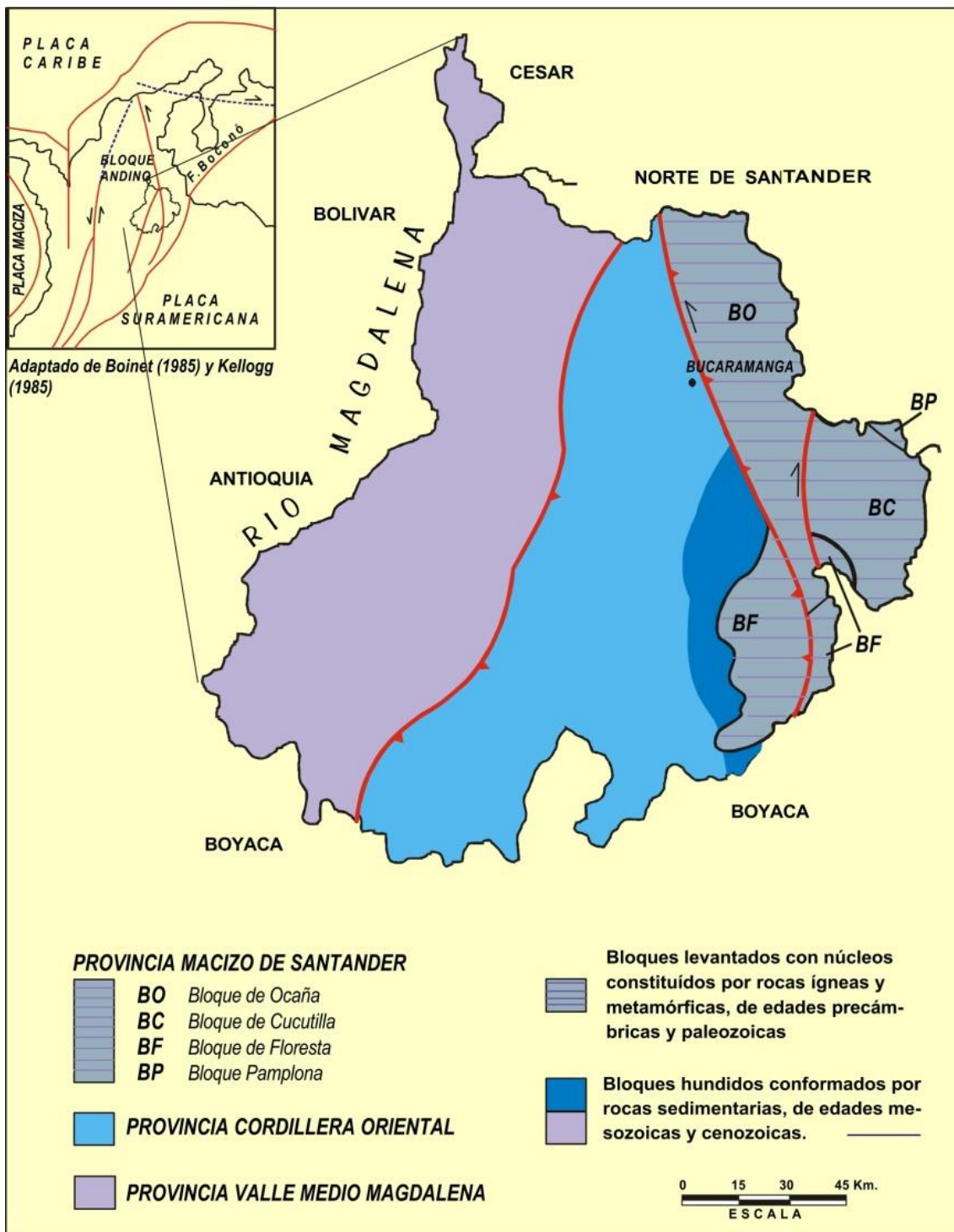


Figura 3. Esquema tectónico del Departamento de Santander. Adaptado de Clavijo *et al.*, (1993). Tomado de Royero & Clavijo (2001).

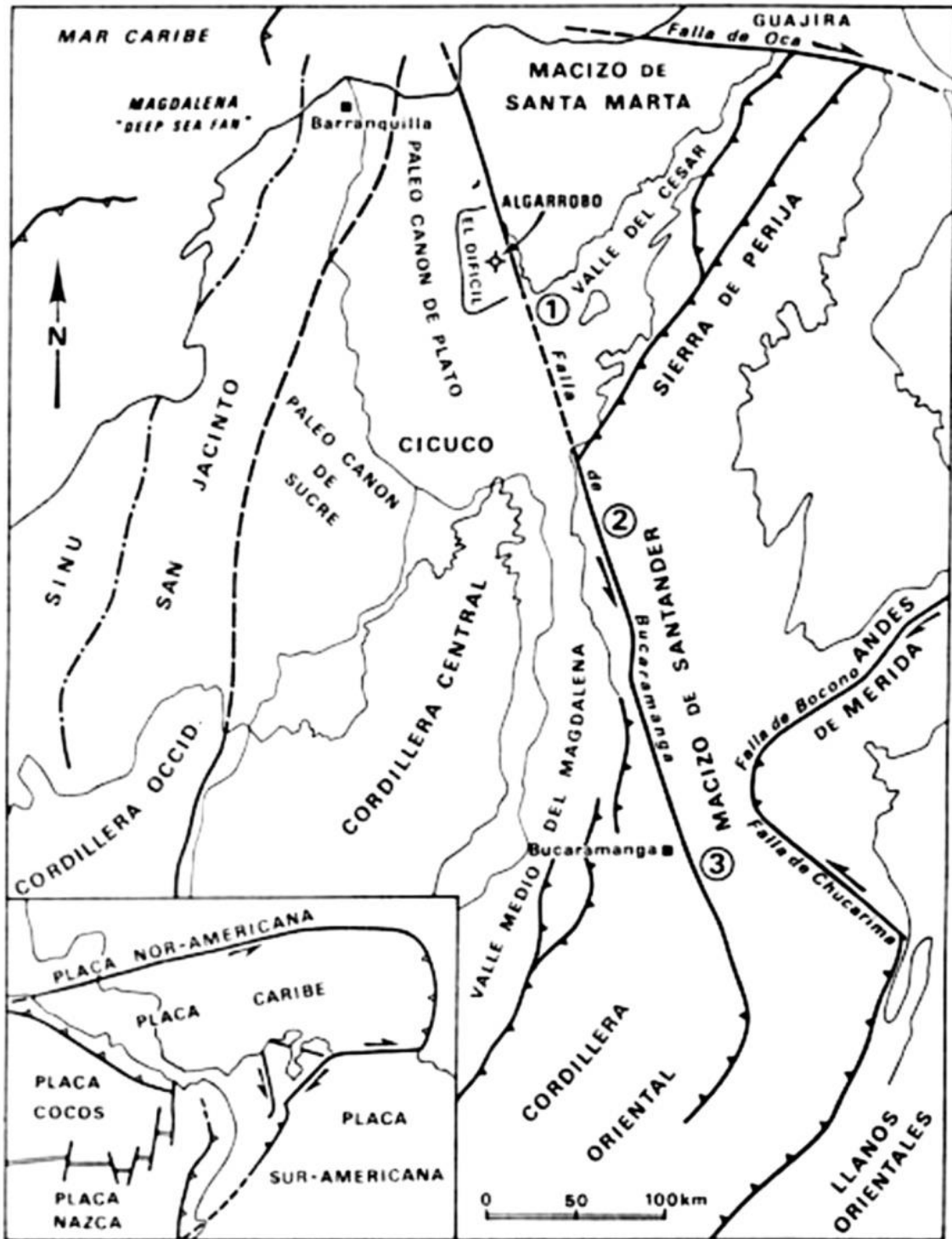


Figura 4. Principales rasgos geológicos del Norte de Colombia. Tomado de Boinet et al., (1989).

Se trata de un sistema de falla transcurrente lateral izquierdo con una componente vertical asignada por Ward *et al.*, (1973), muy importante que ha causado el levantamiento del Macizo de Santander; también la Falla de Bucaramanga presenta un movimiento horizontal acumulativo estimado por varios autores entre 30 y 224 kilómetros (Boinet *et al.*, 1989, Ujueta, 2003). La zona de falla presenta una gran cantidad de roca fracturada localmente cizallada. La falla de Bucaramanga está orientada aproximadamente N20°W y es considerada un sistema de fallas de cabalgamiento de gran extensión (Royero & Clavijo, 2001), pone en contacto en el Macizo de Santander a los esquistos de la Formación Silgará con los neises y anfibolitas del Neis de Bucaramanga en el bloque oriental.

La Falla de Bucaramanga determina el frente montañoso que marca el límite occidental del Macizo de Santander con la franja hundida de La Mesa de los Santos, la Mesa de Ruitoque y el Abanico de Bucaramanga (Julivert, 1959).

✓ **Falla del Río Manco**

Esta falla de dirección noreste se extiende desde la Falla de Bucaramanga por las largas distancias a través de las rocas ígneas y metamórficas de la parte suroccidental del cuadrángulo H-13 (Ward *et al.*, 1973) (Figura 2). Donde corta la Falla de Bucaramanga, produciendo desplazamientos laterales derechos (Ward *et al.*, 1973).

✓ **Falla de Umpalá**

Esta falla presenta un rumbo N30°E predominante y su trazo sigue el curso del Río Umpalá (Figura 2); se extiende por unos 24 Km en Santander a través de rocas ígneas y metamórficas (Ward *et al.*, 1973). Es una falla de rumbo con desplazamiento lateral derecho que afecta la Falla Bucaramanga.

✓ **Falla de Perchiquez**

Su lineamiento sigue el curso actual del Rio Perchiquez (Figura 2); se trata de una falla de rumbo con desplazamiento lateral derecho (Carrillo & Bernal, 1992). Afecta la Falla de Bucaramanga en el sector de Pescadito y Cepitá.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Estructuras de Deformación

- **Consideraciones Teóricas**

- **Deformación**

El termino deformación se refiere al cambio de la forma y orientación de los componentes (rotación) que constituyen las rocas; el cambio de volumen también constituye un factor que controla el movimiento de las componentes unos respecto a otros (distorsión), que es el cambio de la forma interna de una partícula (Ragan, 1987).

La deformación puede ser homogénea o no homogénea (heterogénea). Usualmente el flujo de un material es no homogéneo, puesto los patrones de flujo varían de un lugar de la muestra a otro, lo que provoca que sea difícil de describir, sin embargo para trabajar sobre este tipo de deformación se debe hacer a una escala específica. La Figura 5 muestra que el flujo puede ser aparentemente homogéneo e identifica patrones a lo largo del volumen del material; en este tipo de deformación, las líneas rectas en el estado inicial dejan de serlo un tiempo después, igualmente sucede con las líneas paralelas.

La deformación y emplazamiento del Granito de Pescadero involucró altas temperaturas, donde se produjo una disminución en la tensión o resistencia a la cesión de la roca (comportamiento elástico) y en cierto punto la tasa de temperatura sufrió una variación, ocasionando que en el material granítico cese la fatiga por la temperatura, aumentando la tensión sobre la roca, y así

soportando un esfuerzo permanente, que hizo que el cuerpo intrusivo se fracture y presente deformación frágil (comportamiento plástico) (Catalán, 2003).

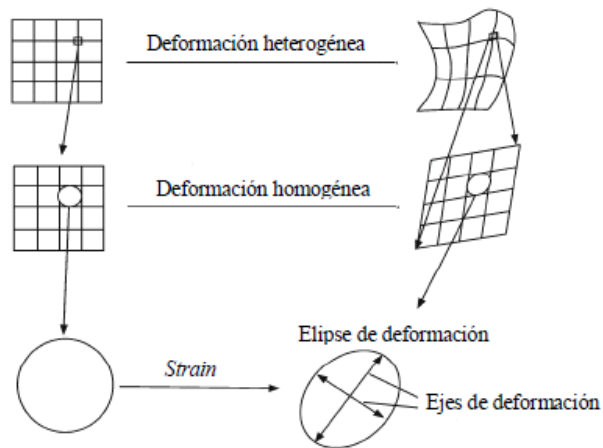


Figura 5. Ilustración de los conceptos de deformación homogénea y no homogénea (heterogénea). A la izquierda se tienen los estados iniciales de los materiales antes de la deformación. A la derecha, en la parte superior, deformación heterogénea o no homogénea, la cual puede incluir en su interior sectores que a una escala menor presentan deformación homogénea. (Tomado de Passchier & Trouw, 2005).

○ Deformación Frágil y Dúctil

Hay varios términos que describen como una roca falla bajo fatiga. Estos términos son ampliamente mal empleados en geología. Para este trabajo se tendrán en cuenta los siguientes términos, haciendo énfasis en el tipo frágil:

Frágil – Si la falla ocurre durante la deformación elástica y se localiza a lo largo de un solo plano, es llamada frágil. Ésta es deformación no-continua, y el pedazo de roca que es afectado por deformaciones frágiles se partirá en muchos pedazos.

Dúctil – Este se usa para cualquier roca o material que pueden sufrir grandes cambios de forma (sobre todo estiramiento) sin romperse. La deformación dúctil puede ocurrir crujiendo y fracturándose a escala de granos individuales o flujo de minerales individuales.

- **Estructuras Discontinuas**

Hay dos tipos básicos de estructuras discontinuas: **Fallas** – discontinuidades en las cuales un bloque ha deslizado y pasado a otro, y **Diaclasas** – donde el bloque se mueve, pero no se desliza sobre otro. Muchas de las vistas modernas de esas estructuras son basadas en la teoría de grieta o fractura (crack):

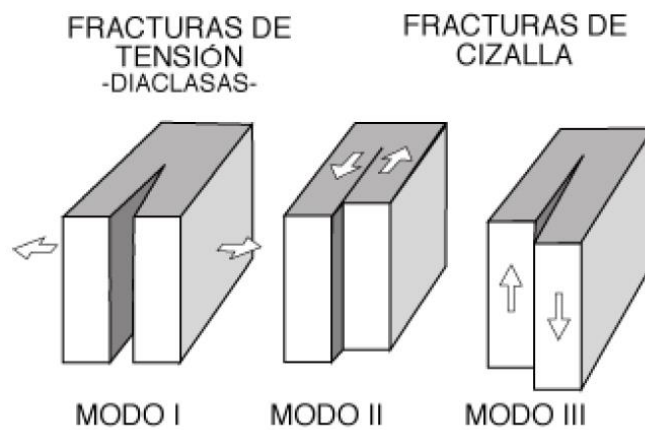


Figura 6. Tipos de fracturas según Anderson. Modo I: Abertura, Modo II: Deslizamiento, Modo III: Desgarramiento. (Tomado de Catalán, 2003).

Las fracturas **modo I**, son fracturas de tensión en las que se produce la separación de los bloques perpendiculares al plano de fractura, sin movimiento de cizalla y bajo la actuación de esfuerzos efectivos tensionales normales al plano de fractura. Las fracturas **modo II**, son fracturas de cizalla, que producen un deslizamiento paralelo al plano de fractura y perpendicular a su frente, se desarrollan bajo la actuación de esfuerzos cuya orientación es perpendicular al frente de fractura. Las fracturas **modo III**, son fracturas de cizalla con un movimiento paralelo al plano de fractura y al frente de la misma. Se desarrollan bajo la actuación de esfuerzos también paralelos al frente de fractura. Las fallas son fracturas del modo II o III, mientras que las diaclasas son fracturas del modo I (Figura 6).

✓ **Fracturamiento**

Se denomina fractura a una discontinuidad planar de la roca, originada a partir del proceso de deformación frágil que da lugar a la separación o deslizamiento relativo de los bloques a ambos lados del plano de rotura (Engelder *et al*, 1993).

Esencialmente, existen dos tipos de fracturas en las rocas: las producidas por esfuerzos tensionales y las producidas por esfuerzos de cizalla. Las primeras se llaman fracturas de tensión y se producen según superficies aproximadamente perpendiculares a la dirección de aplicación del esfuerzo tensional. Una vez creadas, las dos partes del cuerpo a ambos lados de la fractura tienden a separarse (Figura 6, Modo 1), dejando un hueco que puede ser ocupado por precipitados minerales o por material fundido que se encuentre en las proximidades. Cuando no se rellena, la fractura se denomina grieta si es grande y fisura si es pequeña. Si se rellena de material por precipitación a partir de fluidos se llama filón si es grande, y vena si es pequeña. Cuando es ocupado por un magma da lugar a un dique. En este tipo de fractura, no hay deformación permanente antes que la roca se rompa, alguna deformación ocurre antes que esta se rompa.

“La fractura es fuertemente dependiente de la presión de confinamiento y la presencia de fluidos, pero no es fuertemente dependiente de la temperatura a pesar de que la misma determina el tipo de deformación presente en el material” (Catalán, 2003). En las producidas por esfuerzos de cizalla, denominadas fracturas de cizalla, las superficies no tienden a separarse, sino que deslizan uno sobre otro (Figura 6, Modos 2 y 3).

Existen dos modelos teóricos que describen las condiciones del estado de esfuerzos bajos los cuales se originan las fracturas: el criterio de Navier-Coulomb y el criterio de Griffith. El criterio de Navier-coulomb define el origen de las fracturas desarrolladas en planos sometidos a esfuerzos de cizalla; afirma que las rocas se fracturarán según un plano donde el esfuerzo de cizalla

supere la resistencia a la rotura de la roca y que además pueda vencerse la fuerza de rozamiento que se opone al deslizamiento de los bloques de falla (Sevillano, 2000). El criterio de Griffith identifica la formación de fracturas bajo la actuación de un campo de esfuerzo triaxial, donde al menos uno de los esfuerzos principales es de tensión. Tales fracturas son perpendiculares al menos un esfuerzo principal.

✓ **Fallas**

“Las fallas son fracturas de cizalla con un movimiento relativo apreciable (Figura 6, Modos 2 y 3). En rocas que no están fracturadas previamente, las fallas, como cualquier otro tipo de fracturas, se crean cuando el estado de esfuerzo es tal que en planos determinados de la roca se cumple la condición de fracturación, que viene dada por la envolvente de Mohr de esa roca. Como la superficie terrestre es siempre un plano principal del elipsoide de esfuerzo y como aproximadamente es horizontal a gran escala, dos de los esfuerzos principales cerca de la superficie deben ser horizontales y uno vertical” (Catalán, 2003).

✓ **Diaclasas**

“Las diaclasas son aspectos característicos de todas las rocas relativamente cerca de la superficie terrestre. Ellas son de gran importancia práctica debido a que ellas son superficies pre-fracturadas. Representan una ruptura en la roca a lo largo de la cual no ha habido cizallamiento, solo extensión. Básicamente, ellas son fracturas de modo I (Figura 6). Si estas no son rellenas con nada, son llamadas diaclasas; si hay material precipitado en la ruptura, entonces es llamada vena” (Catalán, 2003).

La formación de una diaclasa requiere de la existencia de una tensión perpendicular al plano de fractura, sin embargo, estas condiciones pueden darse bajo la aplicación de esfuerzos remotos, tanto tensionales como compresivos. El esfuerzo de tensión perpendicular a la fractura que se requiere

para su desarrollo y propagación puede obtenerse bajo distintas condiciones en la naturaleza (Engelder, 1982):

- ✓ Bajo una tensión absoluta (enfriamiento, plegamiento, etc.).
- ✓ Cuando una roca se somete a compactación y un esfuerzo compresivo, si además existe una presión de poro cuya magnitud supera la del esfuerzo compresivo (Secor, 1965), entonces el esfuerzo efectivo en la roca es aproximadamente cero. En este caso se produce una tensión efectiva neta, a pesar de la existencia de un esfuerzo compresivo remoto perpendicular al plano de fractura.
- ✓ Si existe un esfuerzo de tensión cerca del extremo de la fractura mientras que el esfuerzo remoto perpendicular a ella es aproximadamente cero o ligeramente compresivo, la diaclasa puede propagarse sin necesidad de una tensión efectiva neta a lo largo de toda la longitud de la diaclasa (Sevillano, 2000).

La forma de la superficie de fractura en la diaclasa depende de la morfología del cuerpo rocoso en el que se aloja y del carácter homogéneo o no homogéneo (heterogéneo) del campo de esfuerzos que actúan en el momento de la propagación (Sevillano, 2000).

Si las diaclasas se originan en un cuerpo rocoso masivo, como un cuerpo intrusivo, tienden a presentar una superficie elíptica, y en este caso no presentan ninguna orientación determinada.

Cuando el campo de esfuerzos bajo el que se propaga la fractura es homogéneo, las diaclasas presentan superficies planares. Cuando el campo de esfuerzos es no homogéneo (heterogéneo), el extremo de la fractura varía su trayectoria buscando nuevamente el plano en el que se consume la menor energía y orientación normal al mínimo esfuerzo principal, generándose una superficie curvilinear.

A partir de lo que se deduce es que las diaclasas son estructuras que se relacionan directamente con la orientación y magnitud de campos de esfuerzos tanto locales como remotos.

- **Generación de una diaclasa**

Las diaclasas se inician en relación a imperfecciones en la roca, que perturban el campo de esfuerzos, de manera que cuando los esfuerzos de tensión locales que afectan a dichas imperfecciones superan la resistencia a la rotura de la roca, se estará en un punto en el que se inicia la formación de una diaclasa.

Los mecanismos que actúan durante el inicio de una diaclasa parten de dos procesos fundamentales: la concentración del esfuerzo de tensión en los bordes de imperfecciones de la roca, y la existencia de esfuerzos de tensión locales inducidos por esfuerzos remotos compresivos (Sevillano, 2000). La existencia de las imperfecciones mencionadas, producen una variación en el campo de esfuerzos homogéneos en un medio elástico.

Otro proceso que explica la formación de diaclasas bajo un campo de esfuerzos compresivos es el levantamiento y descompresión de rocas previamente sometidas a una importante carga litostática, y al aumento de temperatura derivado del gradiente geotérmico. Cuando las rocas sufren erosión o cualquier proceso que haga que se acerquen a la superficie (exhumación), se someterán a nuevos esfuerzos, del tipo tensional, y si estos esfuerzos son suficientemente elevados se formarán diaclasas en la roca. Dichos esfuerzos se deben a:

- ✓ Una pérdida de presión litostática, provocando una expansión en la vertical y al mismo tiempo originando esfuerzos compresivos en la horizontal.
- ✓ Una contracción de las rocas por pérdida de calor. Este mecanismo hace que las rocas se enfríen y contraigan en todas las direcciones, actuando libremente en la vertical, pero limitado en la horizontal; generando esfuerzos tensionales.

- ✓ De acuerdo al efecto membrana, provocado por los esfuerzos tensionales, cuando la superficie de la roca aumenta al alejarse del centro de la tierra.

A veces en rocas próximas a la superficie se originan diaclasas paralelas entre sí, cuyo origen resulta problemático debido a que los esfuerzos verticales son compresivos y la presión de fluidos es pequeña. La explicación para estas diaclasas es que se forman donde los esfuerzos compresivos horizontales superan a los verticales, o que existen esfuerzos residuales que se liberan cuando las rocas se acercan a la superficie. Este último caso se interpreta como el que ocurre en rocas intrusivas isótropas.

- **Asociación de diaclasas**

Las diaclasas sistemáticas son significativamente suaves y planares con espaciamiento regular. Ellas casi siempre ocurren en grupos de diaclasas paralelas. Los grupos de diaclasas son sistemáticos sobre grandes regiones. Los Sistemas de Diaclasas están compuestos de dos o más grupos de diaclasas. Las diaclasas que ocurren regularmente entre dos miembros de un grupo de diaclasas son llamadas Diaclasas cruzadas (Figura 7).

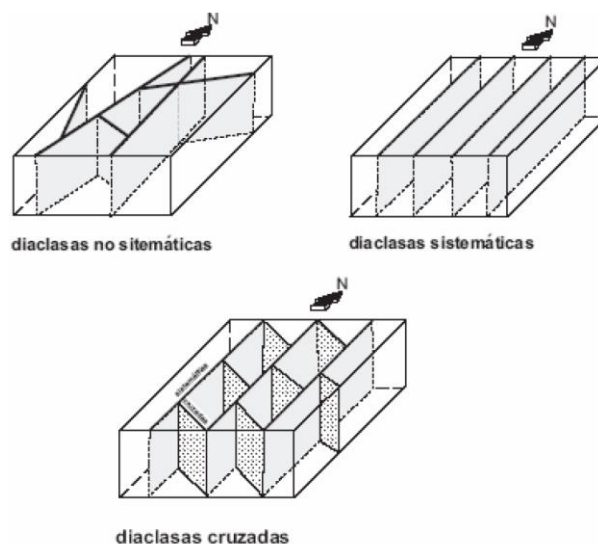


Figura 7. Distintas asociaciones de diaclasas en una familia: diaclasas sistemáticas, no sistemáticas y cruzadas (Tomado de Sevillano, 2000).

Las diaclasas nunca se desarrollan como fracturas aisladas, cuando estas son sistemáticas aparecen formando familias o grupos de diaclasas. Generalmente en una misma área de estudio aparecen varias familias, cada una de las cuales poseen características propias. Los sistemas de diaclasas son consistentes sobre largas regiones indicando que la escala de los procesos que controlan el diaclasamiento es también de naturaleza regional.

Se describen tres tipos de diaclasas relacionadas con fallas: aquellas relacionadas con el campo de esfuerzos que genera la falla, con orientaciones paralelas y a 45° del plano de falla. Las asociadas a esfuerzos locales de tensión debido al movimiento de los bloques de falla, con orientaciones paralelas, perpendiculares y oblicuas. Finalmente las que se forman debido a esfuerzos tensionales producidos durante el movimiento de la falla.

“Se presentan algunos tipos especiales de diaclasas, tales como Diaclasas de enfriamiento en rocas volcánicas: El proceso involucrado es contracción termal, una vez la roca se enfría esta se contrae, estriándose aparte. Este es la fuente de las bien conocidas diaclasas columnares en las rocas basálticas, etc.” (Catalán, 2003).

✓ **Venas**

Las venas se forman cuando las diaclasas u otras fracturas en una roca con una cantidad pequeña de cizalla son rellenas con material precipitado a partir de un fluido. Por muchas razones, las venas son extremadamente útiles en el estudio local de deformaciones regionales.

Registran esfuerzos incrementales, muchas contienen materiales datables, las inclusiones fluidas en él registran las condiciones de temperatura y presión al tiempo que la vena se formo (Catalán, 2003). Hay dos tipos de venas fibrosas, y esta es importante distinguirlas para así usarlas en análisis estructural:

- **Venas sintaxiales:** se forman cuando la vena tiene la misma composición de la roca huésped. El primer material nuclea en cristales en la pared de la vena y crece en continuidad óptica con ellos. Nuevo material es agregado en el centro de la vena.
- **Venas Antiaxiales:** se forman cuando la vena de material es de composición diferente que la roca huésped. Nuevo material es siempre agregado en las márgenes de las venas.

✓ Foliaciones

La palabra foliación es usada como un término general para describir algún rasgo planar que ocurre penetrativamente en una masa de roca (Passcheir & Trouw, 2005). Se refiere a estratificación rítmica en un cuerpo sedimentario, a bandeamiento composicional en rocas ígneas o clivaje, esquistosidad u otra estructura planar en rocas metamórficas. También puede ser definida por una variación espacial en composición mineral o de tamaño de grano, por una orientación preferencial o granos alargados, y por discontinuidades o por una combinación de estos elementos (Figura 8).

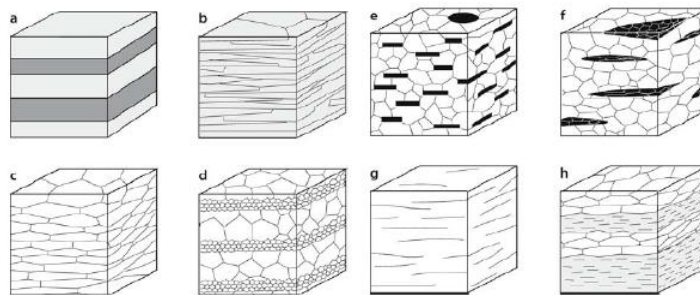


Figura 8. Esquema de varios elementos de fábrica que pueden generar una foliación. a) Bandeamiento Composicional; b) Orientación preferencial de minerales hojosos; c) Orientación de límites de grano y formas; d) Variación del tamaño de grano; e) Orientación preferencial de granos hojosos en una matriz sin orientación preferencial; f) Orientación Preferencial de agregados de minerales lenticulares; g) Orientación preferencial de microfallas; h) Combinación de elementos de fábrica a,b,c. (Tomado de Passcheir & Trouw 2005).

Existen dos tipos de foliaciones, Primarias y Secundarias. Las primarias están relacionadas con los procesos formadores de roca y la foliación secundaria es un proceso que ocurre posteriormente (Tabla 1).

FOLIACIÓN PRIMARIA	FOLIACIÓN SECUNDARIA
Estructuras sedimentarias pueden ser reconocidas	No hay estructuras sedimentarias presentes.
Espesores de bandas pueden presentar variación, especialmente a través del rumbo.	Pequeña variación de los espesores, usualmente dos espesores constantes.
Composición y tamaño de grano de bandas puede ser variable.	Composición de bandas usualmente bimodal.
Bandeamiento usualmente planar.	Bandeamiento anastomosado.
Raramente un plano de simetría paralelo al bandeamiento.	Normalmente un plano de simetría paralelo al bandeamiento.
Foliación paralela a los planos axiales del pliegue	Foliación subparalela al plano axial de pliegues de una foliación temprana; comúnmente formada por una deformación del flanco de un pliegue.

Tabla 1. Criterios para distinguir entre foliación primaria y secundaria. (Tomado de Passchier & Trouw, 2005).

✓ **Lineaciones**

El término lineación se emplea para describir cualquier estructura lineal repetitiva presente en una muestra de roca, el cual puede definirse con mayor precisión como cualquier elemento de fábrica lineal (Figura 9); puede ser una estructura primaria ígnea, sedimentaria o una estructura secundaria a la deformación (Hobbs *et al.* 1981). Las lineaciones se producen a veces por recristalizaciones de minerales en el plano de falla.

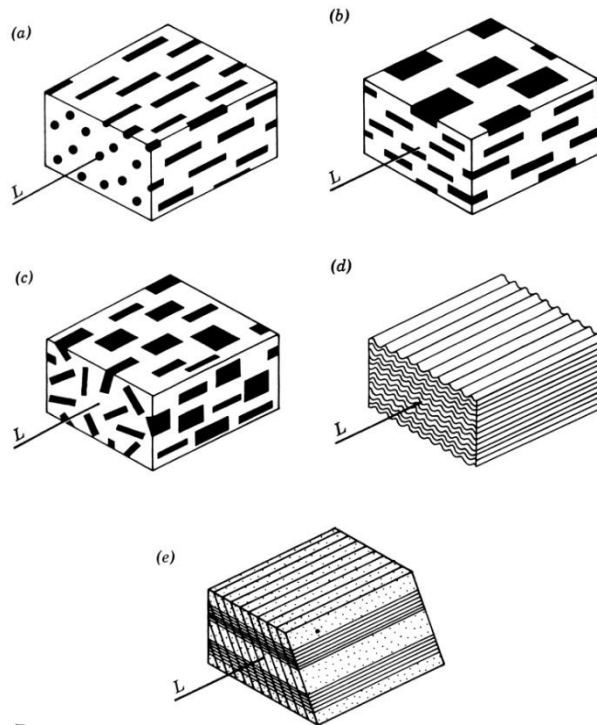


Figura 9. Diagrama que representan lineaciones. (a) Fábrica lineal simple definida por orientación preferente de cuerpos lineales. (b) Combinación de lineación y foliación definida por orientación preferente de cuerpos tabulares alargados. (c) Fábrica lineal definida por un eje común de intersección de cuerpos tabulares alargados de diversa orientación. (d) Fábrica lineal definida por plegamiento penetrativo. (e) Lineación definida por la interacción de dos foliaciones. (Tomado de Hobbs *et al.* 1981).

✓ Estrías de falla

Las estrías son marcas del movimiento tectónico. Se presentan como líneas finas arriba de un plano de falla (Figura 10). Las estrías en el plano de falla definen una lineación que indica la dirección del movimiento, y se deben en general a la acción abrasiva de un labio de la falla sobre el otro. Las estrías de falla son comúnmente asociadas al fallamiento frágil. Las estrías a menudo están compuestas de cristales fibrosos que se extienden desde un lado del plano de falla a otro (Hobbs *et al.*, 1981).



Figura 10. Imagen esquemática de la representación de estrías de falla sobre un plano de falla y su movimiento relativo.

✓ Zona de Cizalla

“Una zona de cizalla es un volumen de roca deformado esencialmente por esfuerzos de cizalla y limitado por rocas que no sufrieron deformación contemporánea con la de la zona de cizalla. La geometría más común es aproximadamente tabular, aunque muchas zonas de cizalla no tienen sus límites paralelos y, en otras, éstos no son planos sino curvados. La extensión de las zonas de cizalla suele ser mucho mayor que su espesor y su significado es el de bandas en las cuales la roca ha cedido ante los esfuerzos, deformándose, mientras que fuera de ellas, la roca ha resistido a los esfuerzos. Las zonas de cizalla pueden ser de tamaños muy variados, desde microscópicos hasta de varios km de espesor y cientos o miles de km de longitud. Según los mecanismos de deformación dominantes en su interior, es decir, según el tipo de “fallo” o cesión que las caracterice, se clasifican en frágiles, frágil-dúctiles y dúctiles” (Catalán, 2003).

“Cuando una banda más o menos tabular de roca se deforma frágilmente por esfuerzos de cizalla, suelen desarrollarse varios sistemas de fracturas que, en general, son oblicuas a los bordes o límites de la zona, los cuales por su parte son paralelos a la dirección de movimiento relativo de los bloques (Figura 11). Los distintos sistemas y la evolución general de la zona fueron estudiados por Riedel en 1929 por medio de un artillugio. Se coloca una capa de arcilla

húmeda sobre dos bloques rígidos que pueden deslizar entre sí y que se mueven como lo haría una falla. Al moverse, se generan una serie de fracturas en la arcilla, distribuidas a lo largo de una banda de anchura constante. El experimento de Riedel imita el movimiento de una falla de desgarre en el basamento (los bloques rígidos) y la creación de una zona de cizalla en la cobertera (la arcilla)” (Catalán, 2003).

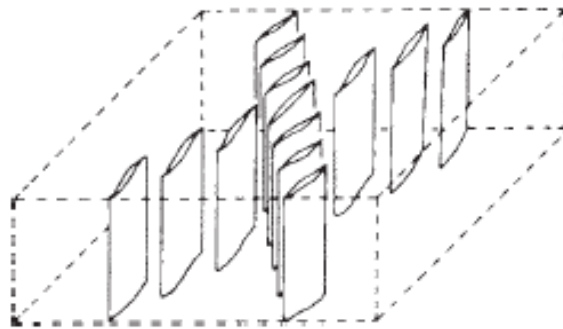


Figura 11. Representación tridimensional de dos zonas de cizalla conjugadas con venas sigmoidales. (Tomado de Catalán, 2003).

“Las fracturas R, también llamadas Riedels, se forman a unos 12° a 18° del límite de los bloques y de la dirección de movimiento y tienen el mismo sentido de movimiento que los bloques. Las R’ o Riedel conjugadas se forman a unos 72° a 78° y su movimiento es al contrario de las R. Se supone que cuando se forma una zona de cizalla, lo hace en la dirección del máximo esfuerzo de cizalla, es decir, a 45° del esfuerzo mayor. Las fracturas R y R’ representan fracturas de cizalla que se adaptan al criterio de Coulomb y forman con el esfuerzo mayor ángulos de entre 33° y 27° . Las fracturas P se forman a unos 10° a 12° de los límites de la zona y tienen el mismo sentido de movimiento que ésta, pero el ángulo que forman con los límites (o con la dirección de movimiento) es de sentido contrario que el de las fracturas R. Finalmente, las fracturas T son grietas de tensión que se forman aproximadamente a 45° de los límites de la zona, es decir, coincidiendo con la dirección supuesta para el esfuerzo mayor” (Catalán, 2003).

5 RESULTADOS

5.1 REVISIÓN CARTOGRÁFICA

En el sector de Pescadero se realizó una revisión cartográfica a escala 1:25.000 y 1:100.000, donde se propusieron una serie de modificaciones entre los contactos del Granito de Pescadero con la Formación Silgará y la Falla de Bucaramanga al Sur y Este de la zona de estudio; la extensión y geometría que presenta el cuerpo intrusivo, así como la identificación de fallas menores.

Se desarrollaron 40 estaciones de campo donde se realizaron las diferentes mediciones para la revisión cartográfica de la zona de trabajo. En cada estación se llevo a cabo la recolección de datos estructurales y determinación de fallas geológicas presentes en el sector de Pescadero.

Se identificaron 8 fallas menores, a partir del reconocimiento hecho en campo, donde se observaron puntos de mayor fracturamiento y deformación presente en el granito, y su distribución está de acuerdo a la aplicación de la regla de las V en las curvas de nivel, a partir de la generación de un mapa de sombras y contornos usando el software Arcgis.

Se pudo observar en la imagen DEM (2013) que el trazo de la Falla de Bucaramanga presenta un desfase hacia el Oeste visto sobre el Granito de Pescadero, lo cual es una variación al trazo que existe en el Cuadrángulo H-12 (Ward *et al.*, 1973), esto se dedujo mediante el uso del software Arcgis, donde se georeferenciaron el mapa de sombras obtenido en el programa y el cuadrángulo que abarca la zona de estudio, posteriormente se superpusieron en forma de capas para visualizar el trazo de la falla y proponer la modificación (Figura 12), siguiendo las características fotogeológicas tales como: copas de vinos, facetas triangulares, drenajes adaptados, etc.

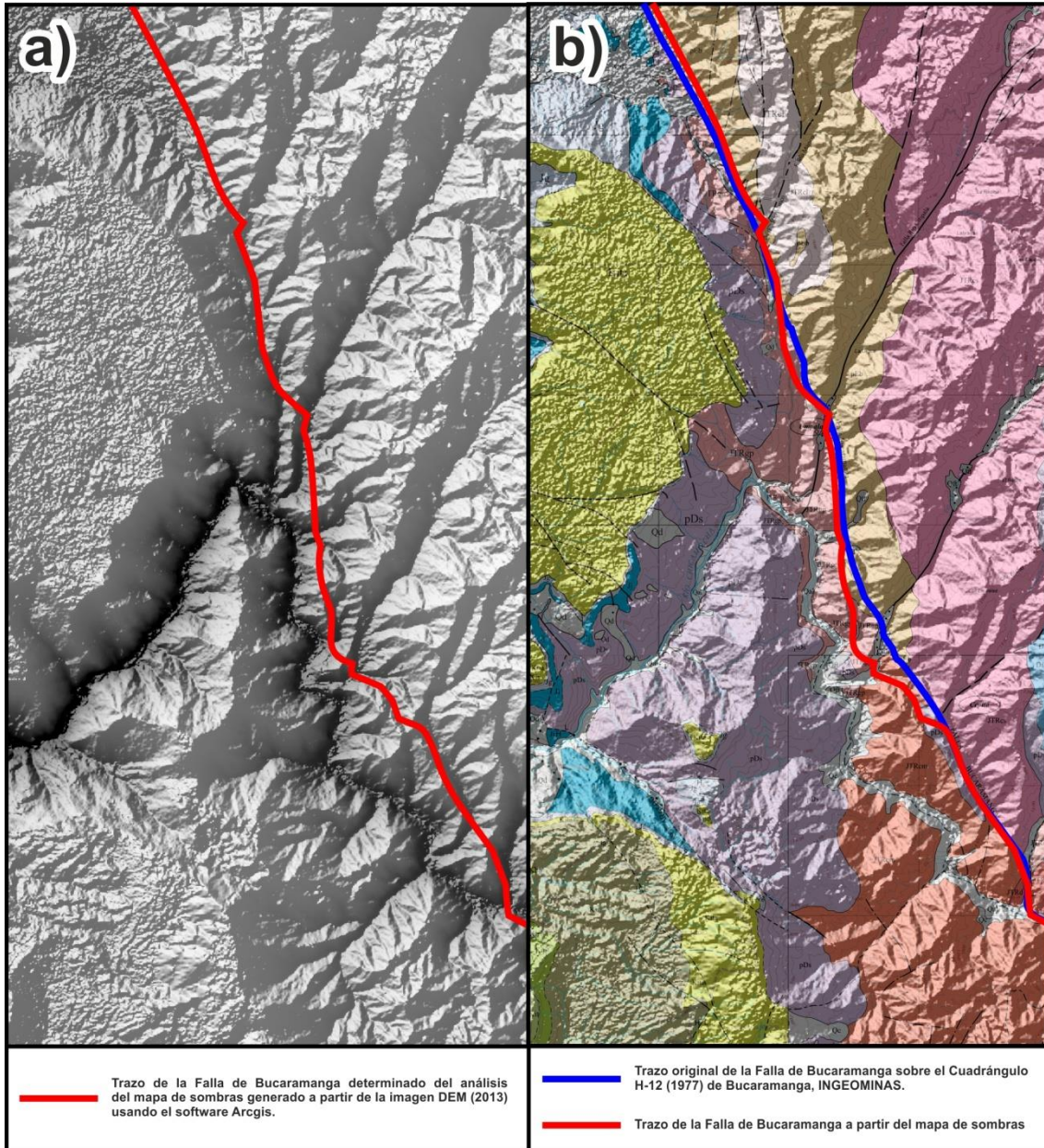


Figura 12. Superposición de imágenes para ilustrar el desfase de la Falla de Bucaramanga. a) Superposición del DEM (2013) con el mapa de sombras generado a través del software Arcgis para proponer el trazo de la Falla de Bucaramanga usando características fotogeológicas (línea roja). b) Superposición del Cuadrángulo H-12 (Ward *et al.*, 1973) con el mapa de sombras de la imagen DEM (2013), donde se observa el desfase que exhibe el trazo de la Falla de Bucaramanga, visto a través de las líneas roja y azul que lo denotan.

Se propuso la modificación de los contactos que hay entre los cuerpos rocosos y la falla geológica principal. El contacto que hay entre el Granito de Pescadero y la Formación Silgará en las coordenadas X: 1'245.654 – Y: 1'118.376 se desplazó hacia el Sur, de acuerdo a las observaciones realizadas en campo. El contacto en dirección Este entre el intrusivo y la Falla de Bucaramanga varió debido a la alteración propuesta del trazo de la falla sobre el mapa de sombras, explicado anteriormente. El contacto en dirección Oeste entre el granito con la Mesa de los Santos no se propuso modificar por estar fuera del área de estudio, al igual que el contacto Norte en el sector de Pescadero entre el cuerpo ígneo con su roca encajante.

Una vez elaborada la revisión cartográfica de la zona de estudio se llevó a cabo la correlación con los datos estructurales medidos en cada estación, para comprender la relación que existe entre el fracturamiento, las fallas geológicas y la geometría elongada que presenta el Granito de Pescadero.

Con la información anterior se obtienen los mapas finales: Mapa geológico a escala 1:25.000 (Figura 13), donde se observan las características reconocidas en campo en el sector de Pescadero, y escala 1:100.000 (Figura 14), donde se aprecian las características revisadas del tipo estructural en el Granito de Pescadero. Mapas elaborados mediante el uso de los software Arcgis y Corel Draw.

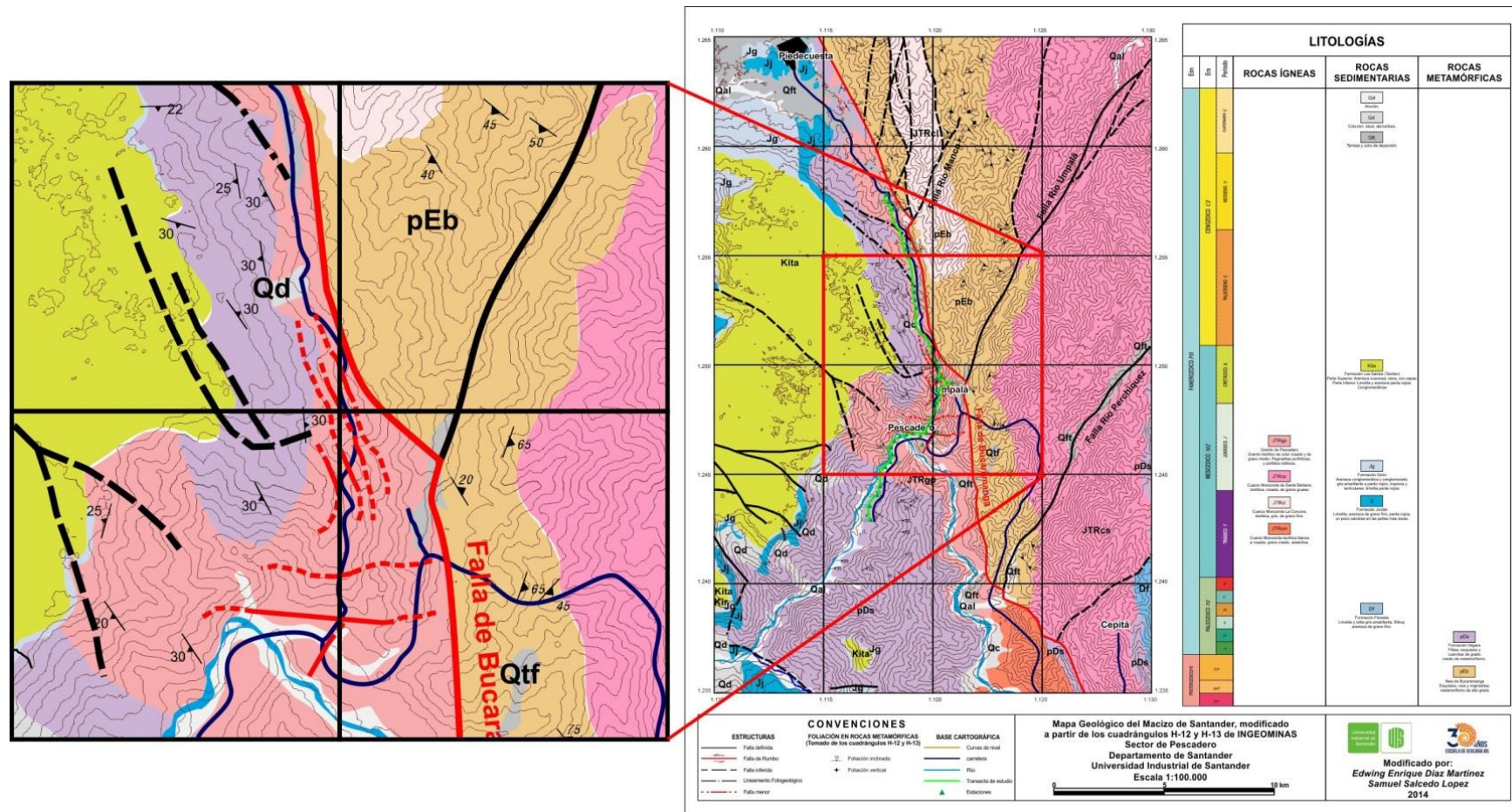


Figura 14. Mapa geológico de la zona de estudio a escala 1:100.000, donde se observan las fallas menores identificadas sobre el cuerpo intrusivo en el sector de Pescadero (líneas rojas discontinuas). Modelo base: Cuadrángulo H-12 (Ward et al., 1973). Modificado por Díaz & Salcedo, 2014.

5.2 ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS ESTRUCTURALES

5.2.1 Datos de diaclasas del Granito de Pescadero

Se procesaron 2120 aptitudes (Anexo A) que describen el patrón de diaclasamiento presente en el Granito de Pescadero (Figura 15); procediendo a describir los resultados de la siguiente manera: En el diagrama de polos de las diaclasas del Granito de Pescadero (Figura 15a) se observa la frecuencia estadística de todas las fracturas que se midieron a lo largo de la transecta de trabajo. Además por medio del diagrama de densidades de las diaclasas del cuerpo intrusivo (Figura 15b) se observa la relación de espaciamiento que existe entre una fractura y otra con sus direcciones preferenciales de buzamientos y orientaciones locales. Mediante una agrupación total de todos los datos estructurales de diaclasas medidos en el cuerpo ígneo, como se aprecia en el diagrama de rosetas (Figura 15c) se determinaron las direcciones de orientación del patrón de fracturamiento total, con el cual se discriminaron seis familias de diaclasas para describir mejor el comportamiento del sistema de fracturas, con ello deduciendo los rasgos principales de los esfuerzos tectónicos a partir del análisis de estas diaclasas.

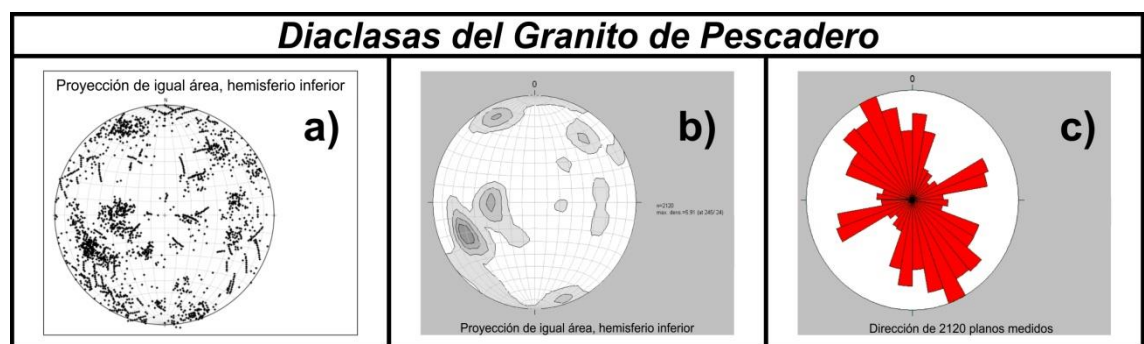


Figura 15. Análisis estadístico de las diaclasas del Granito de Pescadero. a) Diagrama de polos, donde se aprecia la distribución de los polos a lo largo del sistema de fracturas. b) Diagrama de densidad, donde se expresa la distribución espacial de los datos de las fracturas. c) Diagrama de rosetas, donde se observan las orientaciones principales de las fracturas y su agrupación en familias de diaclasas.

- **Familia 1 de diaclasas del Granito de Pescadero**

En esta familia se graficaron alrededor de 418 planos de diaclasas (Figura 16a) que exponen la tendencia a una dirección preferente, la cual se puede apreciar en el diagrama de rosetas de la familia 1 de diaclasas (Figura 16c) que describe una orientación NE- SW, la cual indica que los buzamientos de las fracturas son perpendicular a dicha dirección (Figura 16d), como se aprecia en el diagrama de densidad de la familia 1 (Figura 16b).

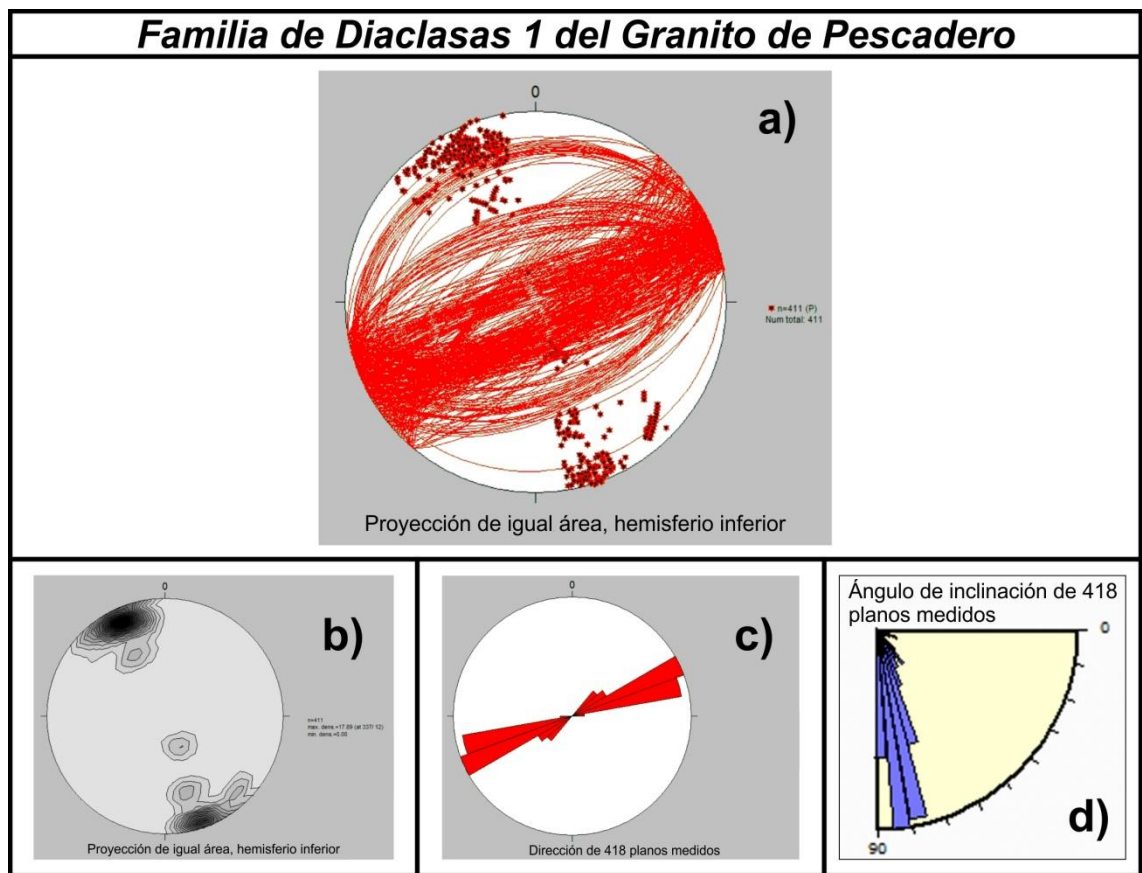


Figura 16. Análisis estadístico de la familia 1 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos relacionados. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección NE-SW. d) Diagrama de buzamientos de diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando ángulos altos.

- **Familia 2 de diaclasas del Granito de Pescadero**

Se procesaron 183 planos (Figura 17a) que describen un comportamiento común entre dichos planos, presentando una orientación E-W (Figura 17c), a partir de dicha orientación, se exponen las direcciones de buzamientos (Figura 17d) que van de manera perpendicular a la dirección E-W, como se aprecia en el diagrama de densidades de la familia 2 (Figura 17b).

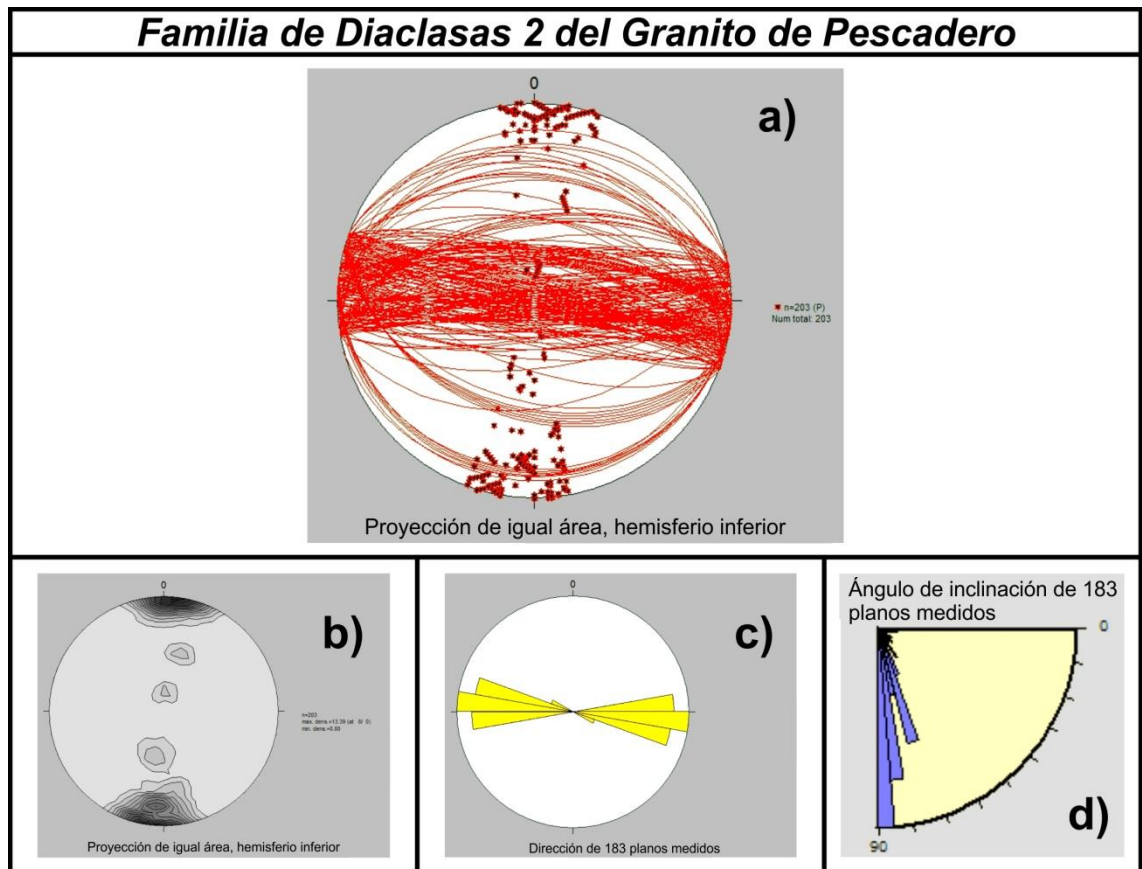


Figura 17. Análisis estadístico de la familia 2 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección E-W. d) Diagrama de buzamientos de las diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando ángulos altos.

- **Familia 3 de diaclasas del Granito de Pescadero**

Se tomaron 121 datos que se representaron en el estereograma (Figura 18a) con la particularidad que son fracturas de comportamientos parecidos, adjunto a esto, se generó un diagrama de rosetas (Figura 18c) para denotar la orientación preferente de las mismas, el cual es NE- SW, también se pudo observar una distribución espacial, con respecto a los buzamientos perpendiculares a esa dirección (Figura 18d), como se aprecia en el diagrama de densidad de la familia 3 (Figura 18b).

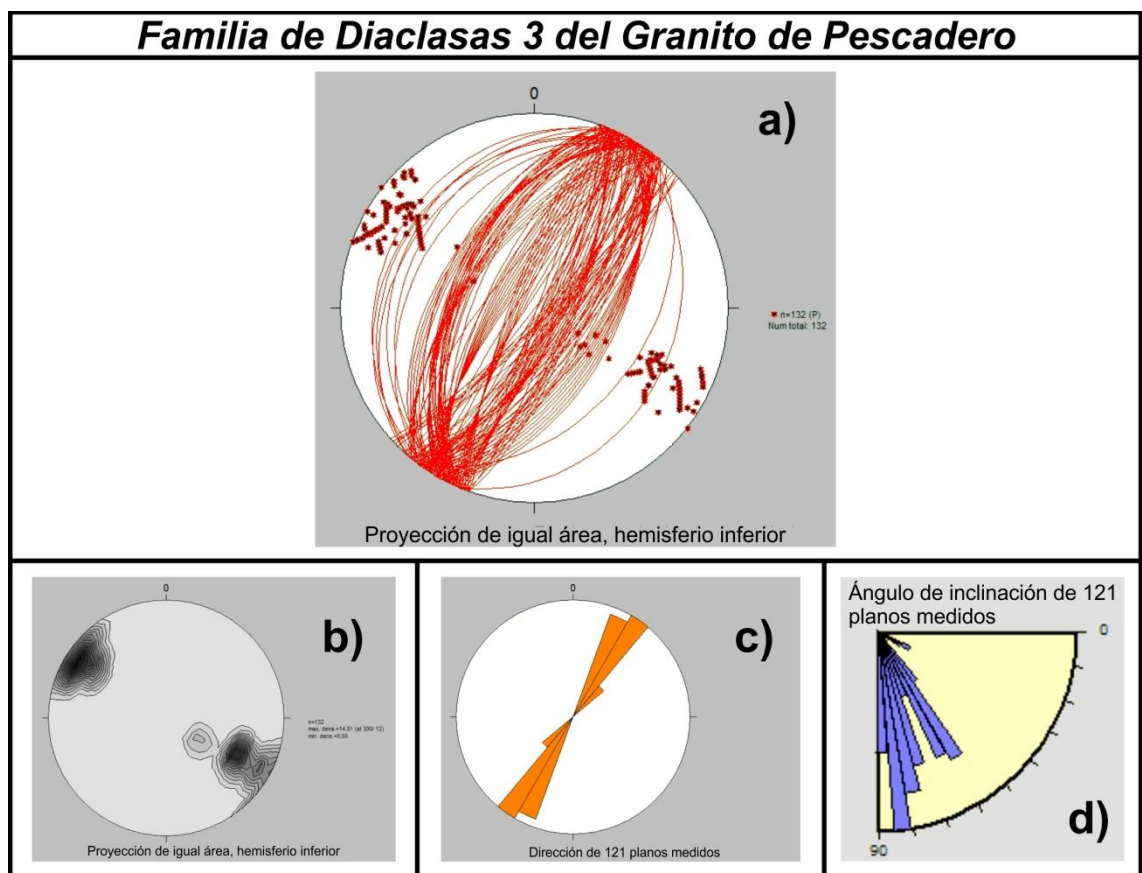


Figura 18. Análisis estadístico de la familia 3 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferente de las diaclasas en dirección NE-SW. d) Diagrama de buzamientos de las diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando ángulos altos.

- **Familia 4 de diaclasas del Granito de Pescadero**

Para el análisis de la cuarta familia de diaclasas, se usaron 402 planos que se determinaron por la similitud en su comportamiento como se demuestra en el estereograma (Figura 19a); una similitud que describe una orientación NW-SE (Figura 19c) a partir de las rosetas, posteriormente se analizó la distribución espacial y la dirección de buzamientos (Figura 19d), que es perpendicular, observado en el diagrama de densidades (Figura 19b).

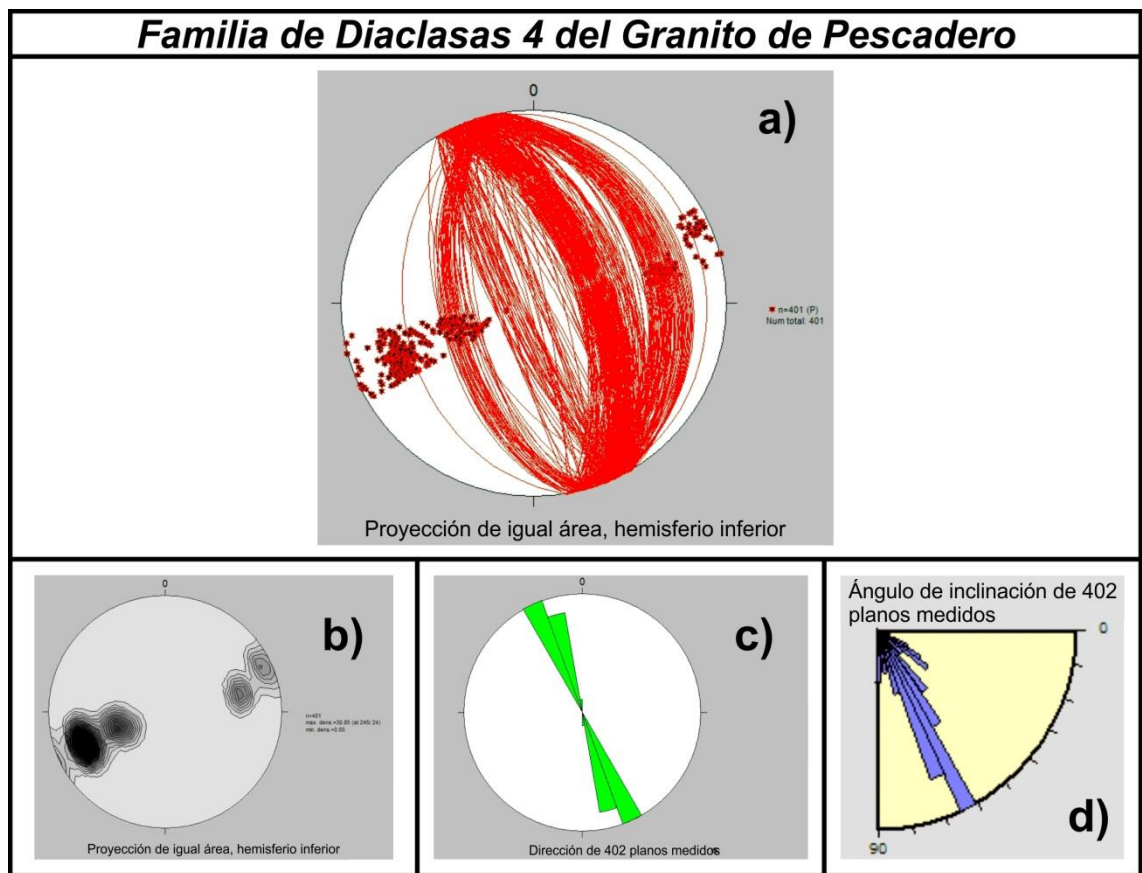


Figura 19. Análisis estadístico de la familia 4 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección NW-SE. d) Diagrama de buzamientos de las diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando ángulos altos.

- **Familia 5 de diaclasas del Granito de Pescadero**

Se utilizaron 601 datos que describen un comportamiento común entre los datos tomados, como se aprecia en el estereograma (Figura 20a), también se aprecia una dirección preferente en sentido NW- SE observada en el diagrama de rosetas (Figura 20c), presentando un buzamiento cuya dirección es perpendicular a dicha orientación (Figura 20d), como se aprecia en el diagrama de densidad de la familia 5 (Figura 20b).

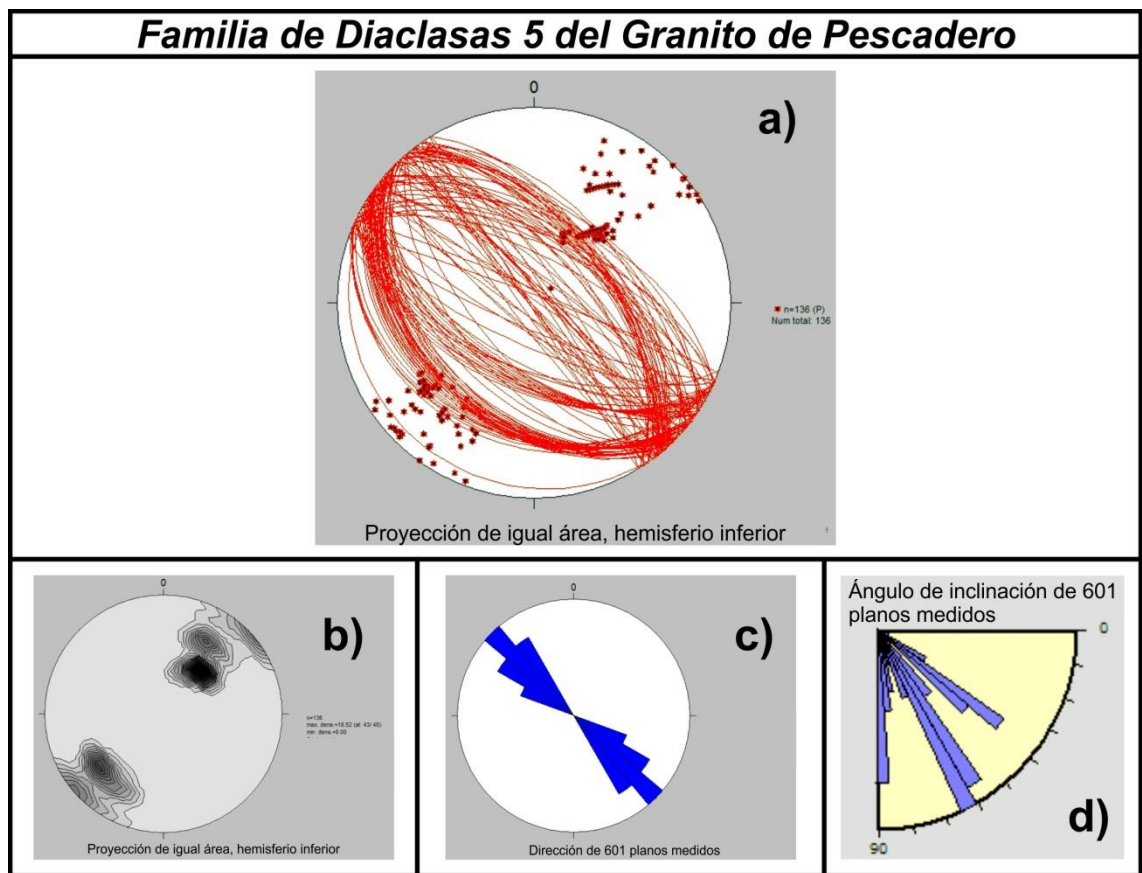


Figura 20. Análisis estadístico de la familia 5 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección NW-SE. d) Diagrama de buzamientos de las diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando variedad de ángulos, desde medio a altos.

- **Familia 6 de diaclasas del Granito de Pescadero**

En esta familia se agruparon 395 planos (Figura 21a) que mostraban unas características similares entre sí, cuya orientación preferencial fue N-S (Figura 21c), donde se evidencia la distribución espacial de los polos, y buzamientos perpendiculares (Figura 21d), apreciado en el diagrama de densidades (Figura 21b).

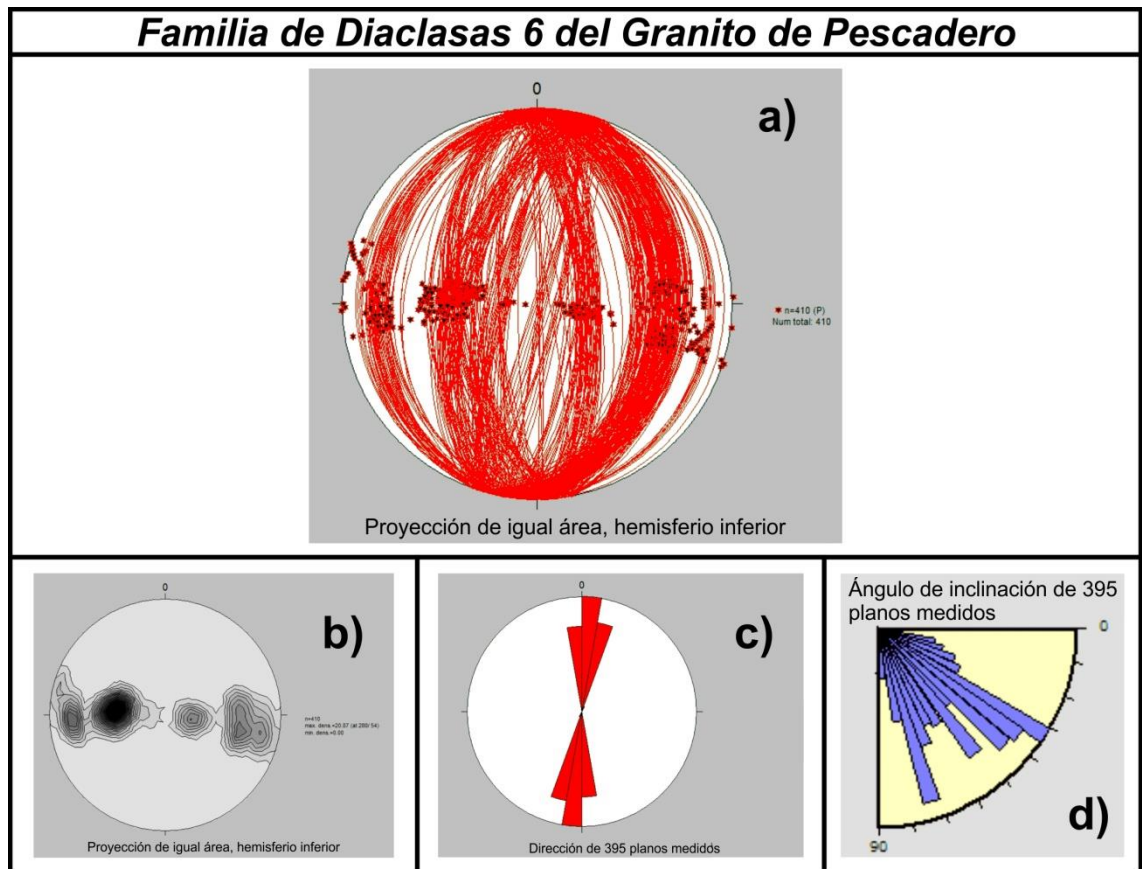


Figura 21. Análisis estadístico de la familia 6 de diaclasas del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de las diaclasas en dirección N-S. d) Diagrama de buzamientos de las diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando ángulos de buzamientos variados.

5.2.2 Datos de diaclasas en la Formación Silgará

Para el análisis estereográfico de las diaclasas de la Formación Silgará se tomaron en cuenta 66 datos de fracturas (Anexo B), representados en el estereograma (Figura 22a), además de la distribución espacial de los mismos, como se aprecia en el diagrama de densidad (Figura 22b); estos datos recolectados muestran en el diagrama de rosetas (Figura 22c) tres direcciones principales: la principal es NW-SE, una segunda orientación en sentido NNW-SSE, y finalmente una orientación en menor proporción en sentido NE-SW, con buzamientos perpendiculares a ellos (Figura 22d).

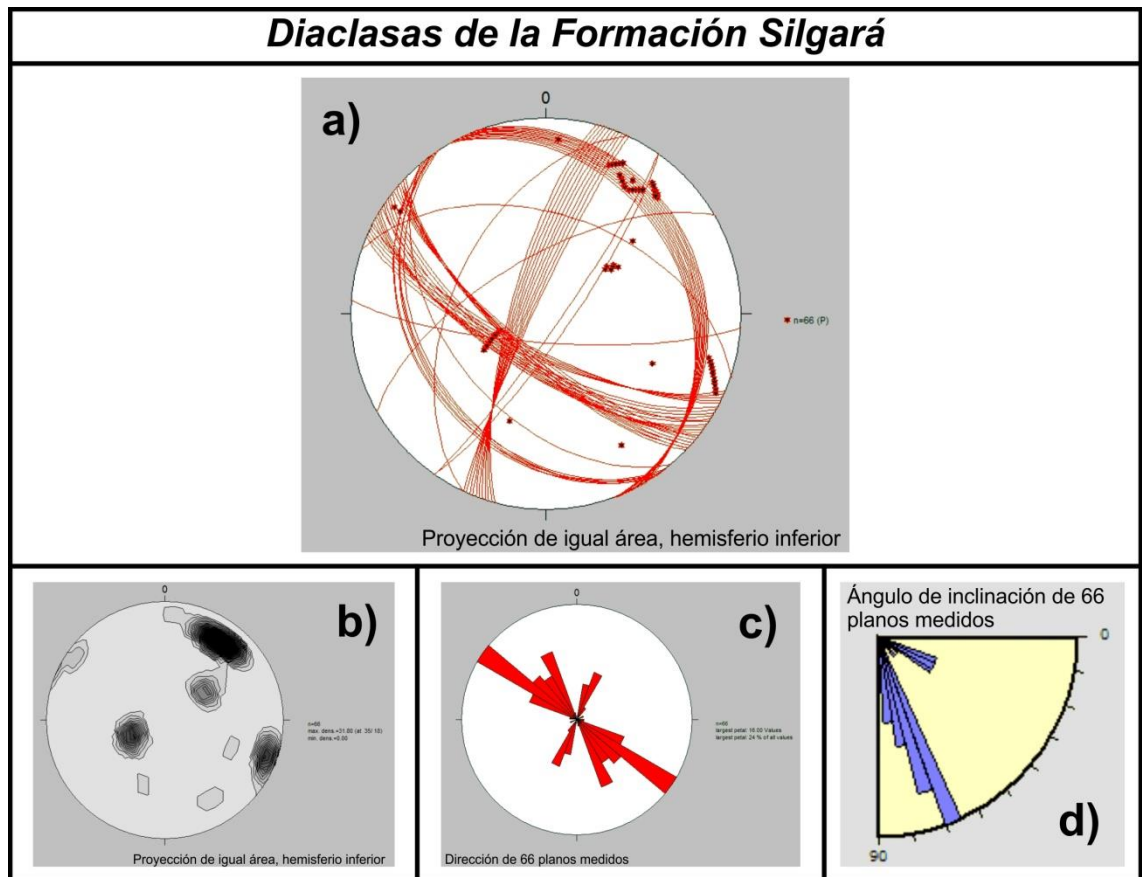


Figura 22. Análisis estadístico de las diaclasas de la Formación Silgará. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las fracturas con sus respectivos polos. b) Diagrama de densidades, donde se observa la distribución espacial de los polos relacionados a las fracturas. c) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de tres familias de fracturas en dirección NW-SE, NNW-SSE y NE-SW. d) Diagrama de buzamientos de los planos de diaclasas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando una variedad de ángulos altos y bajos.

5.2.3 Datos de venas en la Formación Silgará

La presencia de venas en la Formación Silgara no fue ausente, de estas se procesaron 12 datos (Anexo C) que evidencian los planos donde las venas se desarrollaron como muestra el estereograma (Figura 23a), los 12 datos medidos muestran una dirección preferente en el sentido NW-SE (Figura 23c), también presentando una dirección preferencial de buzamiento de ángulos intermedios (Figura 23c).

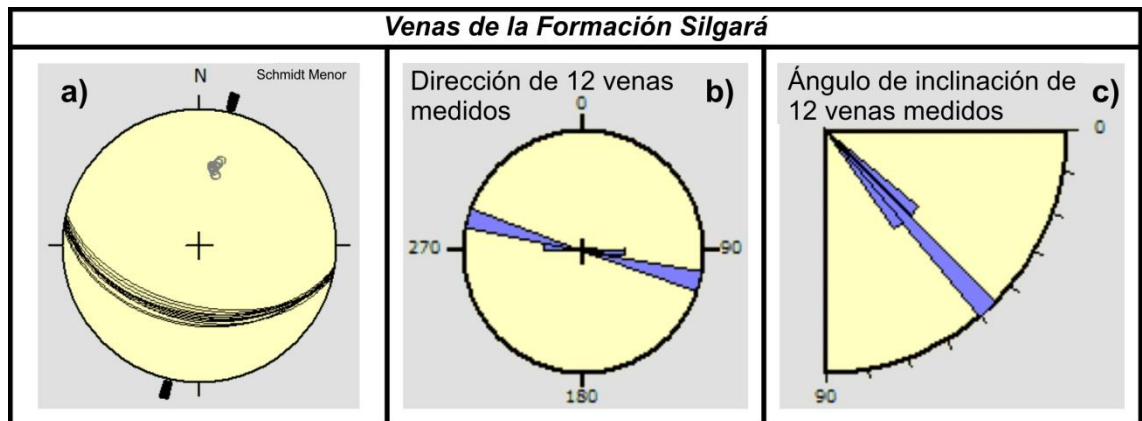


Figura 23. Análisis estadístico de las venas de la Formación Silgará. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las venas con sus respectivos polos. b) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial en dirección NW-SE. c) Diagrama de buzamientos de los planos de las venas, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fracturas, presentando unos ángulos intermedios.

5.2.4 Datos de las fallas menores en el Granito de Pescadero

Para este análisis de las fallas menores, se usaron un total de 8 datos (Anexo D), que se midieron a lo largo de la transecta de estudio. Estos ocho datos fueron representados de manera planar en un estereograma (Figura 24a), también se obtuvo una distribución espacial uniforme como muestra el diagrama de densidades (Figura 24b); a partir de lo anterior, se expresó un diagrama de rosetas (Figura 24c) que expuso direcciones y buzamientos aparentes perpendiculares a las mismas, de alto ángulo, dentro de este diagrama de rosetas se apreciaron 3 orientaciones predominantes: NW-SE, la cual es la principal, con una frecuencia del 50 % de los datos tomados, también se observa una orientación E-W, con una frecuencia del 25% de dichos datos,

por último, se aprecia una orientación de NE-SW que posee una frecuencia del 25% de los datos, para un total de 100% de datos que describe el comportamiento frágil en estas zonas de alta deformación.

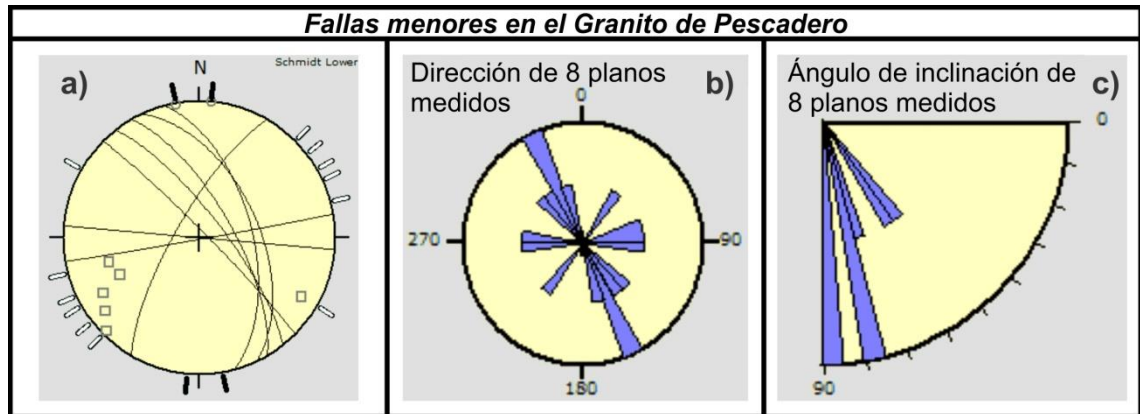


Figura 24. Análisis estadístico de las fallas menores del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución de los planos de las mismas con sus respectivos polos. b) Diagrama de rosetas, donde se aprecia la orientación preferencial de tres direcciones en sentidos NW-SE, E-W y NE-SW. c) Diagrama de buzamientos de los planos de las fallas menores, donde se denotan los buzamientos de los planos de las fallas, presentando unos ángulos altos.

5.2.5 Datos de estrías de falla sobre el Granito de Pescadero

Se procesaron un total de 20 datos de estrías (Anexo E) que describen el patrón de movimiento al que se vio sometido el cuerpo intrusivo por acción de la Falla de Bucaramanga, estos fueron encontrados en la parte Este de la zona de estudio, cerca al plano de la falla. Los 20 planos procesados (Figura 25a) representan la disposición de las estrías que están presentes en el Granito de Pescadero, además muestran la tendencia de las mismas. El diagrama de rosetas de las estrías (Figura 25b) presentan una orientación NW-SE, que expone la dirección de preferencia de las mismas, además en el diagrama de buzamientos de las estrías de falla (Figura 25c) se evidencia el alto grado de inclinación que estas estrías tienen con respecto a un plano horizontal, por último los ángulos de Plunge (Figura 25d) presentan un alto grado, demostrando que las estrías también son afectadas por el alto ángulo de la Falla de Bucaramanga.

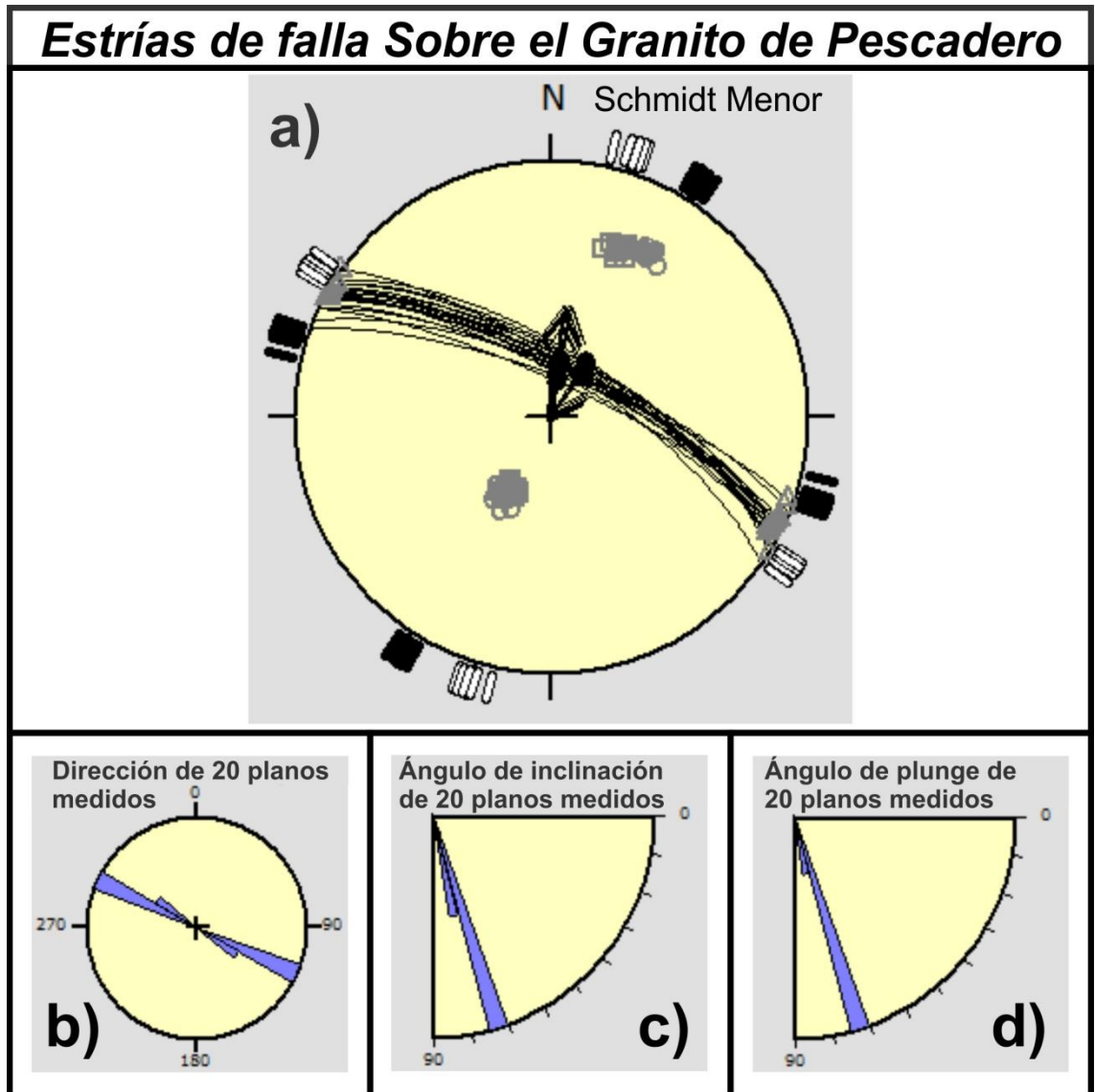


Figura 25. Análisis estadístico de las estrías del Granito de Pescadero. a) Estereograma, donde se representa la distribución uniforme de los planos de las diaclasas con sus respectivos polos y las variaciones de sus pitch. b) Diagrama de rosetas, donde se observa la orientación preferente de dirección NW-SE. c) Diagrama de buzamientos de las estrías, donde se aprecian los buzamientos de los planos de las estrías, presentando ángulos altos. d) Diagrama de ángulo plunge de las estrías, donde se denotan los ángulos plunge de los planos de las estrías, presentando ángulos altos.

6 DISCUSIONES

6.1 REVISIÓN CARTOGRÁFICA

A partir de la revisión cartográfica llevada a cabo en el sector de Pescadero, que dio como resultado la generación de unos mapas geológicos de escala 1:25.000 y 1:100.000 respectivamente (Figuras 13 y 14), se observaron unos cambios significativos con respecto a la representación anterior hecha en el cuadrángulo H-12 (Ward *et al.*, 1973), las cuales se enumeran de la siguiente manera:

1. Las estaciones realizadas en campo permitieron observar las características estructurales que presenta el Granito de Pescadero en la zona de trabajo, comprendiéndose así que este cuerpo intrusivo no es homogéneo, lo cual no está representado en los mapas que se encuentran publicados; partiendo de las identificaciones realizadas sobre la transecta de estudio de estructuras como fallas menores, diaclasas, venas y estrías.
2. La identificación de las fallas menores a través de la transecta de estudio permitió digitalizarlas en los mapas finales del presente trabajo (Anexo F, G, H, I), donde se pudo analizar el tipo de deformación a la que ha sido sometido el intrusivo, del tipo frágil, a partir del alto grado de fracturamiento que presenta y la orientación del plano de falla, indicando que estas fallas menores poseen un rumbo preferente en dirección NW-SE, lo cual es concordante con la afirmación de que este fracturamiento y deformación visto en los puntos medidos en campo son directamente generados por la acción de la Falla de Bucaramanga en el transcurso de su desplazamiento en dirección N-NW sobre el Granito de Pescadero.
3. Se propuso la modificación del trazo de la Falla de Bucaramanga sobre el Granito de Pescadero debido a las observaciones realizadas mediante la superposición del mapa de sombras generado a través de la imagen DEM

(2013) y el cuadrángulo H-12 (Ward et al., 1973) que abarca la zona de estudio.

4. En el contacto del Granito de Pescadero y la Formación Silgará en dirección Sur se planteó una modificación representada en los mapas del estudio (Anexo F, G, H, I), de acuerdo al reconocimiento hecho en las estaciones de campo.

Posteriormente a las modificaciones propuestas anteriormente se efectuó la correlación de los datos estructurales medidos en la transecta de estudio para identificar las deformaciones frágiles presentes en el Granito de Pescadero y su roca encajante y su relación con la Falla principal, en el sector de Pescadero. Así se comprende que el tren de esfuerzos que presenta el cuerpo granítico es causado por la influencia de la Falla de Bucaramanga, reflejado en el fracturamiento medible a través de las diaclasas y fallas menores que afloran en la zona estudiada.

6.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS ESTRUCTURALES

Los patrones de fracturamiento dentro de la transecta de estudio asociados a los principales eventos deformativos regionales han ocurrido en intervalos definidos a lo largo del tiempo geológico. Actualmente las diaclasas relacionadas a eventos tempranos no conservan algunas de sus características geométricas iniciales, a causa de todos los procesos estructurales desarrollados durante las fases de deformación posteriores.

6.2.1 Datos de Diaclasas del Granito de Pescadero

A partir del procesamiento de los datos de diaclasas recopilados en el Granito de Pescadero se observa que el cuerpo intrusivo presenta una distribución radial de diaclasas y una familia de diaclasas casi horizontal, lo que indica un basculamiento tectónico de 20° a 40° hacia el Oeste.

Adicional a la anterior distribución de diaclasas nombrada, se encuentran los sistemas tectónicos más jóvenes, representado en las familias de diaclasas con dirección NW-SE y E-W.

6.2.2 Datos de diaclasas en la Formación Silgará

Se determinaron las orientaciones que presentan los datos adquiridos en el trabajo de campo sobre la Formación Silgará, que en total fueron 66 datos de fracturas, los cuales poseen tres direcciones principales: la primera es NW-SE, la segunda NNW-SSE y la tercera NE-SW, las cuales muestran un comportamiento compresivo y tipo reactivada, la familia de menor proporción presentan un carácter tensionante y tipo no activo.

Estas Familias de diaclasas presentan similitud con las familias presentes en el Granito de Pescadero, indicando que ambos cuerpos rocosos han sido deformados de manera contemporánea y pertenecen al mismo evento deformativo posterior al emplazamiento del cuerpo ígneo.

6.2.3 Datos de venas en la Formación Silgará

A partir de los datos adquiridos sobre la Formación Silgará de venas de cuarzo y plagioclasas aflorantes, se analizaron 12 datos, de los cuales la orientación principal que presentan es NW-SE, los cuales demuestran un comportamiento compresivo y reactivante sobre la Formación Silgará, indicando que estas venas también hacen parte de las familias de diaclasas de dicha Formación que posteriormente sufrieron un relleno de material mineral y están relacionadas con el evento deformativo principal, asociado a la Falla de Bucaramanga

6.2.4 Datos de las fallas menores en el Granito de Pescadero

Se midieron 8 datos de fallas menores sobre la transecta de estudio, las cuales presentan tres orientaciones principales, la primera NW-SE, la segunda E-W y la tercera NE-SW, denotando un carácter elongante sobre el Granito de Pescadero, producto del desplazamiento de la Falla de Bucaramanga, posterior al emplazamiento del Granito de Pescadero, permitiendo que el cuerpo ígneo presentara un carácter estructural activo, observable en la deformación y fracturamiento que posee el intrusivo.

6.2.5 Datos de estrías de falla sobre el Granito de Pescadero

Basados en los datos de estrías que se midieron sobre el Granito de Pescadero que denota el movimiento que ejerce el bloque colgante sobre el bloque yacente por efecto del desplazamiento de la Falla de Bucaramanga, indicaron que la dirección preferente de las estrías de falla que están sobre el Granito de Pescadero tienen una orientación NW-SE, con inclinación de Plunge perpendicular, evidenciando que el comportamiento de las estrías son de carácter elongante.

6.3 ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO A PARTIR DEL ELIPSOIDE DE DEFORMACIÓN

La Falla de Bucaramanga es un sistema de falla transcurrente con componente inversa, de orientación N20°W, la cual da origen a varias estructuras deformativas tales como: fallas menores, diaclasas, venas y estrías. A partir de este hecho y tomando como referencia el Elipsoide de deformación de Rossello 2009 (Figura 26), se determinó:

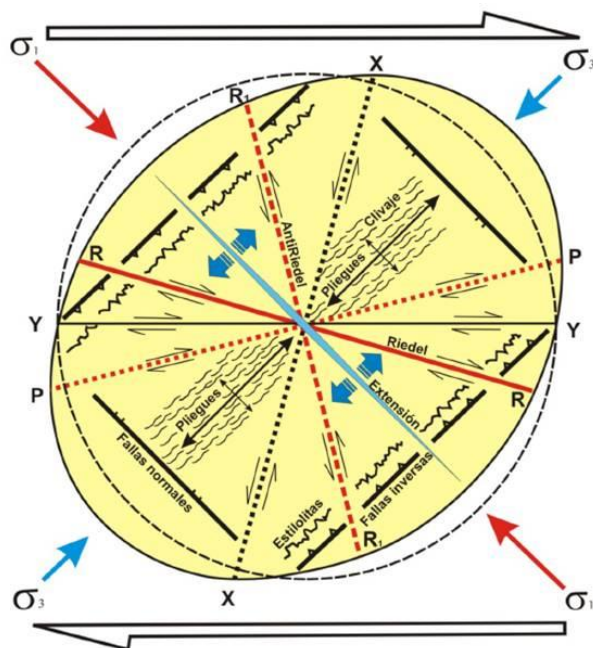


Figura 26. Elipsoide de deformación por cizallamiento simple (Tomado de Rossello, 2009).

En el bloque colgante a la Falla de Bucaramanga en el sector de Pescadero se presentan fallas de rumbo con componente inversa orientadas hacia el NE (Falla del Rio Manco, Umpalá y Perchiquez) del tipo Riedels hacia el SE (Figura 27). Los esfuerzos aplicados sobre los cuerpos rocosos adyacentes a la Falla de Bucaramanga en orientación NW y SE son de carácter compresivo, representando que el sigma 1 (σ_1) del sistema de deformación se aplica en esta dirección, ocasionando un acortamiento del cuerpo intrusivo en el flanco del bloque yacente (SW). La rata de deformación mayor (esfuerzos extensivos) representada por el Sigma 3 (σ_3) está siendo aplicada en la dirección NE y

SW, favoreciendo el elongamiento del cuerpo intrusivo en el contacto con la Falla de Bucaramanga. Por otra parte la aparición de venas que se evidencian sobre la Formación Silgará están orientadas hacia el NE y SW. En el bloque yacente a la Falla de Bucaramanga en el sector de Pescadero se determinaron ocho fallas menores de componente normal del tipo Antiriedel, que están asociadas al sistema de falla principal, con orientaciones que van desde el NW al W.

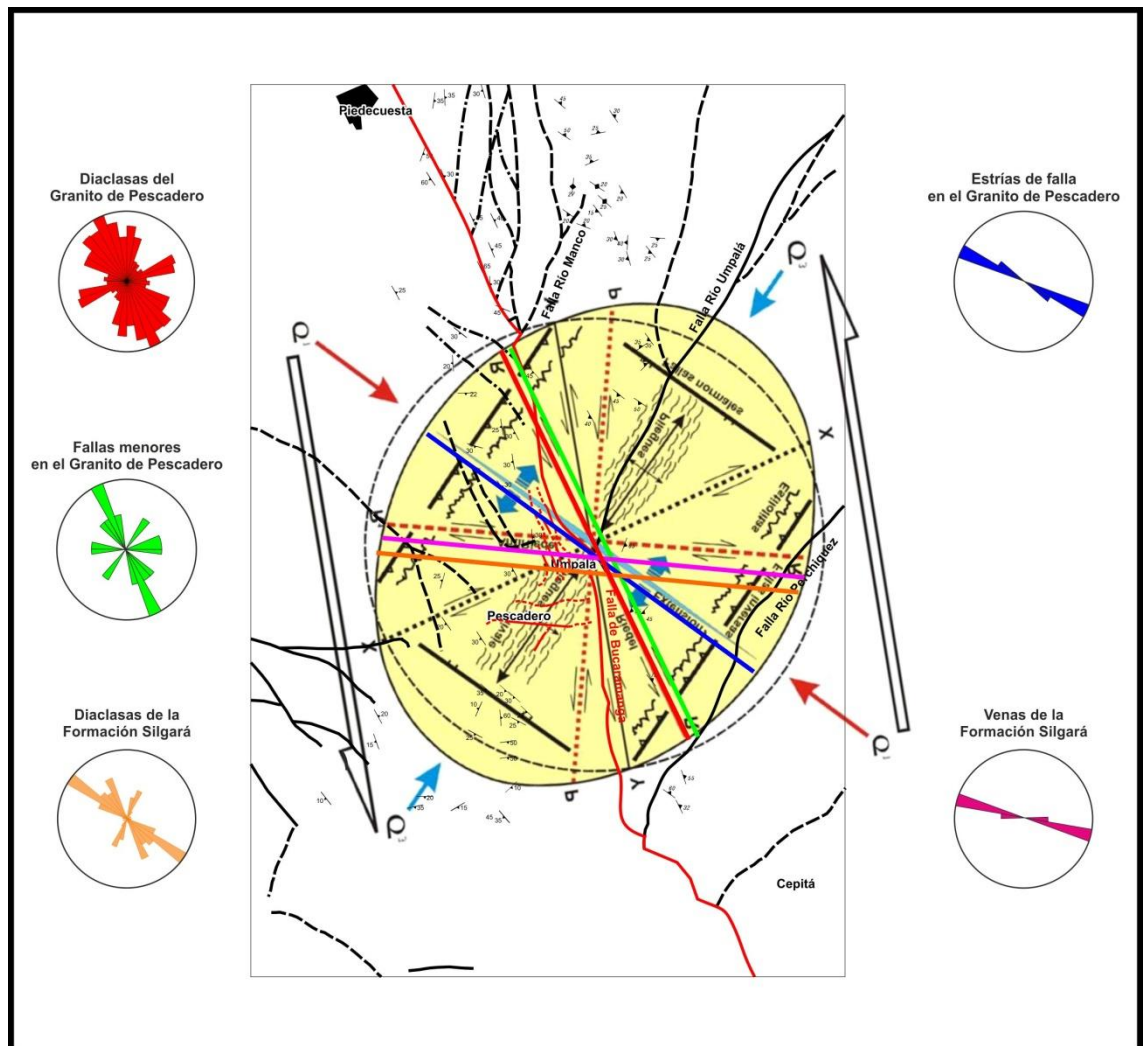


Figura 27. Elipsoide de deformación superpuesto con las estructuras presentes en la zona de estudio; observando que el bloque yacente a la Falla de Bucaramanga presenta fallas normales de componentes antiriedel, y estructuras de estilolitos en dirección SW. En el bloque colgante a la Falla de Bucaramanga se aprecian fallas de rumbo de componente inversa y tipo riedel, presentado en clivajes y plegamientos en dirección NE. Las orientaciones preferentes de cada ítem medido se expresa de un color diferente sobre el elipsoide de deformación.

6.4 SUCESION DE EVENTOS ESTRUCTURALES EN LA ZONA DE ESTUDIO

Actualmente existen varias teorías que proponen el origen y formación del Granito de Pescadero, el cual está ligado al Grupo Plutónico de Santander, conformado por el Batolito de Rionegro, Mogotes, La Corcova y Santa Barbará; emplazados en el límite de edades Triásico – Jurasico; la composición variada de los magmas generados en el Granito de Pescadero genera una facies textural, que explicaría el por qué en algunas zonas del cuerpo intrusivo, las rocas están más alteradas que en otras zonas, facilitado por la acción de la Falla de Bucaramanga que produjo en la superficie cadenas de volcanes alineadas (Figura 28). Algunas de estas unidades ígneas tienen un origen cortical pero otras presentan un magmatismo generado por la actividad de una zona de subducción situada al Occidente y Noroccidente del cinturón magmático.

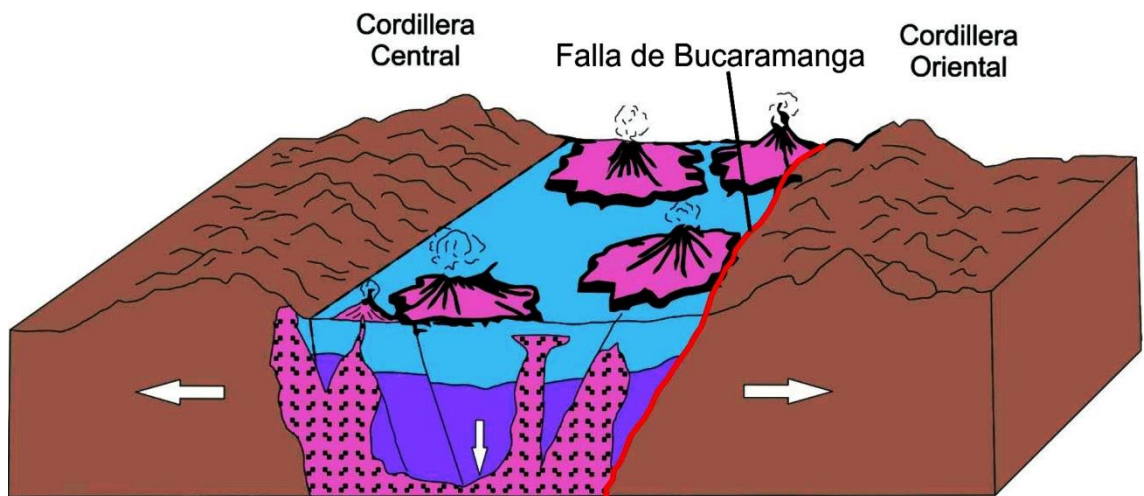


Figura 28. Modelo propuesto por Toussaint en 1995 para la formación del Grupo Plutónico de Santander, debido a una serie de pulsos magmáticos generados a finales del Triásico. Modificado de Toussaint, 1995, basándonos en estudios realizados por Ordeñez & Mantilla (2004) y Mantilla (2001, 2002, 2006 y 2011).

A partir de la anterior concepción se elaboró un diagrama de sucesión de eventos estructurales, basados en el corte CS-12 de Ramos, 2003 y el modelo de formación de grupos plutónicos de Santander de Toussaint, 1995; el cual permitió describir los sucesos que ocurrieron con el Granito de Pescadero,

desde el momento del pulso magmático, hasta el emplazamiento y deformación frágil a la que fue sometido el cuerpo intrusivo.

En el Estado 1 (Figura 29), se representa el primer estado del emplazamiento del Granito de Pescadero; inicialmente se produce un pulso magmático por acción de eventos hidrotermales (Ordoñez & Mantilla, 2004), permitiendo que el material ígneo ascienda desde una profundidad de 4 km (Ordoñez, 2003), abriéndose paso hacia la superficie, con comportamiento bimodal, debido a la diferenciación magmática por la composición del material intrusivo, evidenciado en diques y venas aflorantes, produciendo metamorfismo de contacto sobre los cuerpos rocosos que lo rodean.

Posteriormente, en el Estado 2 (Figura 29) el granito deja de presentar actividad magmática, lo que ocasiona que el cuerpo intrusivo se enfríe y emplace en la Formación Silgará, aflorando en superficie por efecto del levantamiento tectónico producto del desplazamiento de la Falla de Bucaramanga, teniendo así una distribución espacial uniforme y exponiéndose a agentes erosivos que posteriormente alteran la estructura del cuerpo ígneo.

Finalmente en el Estado 3 (Figura 29) el Granito de Pescadero es cortado por la Falla de Bucaramanga, generando una serie de agentes deformativos, del tipo frágil, que modifican la estructura del cuerpo intrusivo a una geometría elongada, fracturándolo y sometiéndolo a múltiples esfuerzos, expuestos a través de diaclasas, fallas menores, venas y estrías, que denotan el movimiento y tendencia del tren estructural principal en el sector de Pescadero.

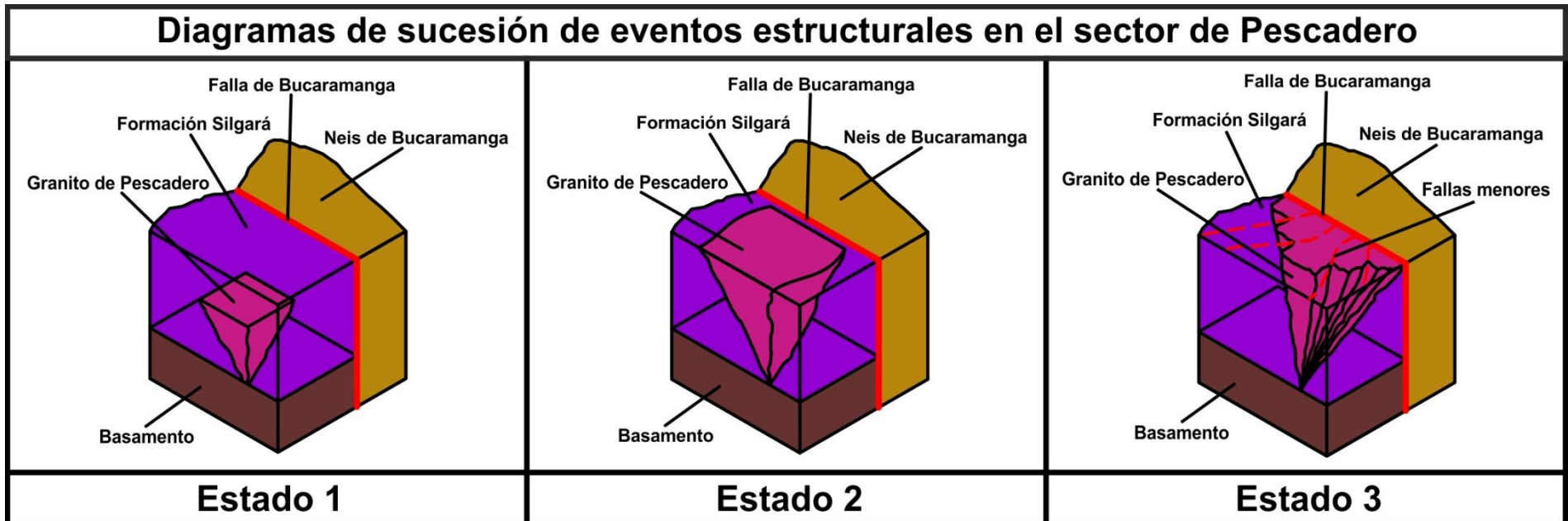


Figura 29. Diagrama de sucesión de eventos estructurales del Granito de Pescadero en la zona de estudio. El estado 1 representa la fase inicial del evento intrusivo del Granito de Pescadero. El estado 2 muestra el contacto en superficie del cuerpo intrusivo y la fase final del emplazamiento. El estado 3 evidencia el corte del granito con la Falla de Bucaramanga y su deformación frágil posterior. Modelo base: Ramos, 2003; Toussaint, 1995.

7 CONCLUSIONES

Los mapas elaborados para el presente estudio permitieron proponer la modificación del contacto Sur entre el Granito de Pescadero y la Formación Silgará en la zona de trabajo, de acuerdo a la transecta de estudio donde se realizaron las respectivas mediciones.

Partiendo del análisis realizado a través de la superposición del mapa de sombras generado de la imagen DEM (2013) y el cuadrángulo H-12 (Ward *et al.*, 1973) se propone modificar el trazo de la Falla de Bucaramanga, debido a que se observa un desfase de su trayectoria hacia el Oeste sobre el Granito de Pescadero.

Se determinaron unas fallas menores al Oeste de la Falla de Bucaramanga, las cuales no están indicadas en el cuadrángulo que abarca la zona de estudio, de esta manera se procedió a su graficación en los mapas propuestos tras la revisión cartográfica.

El Granito de Pescadero no presenta homogeneidad, tanto en su estructura como en su composición, observado en algunas zonas, donde se exhibe un alto grado de fracturamiento en el cuerpo intrusivo.

A partir de los datos estructurales de diaclasas recopilados en el sector de Pescadero, se pudo observar que las orientaciones preferentes que poseen los diversos planos medidos presentan unas direcciones paralelas, que van de 20° a 40° hacia el Oeste, indicando que el fracturamiento se desarrolló por influencia del movimiento N-NW de la Falla de Bucaramanga, reflejado en el levantamiento tectónico del Macizo de Santander.

Las familias de diaclasas medidas en la Formación Silgará son congruentes con las familias de diaclasas del Granito de Pescadero, indicando así, que ambos cuerpos rocosos fueron sometidos a la misma deformación de tipo frágil generada por la Falla de Bucaramanga.

Las fallas menores encontradas sobre el granito de pescadero, presentan componentes normales según el análisis realizado sobre el elipsoide de deformación (Rossello, 2009) que además demuestra que dichas fallas presentes en el cuerpo intrusivo son de carácter antiriedel ya que forman ángulos de 75° aproximadamente entre ellas.

Según lo descrito en la sucesión de eventos estructurales ocurridos en la zona de estudio, se determinó que el elongamiento del Granito de Pescadero es causado por el desplazamiento de la Falla de Bucaramanga, el cual presenta un cizallamiento que favorece la dirección del plano de falla, permitiendo que el sistema principal de esfuerzos se aplique en dirección NW – SE como se aprecia en la figura 27.

8 BIBLIOGRAFÍA

Boinet, T., Bourgois, J., Vargas, R. & Mendoza, H., (1989). La falla de Bucaramanga (Colombia): Su función durante la orogenia andina. Revista Norandina, Bogotá, v. 11, p. 3-10.

Carrillo, E. & Bernal, L., (1992). Identificación de amenazas en la cuenca del Rio Perchiquez, Cepitá, Santander, Colombia. Primeras jornadas Sísmicas del Nordeste Colombiano. Memoria, 20 p. Bucaramanga.

Castellanos O. M. & Ríos C. A., (2008). Itinerario geológico del basamento cristalino de la región suroccidental del Macizo de Santander. Programa de Geología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona, Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Universidad Industrial de Santander.

Catalán, J., (2003). Geología estructural y dinámica global. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca.

Cediel, F., (1968). El Grupo Girón, una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental. Servicio Geológico Nacional. Boletín Geológico, 16 (1-3): 5-96. Bogotá.

Cediel, F., (1969). Geología del Macizo de Floresta. Primer Congreso Colombiano de Geología. Memoria: 17-29. Bogotá.

Clavijo, J., (1985). Secuencia facial de la Formación Los Santos por la Quebrada Piedra Azul: Registro de una hoya fluvial evanescente. Proyecto Cretácico. Publicaciones Geológicas Especiales Ingeominas (16) Capítulo IV: 1-18. Bogotá.

Clavijo, J., *et al.*, (1993). Contribución al conocimiento de la geología de los Santanderes. Cuarto Simposio de Geología Regional. INGEOMINAS. Documento interno, 99 p. Bucaramanga.

Diaz, J. E., Pinto, J. E., Velandia, F., Contreras, M. N., Morales, C. J. & Hincapie G., (2009). Evaluación hidrogeológica preliminar de las unidades geológicas de la Mesa de los Santos, Santander. Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander. Vol. 31, N° 1.

Engelder, T., (1982). Is there a genetic relationship between selected regional joints and contemporary stress within the lithosphere of North America?. *Tectonics*. Vol. 1. Pag. 161-177.

Engelder, T., Fischer M. P., & Gross M. R., (1993). A short Course Manual on Geological aspects of fracture Mechanics. Annual Meeting of the Geological Society of America.

Etayo; F. & Rodríguez, G. I., (1985). Edad de la Formación Los Santos. Proyecto Cretácico. Publicaciones Geológicas Especiales INGEOMINAS, (16) Capítulo XXVI: 1-12. Bogotá.

García G. M., Parra M. P. & Pimentel T. C., (2009). Aplicación de la técnica AFTA@ (Apatite Fision Track Analisis) para la evaluación de la historia termal y evolución tectónica de un sector de Macizo de Santander. Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

García R. C. & Castellanos O. M., (1999). Estudio mineralógico y petrográfico de la Formación silgará en la franja Pescadero - Aratoca, Santander. Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

García R. C. & Mantilla L. C., (1995). Metamorfismo y metalogenia asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental (Colombia). UIS. Escuela de Geología. Bucaramanga.

Hobbs, B. E., Means, W. D. & Williams, P.F., (1981). Geología Estructural. Ediciones Omega, 518 p. Barcelona.

Julivert, M., (1959). Geología de la vertiente W del Macizo de Santander en el sector de Bucaramanga. Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, No. 3, p.15-34.

Laverde, F. y Clavijo, J., (1985). Análisis facial de la Formación Los Santos, según el corte de «Tu y Yo» (Zapatoca). Proyecto Cretácico. Publicaciones Geológicas Especiales Ingeominas, (16) Capítulo VI,: 1-9. Bogotá.

Mantilla L. C., Calderón O. J. & Cepeda E. S., (2001). Historia hidrotermal de la Formación Silgará a partir del estudio de inclusiones fluidas en al área de los municipios Cepitá y Aratoca (dpto. de Santander): implicaciones estructurales y metalogenéticas. Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

Mantilla L. C., González C. A. & Villa G. E., (2006). Petrogénesis de venas hidrotermales con cianita en rocas metapelíticas de la Formación Silgará, región central del Macizo de Santander. Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

Mantilla L. C., Silva A. C. & Traslavina P. A., (2011). Estudio petrográfico y geoquímico de (cuerpos ígneos subvolcánicos) aflorantes en áreas de los municipios Piedecuesta y Aratoca (sector suroccidental del Macizo de Santander). Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

Mantilla, L. C., (2002). Estudio sobre el origen de los filones de fluorita en los municipios Cepita, Los Santos, Piedecuesta, y su relación con la historia hidrotermal del flanco suroeste del Macizo de Santander. Proyecto de investigación. UIS, ICP. Bucaramanga.

Mantilla, L. C. & González, E. Y., (2011). Estudio mineralógico y petrográfico comparativo entre las rocas ígneas del Granito de Pescadero aflorantes en los sectores de Berlín (Tona), Curos (Piedecuesta) y Pescadero departamento de Santander, Colombia. Bucaramanga. Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

Mendoza H. F., Romero T. M. & Lozano J. R., (1993). Características geomecánicas del Granito de Pescadero y su aprovechamiento industrial. Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

Mojica, J. & Villarroel, C., (1984). Contribución al conocimiento de las unidades paleozoicas del área de Floresta (Cordillera Oriental Colombiana, Departamento de Boyacá) y en especial al de la Formación Cuche. Universidad Nacional de Colombia. Geología Colombiana, (13): 55-79 Bogotá.

Ordóñez, J., (2003). Petrology and geochemistry of the granitoids at the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. Unpublished Master Thesis, Shimane University, Matsue (Japan), 150p.

Ordóñez, J., & Mantilla, L., (2004). Significance of an early Cretaceous Rb-Sr age in the Pescadero Pluton, Santander Massif. Boletín de Geología, Vol. 26 (43), pp. 115-126.

Paris, G., Machette, M. N., Dart, R. L. & Haller, K. M., (2000). Map and Database of Quaternary Faults in Colombia and its Offshore Regions: U.S. Geological Survey Open-File Report 00-018, 61 p., 1 plate (1:2.000.000 scale).

Passchier & Trouw, (2005). *Microtectonics*. 2 Ed., Springer, 353 pp.

Pons, D., (1982). *Etude paleobotanique et palynologique de la Formation Giron (jurassique moyencretace inferieur) dans la region de Lebrija, Departamento de Santander, Colombie*. Nat. Savantes Brest. Sci. Jasc.1: 53-78. París.

Rabe, E., (1974). *Die Prekretazische Mesozoische Anfolge Ost-Kordillere Nordlich von Bucaramanga*, 37 p., disertacion Justus Liebig, Universidad Giessen.

Ragan, D. M., (1987). *Geología estructural. Introducción a las técnicas geométricas*. Ed. Omega, Barcelona, 207 pp.

Ramos L. E., (2003). *Upper crust models of Colombia cross sections and tectonostratigraphic terrains location map*. INGEOMINAS.

Remy, W., *et al.*, (1975). *Neueinstufung der Bocas-Folge (Bucaramanga, Kolumbien) in den Unteren Jura anhand einer Phlebopteris-branneri und classopollis-Flora-Argumenta Paleobotánica (4): 55-77*. Münster.

Ríos C. A., Castellanos O. M., Ávila C. G. & Gómez V. S. (2006). *Petrogénesis de las rocas calcosilicatadas que ocurren como bandas de reacción entre mármoles y rocas metapelíticas de la Formación silgará, región central del Macizo de Santander*. Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

Ríos C. A., Gelvez L. J. & Márquez R. R., (2002). *Caracterización textural del granate y de sus elementos de deformación asociados, y modelamiento de su historia de nucleación y crecimiento en rocas pelíticas de la Formación Silgara en la región suroccidental del Macizo de Santander*. Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

Ríos, C. A., Niño, D. C. & Castellanos, O. M., (2012). Metamorfismo de la Formación Silgará en el sector Sardinata Abrego-hacari, región Norte del macizo de Santander, cordillera oriental, Colombia. Bucaramanga. Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

Rossello, E. A., (2009). Control Estructural de mineralizaciones: determinación mecánica y pronósticos prospectivos, Curso dirigido, Medellín. Memorias CD.

Royero, J. M. & Clavijo, J., (2001). Mapa geológico generalizado del Departamento de Santander. Escala 1:400.000. Memoria y mapa. Bogotá D.C. INGEOMINAS, 91 p.

Sánchez, M., (2001). Distribución, Facies y Edad de las Rocas Metamórficas en Colombia. INGEOMINAS.

Secor, D. T., (1965). Role of fluid pressure in jointing. American Journal of Sciences. Vol. 263. Pag. 633-646.

Sevillano, A., (2000). Diaclasas sistemáticas en las rocas Mesozoicas del límite Cordillera Ibérica-Sistema Central. Desarrollo temporal y su relación con el ciclo Alpino. Tesis de pregrado. Universidad de Salamanca. Departamento de Geología. Salamanca. 153p.

Toussaint J.F., (1995) Evolución Geológica de Colombia - Triásico y Jurásico. Ed: Univ. Nal. Medellín. Tomo 2: 94 p.

Ujueta, G., (2003). La Falla de Santa Marta-Bucaramanga no es una sola falla; son dos fallas diferentes: la Falla de Santa Marta y la Falla de Bucaramanga. Geología Colombiana, No. 28, p.133-153.

Ward, D. E., Goldsmith, R., Cruz, J. & Restrepo, H., (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. Bol. Geológico INGEOMINAS. Vol 21, N° 1-3, p 1-132.

Zambrano A. J., Gómez I. S., Beltrán P. R. & Rey P. A., (2002). Comportamiento estructural asociado al sistema de fallas Bucaramanga - Santa Marta y diaclasas, para definir una red de drenaje subterráneo en el Macizo de Santander, sección entre Piedecuesta (Río de Oro) y Bucaramanga (Río Suratá). Tesis (Pregrado). UIS. Escuela de Geología.

9 ANEXOS

Anexo A. Datos de diaclasas en el Granito de Pescadero.

DATOS DE DIACLASAS DEL GRANITO DE PESCADERO	
Coordenadas	
Punto Inicial	Punto Final
X: 1'257.860	X: 1'242.910
Y: 1'117.847	Y: 1'116.075
Azimut de Rumbo	Buzamiento
74	80
77	71
130	84
50	60
70	76
143	81
194	17
138	9
53	78
80	74
320	70
165	64
254	72
68	49
325	60
340	70
314	50
354	73
288	56
310	64
295	85
265	89
183	47
280	73
320	60
140	88
188	23

307	62
188	31
135	89
280	56
358	90
320	75
345	78
48	68
340	72
140	66
340	62
115	56
210	75
180	82
205	33
216	26
346	72
140	66
220	25
129	60
248	20
143	88
83	62
213	87
204	28
155	82
78	55
306	89
90	82
90	77
360	89
334	89
155	78
40	62
58	70
330	74
336	64
50	83
94	81
229	77

328	58
70	79
26	87
84	84
356	73
90	75
334	52
72	84
83	79
319	86
76	70
306	79
57	60
315	84
214	60
326	87
65	84
260	24
130	80
106	48
220	30
73	80
276	56
25	86
80	45
195	27
115	62
64	84
305	50
152	84
302	86
187	31
318	85
243	68
85	75
50	69
288	69
68	75
197	20
250	23

322	82
184	43
50	85
75	79
359	88
63	58
157	82
295	54
49	74
95	73
65	79
100	79
170	50
355	70
76	56
294	66
197	14
66	77
214	38
291	87
194	24
318	70
304	54
250	25
134	37
190	64
146	89
10	13
315	86
40	79
330	72
54	80
120	65
98	87
322	63
87	78
320	62
260	55
218	90
166	79

75	39
74	60
318	85
348	89
70	70
342	86
345	12
66	86
59	80
225	74
124	58
302	63
75	76
165	88
272	79
51	84
300	66
250	87
284	73
90	70
220	30
197	19
260	76
172	68
355	64
287	70
148	88
45	68
254	23
230	34
330	58
76	75
89	70
338	88
55	73
30	89
35	75
286	71
140	58
65	68

316	84
183	27
180	82
134	53
340	86
150	60
20	79
41	69
80	74
340	49
328	84
78	76
74	82
256	84
258	50
90	90
45	86
68	78
195	33
316	69
75	64
286	84
317	85
357	72
95	66
252	30
74	79
68	58
190	56
70	80
164	76
155	85
326	78
260	74
167	57
197	77
6	69
185	77
55	87
75	73

265	89
310	60
341	60
182	45
285	72
310	76
145	85
154	86
210	21
65	70
260	15
132	79
250	80
350	85
120	78
224	84
114	72
213	83
105	74
85	70
265	83
140	89
306	80
77	78
70	76
210	86
76	55
113	79
5	69
182	44
155	86
250	68
197	88
297	71
280	86
119	84
350	80
230	78
5	12
280	88

240	53
4	12
236	78
281	87
4	13
235	77
4	10
5	11
5	78
119	86
118	85
282	88
310	89
322	50
125	84
130	40
273	72
127	40
260	74
322	62
276	69
133	45
294	62
133	44
133	37
272	67
273	69
270	73
275	68
104	72
322	60
132	38
133	43
110	62
128	37
318	60
318	55
276	74
137	45
114	30

322	58
341	61
140	43
340	63
342	62
135	39
127	36
320	55
275	69
320	57
113	32
260	22
130	40
259	69
270	68
20	89
126	35
84	84
270	65
296	61
135	40
320	57
341	63
325	60
281	79
261	72
115	28
278	68
330	60
260	71
263	70
130	39
308	65
275	67
136	42
138	39
274	68
135	50
274	70
323	59

325	58
280	80
112	31
274	70
130	39
135	39
340	61
343	60
133	40
342	62
310	62
321	58
272	72
325	67
116	33
328	57
302	58
135	38
262	73
274	70
123	61
254	82
230	82
74	70
320	72
248	75
62	76
97	14
250	80
225	77
319	73
66	80
335	65
64	72
118	56
177	74
222	74
57	78
177	74
66	82

98	15
126	36
76	72
283	85
335	66
287	90
338	66
128	38
338	64
249	76
333	70
65	71
338	68
130	40
224	76
38	65
284	86
63	73
96	13
334	68
120	58
323	69
325	78
184	52
115	53
252	77
63	78
340	62
336	66
56	79
63	77
73	64
341	67
226	78
290	87
132	42
124	62
79	66
342	65
125	63

229	81
28	55
333	64
325	67
121	59
227	79
281	83
67	81
285	88
78	65
61	75
318	74
336	65
316	76
221	73
127	37
175	74
94	16
324	68
29	56
334	63
180	44
30	57
58	77
321	71
282	84
335	63
68	78
123	33
64	79
95	12
59	76
116	54
64	79
178	74
129	39
220	72
65	80
125	35
178	48

334	70
34	61
31	58
289	92
175	42
320	74
253	74
120	58
338	64
117	55
280	88
66	77
327	77
343	66
319	80
60	70
318	74
182	50
62	74
92	10
333	62
124	34
255	78
131	41
337	67
228	80
253	83
223	75
67	83
75	68
119	57
322	70
133	43
65	82
286	89
339	63
315	77
288	91
245	84
322	76

33	60
181	74
247	76
122	60
341	67
180	74
32	59
36	63
317	75
35	62
37	64
330	74
324	58
326	78
290	85
320	79
34	81
94	84
322	56
317	60
55	45
324	83
179	24
53	43
284	86
54	44
65	44
98	88
21	87
57	47
204	56
105	88
314	54
19	91
20	84
20	73
329	75
322	81
102	85
319	80

199	53
265	81
103	86
96	86
327	60
64	45
178	25
99	79
22	85
180	23
95	85
215	49
328	61
329	55
60	51
206	55
197	51
72	47
66	43
174	29
208	57
106	89
310	74
110	80
108	82
29	71
96	84
285	80
93	87
28	78
62	49
318	59
15	87
24	82
95	85
287	82
69	51
93	83
311	75
196	50

32	79
300	90
321	80
170	33
73	46
91	81
17	89
18	90
299	89
175	28
296	86
327	77
313	77
27	79
7	90
295	80
329	54
23	84
109	81
68	50
205	54
210	59
201	58
98	78
70	52
16	82
213	51
214	50
25	81
292	83
24	83
325	59
172	31
40	72
11	81
198	52
37	75
327	61
297	87
176	27

286	81
289	84
209	58
331	52
294	81
30	77
314	78
20	80
315	55
319	58
323	82
324	57
61	50
195	49
17	81
31	78
58	53
315	84
9	88
319	51
317	82
40	70
320	57
33	80
293	82
288	83
38	74
318	81
12	82
39	73
330	54
328	76
321	52
36	76
21	74
207	56
94	86
312	76
97	77
35	82

211	53
291	84
100	90
330	53
173	30
56	46
321	51
14	86
100	88
326	59
73	73
316	83
323	57
282	88
204	55
99	89
67	49
10	80
92	88
13	83
212	52
298	88
26	80
312	52
325	84
316	61
92	82
101	84
22	75
202	57
107	90
281	89
328	55
283	87
90	80
97	87
23	76
8	89
200	59
71	53

326	60
100	83
91	89
325	58
63	48
280	90
90	81
16	88
331	53
323	51
104	87
313	53
171	32
59	52
177	26
215	80
330	85
226	75
222	65
271	75
81	88
204	60
83	86
273	73
228	77
338	60
347	54
340	58
341	57
329	84
345	90
219	62
82	87
342	56
213	78
214	79
272	74
346	53
209	74
206	70

90	81
334	88
335	89
217	60
207	72
339	59
231	80
88	83
86	90
227	76
230	79
275	71
212	77
84	85
229	78
270	76
343	50
89	82
274	72
348	55
331	86
314	66
208	73
333	87
220	63
218	61
85	85
240	57
80	89
210	71
211	76
344	51
221	64
87	84
345	52
210	75
338	22
132	73
130	74
122	65

124	65
129	75
202	82
339	21
127	68
131	73
123	70
201	81
197	77
132	72
330	30
125	66
198	78
128	69
126	67
133	72
332	28
199	79
337	23
335	25
196	76
126	67
116	74
124	65
204	84
127	68
203	83
333	27
118	69
120	67
133	71
115	73
121	66
205	85
113	71
331	29
128	69
129	75
195	75
134	71

130	74
119	68
117	75
200	80
114	72
334	26
340	20
336	24
125	66
147	36
143	31
35	84
140	48
142	32
144	35
35	80
145	34
289	48
146	33
240	66
205	50
94	78
129	79
265	90
309	79
59	81
303	77
312	73
300	80
318	85
30	85
307	77
186	20
30	65
58	80
57	79
323	81
187	21
268	86
246	22

295	70
309	79
304	76
340	70
244	28
182	16
66	87
38	72
37	69
66	87
313	72
314	80
339	59
315	70
127	76
247	21
64	85
310	80
75	13
242	25
230	58
298	73
342	61
248	20
132	82
36	75
65	86
317	89
191	25
33	68
308	78
262	94
322	87
189	23
241	26
245	23
60	82
316	84
315	86
131	81

306	76
337	57
61	83
296	71
190	24
306	76
240	27
341	62
264	93
301	79
68	89
320	75
57	79
311	74
250	18
305	75
314	71
135	83
324	82
299	74
308	78
35	70
58	80
249	19
311	74
301	73
63	84
64	85
61	83
302	78
338	58
67	88
60	82
184	18
319	82
315	70
291	75
65	86
183	17
307	77

266	88
297	80
181	15
321	88
188	22
243	24
260	87
319	83
299	72
130	80
297	72
336	56
59	81
185	19
67	88
314	71
68	89
16	35
197	62
110	40
325	56
324	26
78	79
345	70
328	58
352	65
107	43
14	26
135	54
333	67
326	52
173	58
5	41
192	52
10	33
339	70
298	32
298	33
252	51
1	36

110	78
341	30
165	60
69	70
48	84
340	65
171	55
195	52
192	52
201	57
301	79
160	50
299	24
182	62
7	27
294	84
129	86
132	69
148	89
330	80
331	61
326	59
352	70
252	63
356	44
347	64
197	75
313	35
322	52
60	89
299	85
337	58
15	31
336	57
350	39
334	65
359	41
251	54
180	51
324	48

3	47
135	65
73	75
336	63
196	70
135	65
260	56
291	28
260	65
194	70
193	20
125	79
80	75
251	85
251	81
172	57
168	59
10	72
65	71
338	26
64	75
351	45
300	33
346	56
357	30
337	36
120	62
350	40
63	72
160	63
253	61
127	65
350	40
340	72
250	52
246	84
357	77
1	28
145	80
350	30

348	33
250	81
122	76
3	30
340	65
14	38
2	65
142	64
326	31
336	69
346	40
177	52
171	53
124	63
124	81
345	65
346	62
340	67
305	34
112	38
257	86
196	54
297	27
196	74
349	34
60	70
190	50
270	33
348	65
298	31
125	78
8	36
253	85
330	67
308	73
296	26
1	47
358	40
14	39
150	85

72	69
263	58
251	85
61	77
249	81
293	25
343	72
60	71
258	82
10	34
341	64
245	82
348	69
349	40
251	80
1	73
115	84
184	64
248	86
125	82
43	69
337	59
74	64
15	35
67	72
248	76
132	58
61	76
6	74
7	76
262	57
347	58
338	59
148	84
344	72
276	83
6	76
114	36
261	55
347	63

295	78
246	86
254	62
55	78
114	81
258	85
6	31
41	85
302	36
290	28
15	29
348	27
66	69
76	80
114	88
356	253
315	55
247	82
293	83
320	45
143	71
6	45
352	34
174	24
305	30
311	59
54	45
356	70
192	18
294	87
261	85
335	76
54	74
293	32
187	21
71	68
164	54
173	61
320	24
331	60

127	29
296	70
339	64
8	36
294	25
352	31
332	67
355	47
299	23
130	34
47	82
342	37
251	81
7	33
331	59
25	68
296	31
172	51
172	58
254	82
395	44
67	76
325	82
196	62
130	89
350	34
188	78
348	38
115	78
190	57
195	71
335	70
328	28
335	30
157	79
4	35
166	54
313	57
0	50
333	69

128	61
9	34
157	74
210	60
70	71
335	68
317	53
315	45
63	75
137	63
109	41
253	83
15	23
334	62
335	68
150	82
339	33
69	74
325	33
124	60
127	60
357	51
250	90
6	30
193	59
355	66
114	74
344	63
329	66
140	73
196	56
336	65
323	69
298	79
345	69
263	89
130	61
152	74
68	71
132	69

338	62
2	41
13	30
135	61
350	36
7	34
1	40
345	62
247	78
245	80
339	85
50	82
182	9
331	69
174	52
7	40
330	50
2	50
331	65
5	33
9	30
196	71
301	75
58	85
116	84
6	29
294	34
6	47
125	68
7	68
350	70
298	27
125	64
295	29
190	76
354	39
337	66
137	33
356	67
340	31

304	71
65	70
342	30
304	75
156	81
343	64
125	85
170	58
3	45
331	51
69	65
315	38
72	74
340	70
170	52
20	36
266	82
335	58
188	70
329	65
160	87
352	71
346	62
340	30
63	72
115	84
310	60
195	79
319	49
340	64
140	74
196	52
245	77
249	88
324	65
70	71
294	22
347	41
343	42
258	78

177	25
194	72
112	75
323	22
319	51
322	27
12	36
247	79
341	63
339	49
310	40
174	63
310	36
136	25
328	58
344	66
337	60
65	73
348	32
338	64
2	64
60	77
321	54
154	85
323	32
105	45
54	87
253	50
6	34
133	68
70	71
340	69
253	84
341	32
62	72
350	70
330	45
320	48
358	50
336	62

320	50
1	40
126	69
290	25
292	75
345	69
293	36
357	66
17	24
251	88
45	84
340	26
254	55
250	52
336	37
280	37
0	34
348	47
75	75
335	36
62	79
334	71
192	60
324	90
174	50
198	55
316	54
347	42
5	31
240	83
340	50
332	63
139	61
355	64
134	62
349	36
62	75
17	39
45	85
340	40

354	71
252	52
300	30
131	46
339	69
357	36
265	87
129	64
254	86
331	29
24	28
63	71
351	64
5	25
46	86
333	73
255	84
256	60
160	75
252	80
75	77
348	70
134	65
111	39
253	55
136	57
206	61
334	69
250	88
200	50
123	64
9	39
67	82
250	50
162	53
167	59
8	42
20	40
15	33
333	55

169	54
72	75
190	15
255	82
191	75
136	70
318	48
339	64
115	35
358	64
256	61
351	49
180	20
355	40
310	72
294	31
67	69
341	68
335	61
154	78
168	80
326	31
186	64
326	59
349	41
196	58
336	68
360	31
8	33
347	38
254	86
340	66
200	60
348	37
7	70
9	32
55	85
334	55
359	45
165	52

168	51
330	63
60	80
300	32
312	58
4	37
198	52
310	45
293	30
259	87
136	66
0	41
261	86
169	66
64	82
63	87
247	82
180	10
355	42
341	52
340	29
256	85
164	58
9	33
347	40
66	71
197	69
187	65
135	64
252	90
60	65
4	72
318	54
270	88
333	78
192	52
326	52
357	41
251	88
253	82

196	14
125	67
320	47
163	57
260	82
334	61
4	40
175	50
65	78
152	75
190	72
328	57
340	62
76	66
165	60
326	57
5	40
10	30
63	64
175	63
326	55
359	15
351	33
337	39
1	35
291	29
358	74
338	34
130	66
246	75
345	45
338	59
195	18
329	66
147	76
333	63
187	16
8	30
357	40
51	85

343	42
298	82
5	24
194	56
68	80
253	88
274	30
340	28
193	73
114	87
305	84
327	24
310	37
336	56
18	35
69	75
166	58
168	61
4	42
324	69
147	79
18	24
159	74
148	77
242	87
355	72
300	35
338	64
164	55
198	60
350	69
154	85
9	44
198	57
15	35
71	69
335	69
343	35
5	36
332	64

15	35
338	57
300	82
293	72
164	56
200	50
185	19
340	60
180	66
1	35
150	78
249	88
11	36
157	80
300	33
345	35
338	48
339	27
126	83
328	58
336	65
335	62
344	36
295	31
146	62
250	80
182	69
320	24
197	58
155	81
346	39
349	68
162	62
251	63
295	33
194	58
68	74
296	88
307	77
251	84

245	85
288	33
0	40
192	74
198	78
327	63
153	79
203	58
190	59
124	30
336	61
312	52
353	65
65	78
10	50
315	40
185	63
295	81
279	38
130	68
346	39
325	57
345	35
359	69
133	65
148	80
330	67
358	62
251	56
302	35
254	62
356	46
13	29
127	85
2	42
146	71
205	63
346	31
66	79
257	86

345	40
73	76
50	85
51	84
1	29
164	65
108	42
204	62
295	70
7	41
48	84
303	82
355	65
358	36
66	76
12	35
323	64
259	79
278	36
164	57
313	50
144	83
156	78
200	52
297	30
303	30
271	39
169	53
294	76
8	46
74	69
168	51
190	68
334	63
130	24
334	62
348	65
79	67
356	72
255	86

8	23
344	34
331	64
300	70
356	68
350	60
359	38
300	70
250	89
320	83
256	84
153	75
290	28
333	62
2	47
248	87
140	70
256	58
325	29
14	25
335	69
150	84
166	62
332	63
260	53
305	74
130	55
156	86
0	30
338	69
63	73
339	64
345	37
169	58
183	58
124	77
340	58
57	89
359	374
165	54

356	41
336	57
13	35
322	25
246	85
340	68
354	75
346	71
294	80
156	83
117	85
68	74
331	36
0	40
113	37
247	80
67	78
170	54
347	68
296	85
66	75
345	70
154	83
290	78
359	74
290	30
256	82
174	55
3	40
332	69
343	33
11	30
297	28
324	34
68	81
330	30
359	32
137	63
11	32
170	52

15	26
333	35
242	84
303	35
60	78
147	73
293	32
51	81
330	59
130	69
298	29
358	5
307	74
170	50
297	26
195	61
255	82
194	53
336	57
47	79
295	25
124	63
184	11
336	22
263	88
338	63
125	60
309	75
9	31
17	35
348	63
110	80
336	58
325	59
165	57
130	63
186	14
170	55
8	73
135	62

5	41
69	80
259	54
335	66
340	68
334	67
2	36
40	80
120	86
196	51
337	68
149	79
346	64
62	82
328	49
291	88
134	62
256	84
341	37
325	62
340	75
53	86
304	39
149	85
123	61
172	59
130	69
3	71
78	73
14	27
345	36
129	24
335	65
145	76
15	31
297	32
334	28
58	75
306	77
345	35

125	62
25	74
15	39
69	75
339	64
7	41
254	84
14	37
352	67
62	70
0	33
320	24
11	38
258	59
68	65
193	52
328	84
330	70
4	48
350	49
6	33
265	89
78	65
66	71
66	71
290	74
353	55
338	69
327	67
337	62
1	38
303	72
121	65
354	47
355	73
135	20
128	67
10	26
260	59
339	33

1	42
8	43
56	83
255	82
332	68
61	77
348	69
146	76
190	60
357	48
359	65
331	68
341	39
159	85
132	60
169	54
7	28
134	59
176	57
8	48
338	58
318	52
330	60
320	32
358	68
4	68
344	45
262	81
349	65
333	25
293	31
7	34
38	42
178	23
333	63
298	86
337	59
135	67
189	77
120	74

77	64
2	31
64	80
120	62
290	89
0	69
300	74
62	79
17	30
337	63
195	71
339	63
184	14
352	43
111	82
0	45
345	41
339	61
310	76
291	71
194	60
201	54
126	63
65	79
133	68
52	84
329	61
333	65
291	34
314	56
297	81
353	38
314	41
170	53
339	65
163	55
266	86
298	24
350	69
165	50

127	67
150	77
79	70
182	17
345	36
130	27
306	74
199	16
258	62
149	81
294	73
1	49
136	6
254	75
156	75
336	62
335	35
147	82
256	88
293	28
190	56
250	80
320	50
326	59
253	89
329	30
1	32
3	42
106	44
253	82
9	27
58	79
332	78
196	12
332	65
338	72
175	56
258	78
10	36
336	61

180	8
256	85
42	87
128	68
253	82
294	33
182	25
356	68
131	64
324	55
169	56
194	54
171	58
4	48
3	36
63	78
336	32
141	72
0	70
59	67
4	30
140	66
6	41
317	51
323	52
124	63
311	31
341	62
130	67
340	56
114	85
247	83
291	35
13	35
347	41
136	68
145	65
187	79
251	89
333	60

203	65
175	65
166	64
338	58
305	35
322	53
118	86
187	63
184	68
134	61
350	60
36	67
333	65

Anexo B. Datos de diaclasas en la Formación Silgará.

DATOS DE DIACLASAS EN LA FORMACIÓN SILGARÁ	
Coordenadas	
Punto Inicial	Punto Final
X: 1'118.376	X: 1'120.222
Y: 1'245.654	Y: 1'248.151
Azimut de Rumbo	Buzamiento
338	22
132	73
130	74
122	65
124	65
129	75
202	82
339	21
127	68
131	73
123	70
201	81
197	77
132	72
330	30
125	66
198	78
128	69
126	67
133	72
332	28
199	79
337	23
335	25
196	76
126	67
116	74
124	65
204	84
127	68
203	83

333	27
118	69
120	67
133	71
115	73
121	66
205	85
113	71
331	29
128	69
129	75
195	75
134	71
130	74
119	68
117	75
200	80
114	72
334	26
340	20
336	24
125	66
147	36
143	31
35	84
140	48
142	32
144	35
35	80
145	34
289	48
146	33
240	66
205	50
94	78

Anexo C. Datos de venas en la Formación Silgará.

DATOS DE VENAS EN LA FORMACIÓN SILGARÁ	
Coordenadas	
Punto Inicial	Punto Final
X: 1'118.376	X: 1'120.222
Y: 1'245.654	Y: 1'248.151
Azimut de Rumbo	Buzamiento
100	45
98	41
102	47
101	46
99	42
103	44
102	50
103	52
104	54
99	49
100	48
101	47

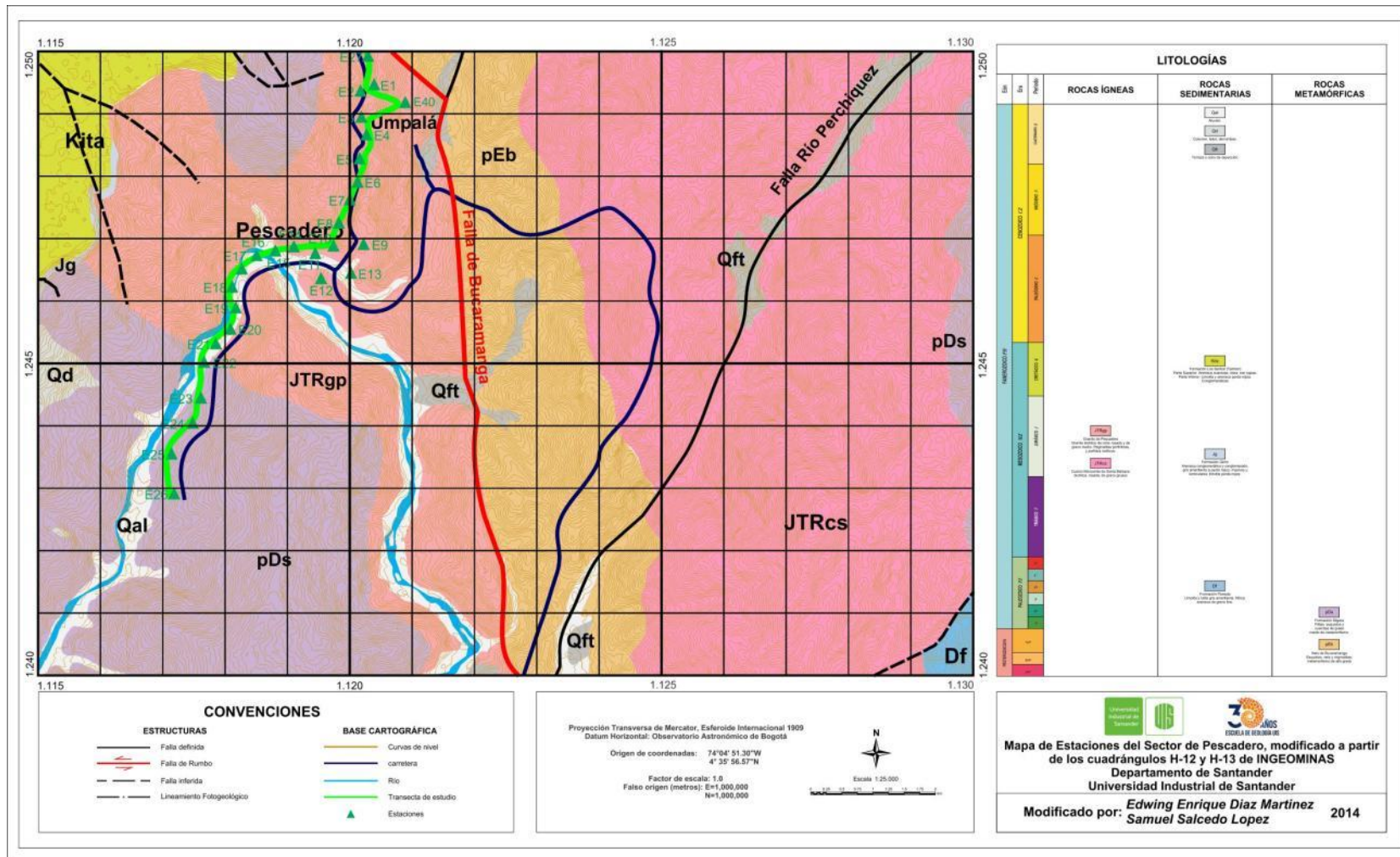
Anexo D. Datos de fallas menores en el Granito de Pescadero.

DATOS DE FALLAS MENORES EN EL GRANITO DE PESCADERO		
<i>Azimut de Rumbo</i>	<i>Buzamiento</i>	<i>Coordenadas</i>
335	54	X= 1.249.849 Y= 1.120.342 Z= 794
315	86	X= 1.249.013 Y= 1.120.137 Z= 760.9
322	76	X= 1.249.258 Y= 1.120.295 Z= 763
330	70	X= 1.249.094 Y= 1.120.117 Z= 740
95	90	X= 1.246.739 Y= 1.120.025 Z= 580
210	76	X= 1.246.619 Y= 1.119.804 Z= 604
80	89	X= 1.248.589 Y= 1.120.255 Z= 649
345	58	X= 1.247.814 Y= 1.120.180 Z= 642

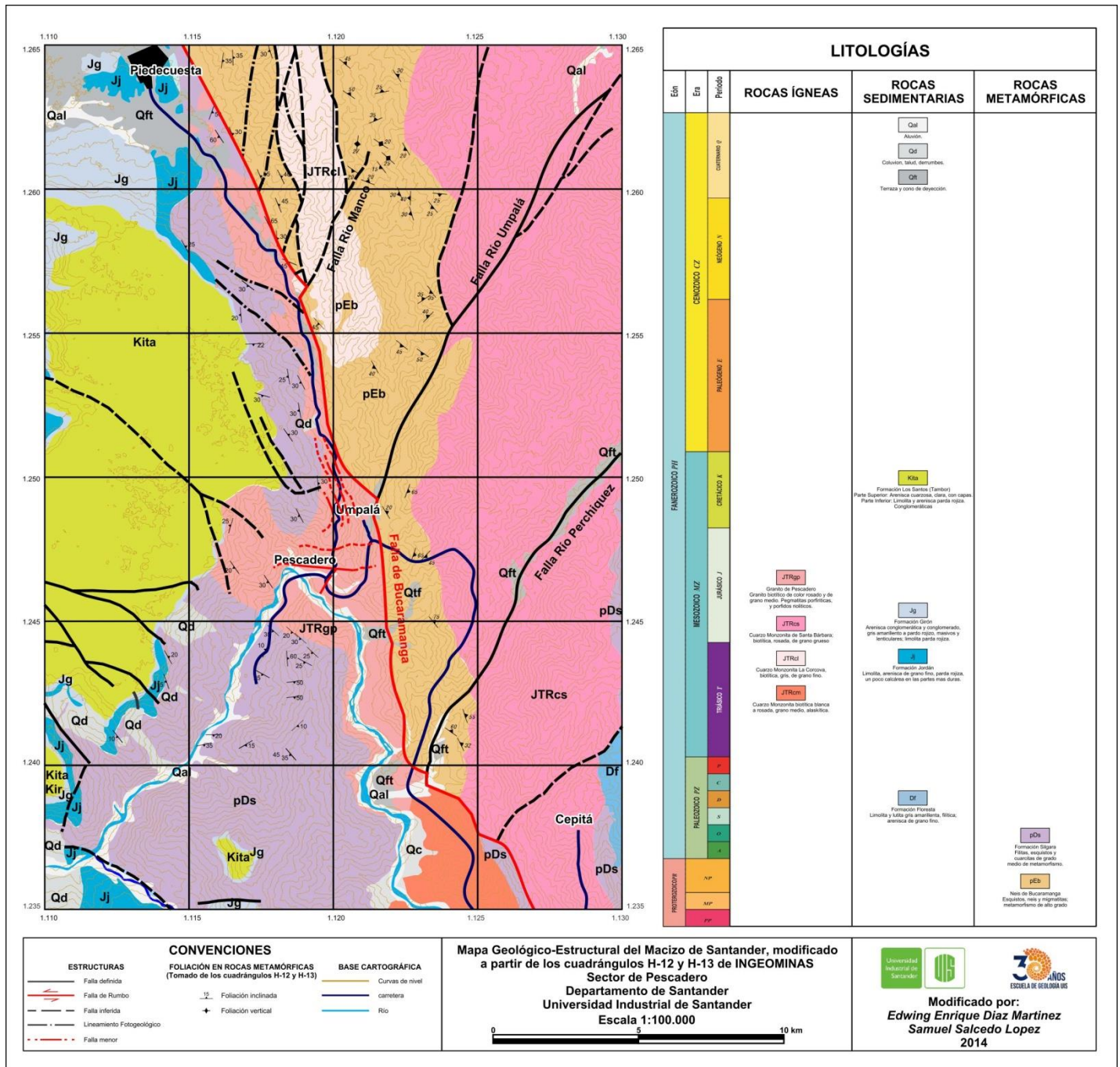
Anexo E. Datos de estrías de falla en el Granito de Pescadero.

DATOS DE ESTRÍAS DE FALLA SOBRE EL GRANITO DE PESCADERO				
Coordenadas				
Punto Inicial				
X= 1'249.852			Y= 1'121.648	
Punto Final				
X= 1'249.745			Y= 1'121.621	
Plano de diaclasa		Pich	Trend	Plunge
300	72	34	302	72
298	70	32	300	70
301	70	33	300	72
300	74	33	302	75
305	74	36	301	73
304	73	35	303	71
297	71	35	302	69
301	71	36	306	70
302	69	31	299	73
299	73	34	303	75
296	76	8	294	76
298	73	10	297	75
299	77	7	296	74
295	75	9	290	75
290	77	6	295	78
295	79	8	293	76
299	73	7	296	77
298	75	7	300	78
292	74	9	293	77
297	74	11	295	73

Anexo G. Mapa de Estaciones a escala 1:25.000 del Sector de Pescadero.



Anexo H. Mapa Geológico-Estructural a escala 1:100.000 del Macizo de Santander, Sector de Pescadero.



Anexo I. Mapa de Estaciones a escala 1:100.000 del Macizo de Santander, Sector de Pescadero.

