



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL DEL  
SECTOR DE LA POZA EL SOLDADO, RÍO MARHUANTA,  
PARROQUIA MARHUANTA, MUNICIPIO BOLIVARIANO  
ANGOSTURA DEL ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR,  
VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE  
GRADO PRESENTADO POR  
LOS BACHILLERES  
BORDONES BONALDE  
RAMON E. Y LOPEZ  
HIDALGO NEGINOTH A.,  
PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE GEÓLOGO**

**CIUDAD BOLÍVAR, ENERO 2024**



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**HOJA DE APROBACIÓN**

Este Trabajo de Grado, intitulado **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL DEL SECTOR DE LA POZA EL SOLDADO, RÍO MARHUANTA, PARROQUIA MARHUANTA, MUNICIPIO BOLIVARIANO ANGOSTURA DEL ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA**, presentado por Bordonas Bonalde Ramón E. y López Hidalgo Neginoth A., ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

| <b>Nombre:</b>   | <b>Firma:</b>   |
|--|---|
| Prof. Rivadulla Rosario<br>_____                             | _____   |
| (Asesor)   |   |
| Prof. Enrique Acosta<br>_____                                | _____   |
| Jurado   |   |
| Prof. Edixon Salazar<br>_____                                | _____   |
| Jurado   |   |
| _____  | _____   |
| Prof. Rosario Rivadulla<br>Jefe del Departamento de Geología | Prof. Francisco Monteverde<br>Director de la Escuela de Ciencias de la Tierra |

Ciudad Bolívar \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2023

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro primeramente al Dios Padre Creador, Hijo Jesús y el Espíritu Santo por darme fortaleza, entendimiento y salud para lograr esta meta, como dice en su Palabra en Filipenses 4:13 “Todo lo puedo en Cristo que me Fortalece”.

A mi Familia por ser mi apoyo incondicional, mi esposo José Gregorio Lugo y Mi hijo José Ignacio quien me motiva cada día a ser mejor, a mi Papito Emilio Hidalgo y mi Mami Hixia de Hidalgo, donde quieran que estén, a mis padres por estar orgullosos de mí, a mis hermanos, tíos, primos porque se alegran por mis logros.

### **Neginoth López**

El presente trabajo de grado va dedicado primeramente a Dios, quien como guía estuvo presente en cada paso que inicie en mi vida bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mi madre Elena Bonalde que con su amor incalculable e incondicional nunca me faltaron fuerzas para seguir y seguir siendo la persona que soy, a mi padre Rómulo Bordonos que aunque no esté presente físicamente en este mundo fuiste y serás siempre mi inspiración gracias por esas fuerzas que brindaste cuando te podía abrazar este logro es por ti, dónde quieras que estés.

### **Ramón Bordonos**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por ayudarme a lograr esta meta, pues como dice en su palabra en Proverbios 16:3 “Pon en manos del Señor todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán”.

Agradezco a mi Esposo por su apoyo, a mis padres y a mis amigos que me regalo la Universidad de Oriente que con el tiempo se volvieron familia.

Gracias a mi ilustre tutora, la profesora Rosario Rivadulla por su paciencia, apoyo y esmero para con nosotros en la realización de este Trabajo de Grado, agradeciéndole también sus enseñanzas tanto académicas como sus enseñanzas para la vida.

Gracias a mi compañero de batallas académicas y compadre Ramón Bordonos por su amistad incondicional.

Agradezco a mis queridos Profesores de Básico Y de la escuela de Ciencias de la Tierra, por su dedicación a formarme como profesional.

**Neginoth López**

A Dios primeramente por haberme ayudado a llegar hasta este punto, por darme las fuerzas y la salud para seguir cada día, por ser mi guía, apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mis padres Rómulo Bordonos y Elena Bonalde y mis hermanos Blanca Bordonos, Andrés Bordonos, Romina Bordonos, Yohana Bordonos y Rómulo Bordonos por su apoyo incondicional, por sus consejos, por estar siempre en esos momentos que necesite de ellos, por ayudarme con los recursos necesarios para ser posible esta meta, por los valores y la educación que me han brindado, por su gran amor, a ustedes mil gracias.

Agradezco a mi novia Jossandra Marco por no dejarme caer y seguir hasta el final con ese rígido empeño que me ayudó a no perder la confianza cuando sentía que no podía más y su amor para conmigo, eres mi inspiración y mi motivación.

Gracias a mi amigos y compañeros de estudios Carlos Ramírez por creer siempre en mi desde el inicio, Diana Campos por su apoyo siempre, Paola Almedo por ese cariño tan grande que brindo fuerzas y nunca parar, a mi comadre y compañera de tesis Neginoth López por afrontar cada batalla que se nos colocó en frente desde que iniciamos, porque eres una mujer guerrera y no puedo estar más orgulloso de ti, siempre estaré agradecido.

De manera especial a mi tutora de tesis Rosario Rivadulla, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

**Ramón Bordonos**

## RESUMEN

El área de estudio se localiza al sureste de Ciudad Bolívar, en la parroquia Marhuanta, del municipio Angostura, estado Bolívar, en el río Marhuanta, sector Poza El Soldado. Este trabajo tiene como finalidad la caracterización geológica – estructural, del sector de la Poza El Soldado en la cuenca media del río Marhuanta. Es una investigación de tipo descriptiva y con un diseño documental y de campo. Para el logro de los objetivos se recolectó información en 5 afloramientos, ubicadas en el Complejo de Imataca. Y se recolectaron 9 muestras de rocas; de ellas a 6 se realizó el análisis mineralógico macroscópico con una lupa 10X. Cada estación se ubicó con las coordenadas U.T.M., en huso 20, datum La Canoa; y se midieron los rumbos de las diaclasas, foliación y diques. Se utilizó como cartografía la hoja 7540 (Marhuanta) a escala 1:100.000 y las imágenes de Google Earth. Para procesar los datos de las estructuras se utilizó la aplicación stereonet, y elaborar los diagramas de rosetas; en los cuales se analizaron los sistemas de diaclasas y los azimut que presentan en el área de estudio; procesando información de 4 datos de foliaciones y 12 datos de diaclasas. El mapa geológico se elaboró con datos de campo, utilizó la aplicación de PowerPoint del office 2016 y el Autocad Land y Autocad 2012, para digitalizarlo. Los resultados obtenidos del levantamiento de campo indican la presencia de 2 unidades estratigráficas en la zona: el Complejo de Imataca que se caracteriza litológicamente por gneises cuarzosos - biotíticos – anfíbolíticos, gneises biotíticos – cuarzosos, gneises feldespáticos - cuarzosos – biotíticos y gneises cuarzosos – biotíticos; y los suelos residuales de Imataca, que se caracterizan por presentar fragmentos de cuarzo y cuarcitas ferruginosas de 1 a 6 cm de diámetro. Mineralógicamente los gneises cuarzosos - biotíticos – anfíbolíticos presentan: Cuarzo 30%, Plagioclasas 30%, Mica biotita 15%, Anfíbol 15% y Piroxenos 10%; los gneises biotíticos – cuarzosos: Mica biotita 40 a 50%, Plagioclasas 30% y Cuarzo 20 a 30%; gneises feldespáticos - cuarzosos – biotíticos: Plagioclasas 30%, Feldespatos 30%, Cuarzo 20% y Mica biotita 20% y los y gneises cuarzosos – biotíticos: Plagioclasas 40%, Cuarzo 35%, Mica biotita 20% y Feldespatos 5%. Las foliaciones en el afloramiento A1 tiene azimut de 78°, en A2 y A3, de 114° y 115°, respectivamente y en A4 de 90°; determinándose que entre los azimut de las foliaciones de la zona, hay con un ángulo entre ellas de 37°; esta diferencia podría estar asociado a plegamiento. De acuerdo al diagrama de roseta con todos los datos de campo, en azimut, existen 2 grandes sectores de direcciones predominantes en el área de estudio, de 20° a 310° y de 80° a 100°. El patrón geométrico de los sistemas de diaclasas es subparalelo, ortogonal y conjugado, y la dirección de los esfuerzos son NW-SE y N-S. En el mapa geológico la unidad del Complejo de Imataca conformada por gneises cuarzo feldespáticos biotíticos, gneises cuarzo feldespáticos biotíticos anfíbolíticos y cuarcitas ferruginosas, ocupa el 20% del área de estudio y la unidad de suelos residuales producto de la descomposición de las rocas

del Complejo de Imataca ocupa el 80% del área.

## CONTENIDO

|   | Página |
|---|--------|
| HOJA DE APROBACIÓN .....  | 2      |
| DEDICATORIA .....   | 3      |
| AGRADECIMIENTOS .....   | 4      |
| RESUMEN .....   | 6      |
| CONTENIDO .....   | 7      |
| LISTA DE FIGURAS .....  | 11     |
| LISTA DE TABLAS .....   | 14     |
| INTRODUCCIÓN .....  | 15     |
| CAPÍTULO I .....  | 2      |
| SITUACIÓN A INVESTIGAR .....                                      | 2      |
| 1.1 Planteamiento del problema .....                              | 2      |
| 1.2 Objetivos de la investigación .....                           | 3      |
| 1.2.1 Objetivo general .....                                      | 3      |
| 1.2.2 Objetivos específicos .....                                 | 4      |
| 1.3 Justificación de la investigación .....                       | 4      |
| 1.4 Alcance de la investigación .....                             | 5      |
| 1.5 Limitaciones de la investigación .....                        | 5      |
| CAPÍTULO II .....   | 6      |
| GENERALIDADES .....   | 6      |
| 2.1 Ubicación geográfica del área de estudio .....                | 6      |
| 2.2 Acceso al área de estudio .....                               | 6      |
| 2.3 Características físicas y naturales del área de estudio ..... | 8      |
| 2.3.1 Clima .....   | 8      |
| 2.3.2 Drenaje .....   | 11     |
| 2.3.3 Vegetación .....  | 12     |
| 2.3.4 Suelos .....  | 13     |
| 2.3.5 Geomorfología .....   | 14     |

|   |    |
|---|----|
| 2.4 Geología regional.....  | 16 |
| 2.4.1 Provincia de Imataca.....   | 16 |
| 2.4.2 Formación Mesa .....  | 17 |
| 2.4.3 Sedimentos del Reciente .....   | 19 |
| 2.5 Geología estructural.....   | 20 |
| 2.6 Geología local.....   | 22 |
| CAPÍTULO III .....  | 24 |
| MARCO TEÓRICO.....  | 24 |
| 3.1 Antecedentes relacionados con la investigación.....   | 24 |
| 3.2 Fundamentos teóricos.....   | 26 |
| 3.2.1 Clasificación petrográfica de las rocas metamórficas.....   | 26 |
| 3.2.2 Diaclasas .....   | 27 |
| 3.2.3 Diaclasas según su apariencia .....   | 27 |
| 3.2.4 Familias de diaclasas .....   | 28 |
| 3.2.5 Sistema de diaclasas.....   | 28 |
| 3.2.6 Origen de las diaclasas.....  | 29 |
| 3.2.7 Zonas de cizalla .....  | 30 |
| 3.2.8 Plegamiento pasivo o de flujo .....   | 30 |
| 3.2.9 Diaclasas generadas por esfuerzos tectónicos, asociadas a fallas y<br>asociadas a zonas de cizalla frágil – dúctil..... | 31 |
| 3.2.10 Medida de las direcciones características de las diaclasas .....   | 32 |
| 3.2.11 Diagrama de Rosas o Roseta.....  | 33 |
| 3.2.12 Diaclasas y fallas .....   | 34 |
| 3.2.13 Diaclasas y pliegues .....   | 35 |
| 3.2.14 Diaclasas e intrusivos.....  | 35 |
| 3.3 Definición de términos básicos.....   | 36 |
| 3.3.1 Rumbo.....  | 36 |
| 3.3.2 Buzamiento .....  | 36 |
| 3.3.3 Estructuras planares .....  | 36 |
| 3.3.4 Foliación.....  | 37 |
| 3.3.5 Texturas foliadas.....  | 37 |
| 3.3.6 Tipos de rocas metamórficas.....  | 38 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.3.7  | Clasificación de las fracturas .....  | 42 |
| 3.3.8  | Fallas, zonas de falla y zonas de cizalla.....                                  | 42 |
| 3.3.9  | Sills .....   | 43 |
| 3.3.10 | Diques .....  | 44 |
| 3.3.11 | Metamorfismo regional.....  | 44 |
|        | CAPÍTULO IV .....   | 45 |
|        | METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....  | 45 |
| 4.1    | Tipo de investigación.....  | 45 |
| 4.2    | Diseño de la investigación.....   | 46 |
| 4.3    | Población y muestra de la investigación .....                                   | 47 |
| 4.3.1  | Población.....  | 47 |
| 4.3.2  | Muestra .....   | 47 |
| 4.4    | Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....                           | 47 |
| 4.4.1  | Procedimiento de campo.....   | 48 |
| 4.4.2  | Instrumentos de recolección de datos .....                                      | 49 |
| 4.5    | Técnicas de la ingeniería a utilizar .....                                      | 50 |
| 4.5.1  | Chequeo de campo.....   | 50 |
| 4.5.2  | Inspección de campo.....  | 51 |
| 4.5.3  | Mapas geológicos de superficie .....  | 51 |
| 4.5.4  | Memoria explicativa .....   | 51 |
| 4.6    | Flujograma de la investigación.....   | 52 |
| 4.6.1  | Planificación del trabajo de campo.....   | 52 |
| 4.6.2  | Reconocimiento del área.....  | 55 |
| 4.6.3  | Etapa de campo.....   | 55 |
| 4.6.4  | Etapa de laboratorio .....  | 56 |
| 4.6.5  | Etapa de oficina .....  | 56 |
| 4.6.6  | Redacción del informe final .....   | 60 |
|        | CAPÍTULO V .....  | 61 |
|        | ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....                                   | 61 |
| 5.1    | Características de unidades geológicas del área Marhuanta-Poza El Soldado ..... | 61 |
| 5.2    | Descripción de las estaciones de trabajo.....                                   | 63 |
| 5.2.1  | Afloramiento A1.....  | 64 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.2.2 | Afloramiento A2.....  | 66 |
| 5.2.3 | Afloramiento A3.....  | 66 |
| 5.2.4 | Afloramiento A4.....  | 67 |
| 5.2.5 | Afloramiento A5.....  | 69 |
| 5.3   | Clasificación y composición mineralógica de las muestras de rocas .....               | 70 |
| 5.4   | Clasificación de las estructuras geológicas con datos de campo .....                  | 74 |
| 5.4.1 | Resultados de los datos de las foliaciones .....                                      | 74 |
| 5.4.2 | Resultados de los datos de las diaclasas .....  | 75 |
| 5.5   | Determinación de la dirección de esfuerzo $\sigma_1$ en los diagramas de rosetas..... | 80 |
| 5.6   | Análisis del mapa geológico del área de estudio .....                                 | 81 |
|       | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 84 |
|       | Conclusiones.....   | 84 |
|       | Recomendaciones .....   | 85 |
|       | REFERENCIAS .....   | 86 |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Página |
|--|--------|
| Figura 2.1 Ubicación del área, en el río Marhuanta – Poza El Soldado. Fuente: Hoja cartográfica Marhuanta (7540) y Google Earth .....                              | 7      |
| Figura 2.2 Acceso al área de estudio, en la Poza El Soldado en el río Marhuanta. Fuente: Google Maps .....   | 8      |
| Figura 2.3 Gráfico de precipitación anual en Ciudad Bolívar (Fuente:METAR). .....  | 9      |
| Figura 2.4 Gráfica media mensual de las temperaturas máximas y mínimas diarias en Ciudad Bolívar (Fuente: METAR).....  | 10     |
| Figura 2.5 Gráfica de insolación anual en Ciudad Bolívar (Fuente: METAR). 10   |        |
| Figura 2.6 Mapa topográfico con el drenaje en el sector del río Marhuanta. Fuente: Hoja de Cartografía Nacional Marhuanta (7540) a escala 1.100.000, año 1970..... | 11     |
| Figura 2.7 Vegetación en el río Marhuanta, sector Poza El Soldado.....   | 13     |
| Figura 2.8 Suelos en el área de estudio .....  | 14     |
| Figura 2.9 Paisaje con loma, de la zona del río Marhuanta, sector la Poza El Soldado.....  | 15     |
| Figura 2.10 Paisaje con loma, con afloramientos de gneises, en el río Marhuanta, sector la Poza El Soldado.....  | 15     |
| Figura 2.11 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana, mostrando la extensión y delimitación de la Provincia de Imataca. Mendoza, V., (2012).....          | 17     |
| Figura 2.12 Extensión geográfica de la Formación Mesa (Modificada de PDVSA- Intevp 1997-2005. ....   | 19     |
| Figura 2.13 Fajas litotectónicas del Complejo de Imataca (Mendoza, 2005) ...   | 21     |
| Figura 2.14 Mapa geológico. Fuente: HOJA NC-20-14, sector sur- central, a escala 1:250.000 (CVG- TECMIN, 1991) .....   | 23     |
| Figura 3.1 Tipos de diaclasas (Geovirtual, 2023).....  | 27     |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.2 Familia de diaclasas (A) y 2 familias de diaclasas (B) (Fossen, 2010) .....   | 28 |
| Figura 3.3 Sistema de conjugadas (Fossen, 2010).....   | 29 |
| Figura 3.4 Plegamiento de flujo (Fossen, 2010).....  | 31 |
| Figura 3.6 Representación gráfica de frecuencias de orientaciones de diaclasas (Jiménez Sebastián, 2016).....                                  | 32 |
| Figura 3.7 Representación de frecuencias de orientaciones de diaclasas (Pérez, 2023) .....   | 33 |
| Figura 3.8 Roseta de diaclasas (Wolfgang, G., 2001).....   | 34 |
| Figura 3.9 Estructuras en rocas de fábrica planar y lineal (Van der Pluijm & Marshak, 2004).....   | 37 |
| Figura 4.4 Etiquetado y fotografías de las muestras recolectadas en campo ....   | 49 |
| Figura 4.1 Flujograma de la investigación .....  | 54 |
| Figura 4.2 Actividades de campo .....  | 56 |
| Figura 4.3 Ventana del software Strereonet, para cargar los datos iniciales .....  | 58 |
| Figura 4.4 Ventana de la izquierda de software Strereonet, para activar la generación del Diagrama de Rosa, en la pestaña “Rose Diagram” ..... | 58 |
| Figura 4.5 Ventana de la izquierda de software Strereonet, con la generación del “Diagrama de Rosa” con las etiquetas de los datos .....       | 59 |
| Figura 5.1 Afloramiento A1, sector la Poza El Soldado .....  | 61 |
| Figura 5.2 Afloramiento A1 del Complejo de Imataca, sector la Poza El Soldado.....   | 62 |
| Figura 5.3 Suelos residuales del área de estudio .....   | 63 |
| Figura 5.4 Mapa con la ubicación de los afloramientos.....   | 64 |
| Figura 5.5 Gneises con diques de cuarzo, pegmatitas, foliados, con pliegues de flujo, y diaclasas verticales en el afloramiento A1. ....       | 66 |
| Figura 5.6 Afloramiento A2 en la margen derecha del río Marhuanta .....  | 66 |
| Figura 5.7 Gneis con diques de cuarzo y diaclasas ortogonales, del afloramiento A3.....  | 67 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 5.8 Gneises con pliegues de falla, asociado a una falla dextral, en el afloramiento A4.....                            | 68 |
| Figura 5.9 Gneises con diaclasas ortogonales, en el afloramiento A4.....  | 69 |
| Figura 5.10 Cuarzitas ferruginosas, en el afloramiento A5.....  | 69 |
| Figuro 5.11 Muestras de rocas de los afloramientos.....   | 73 |
| . .....   | 73 |
| Figura 5.12 Diagrama de rosetas de las foliaciones.....   | 75 |
| Figura 5.13 Diagrama de rosetas de las diaclasas del río Marhuanta, sector El Soldado.....                                    | 76 |
| Figura 5.14 Diagrama de roseta de las diaclasas de A1.....  | 78 |
| Figura 5.15 Diagrama de roseta de las diaclasas de A2.....  | 79 |
| Figura 5.17 Diagramas de roseta de las diaclasas de los afloramientos A1 y A2 con dirección de los esfuerzos $\sigma_1$ ..... | 81 |
| Figura 5.18 Mapa geológico del río Marhuanta, sector de la Poza El Soldado.   | 83 |

## LISTA DE TABLAS

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 5.1 | Coordenadas de la ubicación de los afloramientos.....     | 63 |
| 5.2 | Resultados del análisis petrográfico usando lupa 10X..... | 74 |
| 5.3 | Datos de rumbo y azimut de las foliaciones.....           | 77 |
| 5.4 | Datos de las diaclasas del afloramiento A1.....           | 79 |
| 5.5 | Datos de las diaclasas del afloramiento A2.....           | 80 |
| 5.6 | Datos de las diaclasas de A3 y A4.....                    | 82 |

## INTRODUCCIÓN

La Provincia Imataca es una de las 4 que conforman el escudo Guayana. Imataca pertenece al denominado cinturón granulítico, se caracteriza por filas alargadas de cuarcitas ferruginosas anfibolíticas y granulíticas, migmatitas, charnockitas y algunos mármoles dolomíticos del Complejo Imataca, que ocupa zonas montañosas con alturas superiores a los 40 msnm. En ella se encuentra el Complejo de Imataca, presentándose en afloramientos rocosos en diferentes partes de la región, asociado a las elevaciones más altas, así como también se encuentra en los cauces de los principales ríos y quebradas; en el cual las rocas se encuentran diaclasadas, cizalladas y/o plegadas, con presencia de diques y sills; que son de gran interés conocer para determinar los recursos potenciales geoeconómicos.

En el caso de esta investigación, la zona se encuentra ubicada en el Municipio Bolivariano Angostura del estado Bolívar, aproximadamente a 10 km de Ciudad Bolívar, vía Marhuanta, específicamente en el sector de la Poza El Soldado en la cuenca media del río Marhuanta, donde se encuentran numerosos afloramientos rocosos pertenecientes al Complejo de Imataca, de los cuales se podrían estudiar las características litológicas y estructurales y aportar nueva información geológica.

El presente trabajo está estructurado en cinco capítulos. En el capítulo I se presenta la situación a investigar, abarca los objetivos, justificaciones y limitaciones de la investigación. El capítulo II corresponde a las generalidades del área. En el capítulo III se citan los antecedentes, se presentan los fundamentos teóricos y la definición de términos básicos. La metodología empleada se muestra en el capítulo IV. En el capítulo V se representan el análisis e interpretación de los resultados y por último se presentan las conclusiones y recomendaciones generadas del análisis de los resultados como consecuencia final del estudio.

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Planteamiento del problema

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Provincia geológica de Imataca, en la unidad estratigráfica del Complejo de Imataca, el cual forma parte del Escudo de Guayana y del Cratón Amazónico.

El Cratón Amazónico es una masa Precámbrica que abarca aproximadamente 430.000 Km<sup>2</sup> del continente Sur Americano y está conformado por cinturones orogénico y dos grandes bloques cratónicas, al Sur del Cratón de Guarape y al Norte el Cratón de Guayana, los cuales están separados entre sí por la cuenca del río Amazona. La parte venezolana del Escudo de Guayana representa un 25% del total de su área. El cual ha sido dividido en base a sus asociaciones litológicas, estilo estructural, metamorfismo y geo cronológica en cuatro provincias de más antigua a más joven (Roraima, Cuchivero, Pastora, Imataca)

La Provincia Geológica Imataca, donde se encuentra la zona de estudio es un bloque de edad Arqueozoico caracterizado por su complejidad estructural y alto grado metamórfico, que va desde las facies de la anfibolita hasta las facies granulitas de dos piroxenos, se extiende en dirección Suroeste-Noreste desde las proximidades del río Caura hasta el Delta del Orinoco y en dirección Noroeste-Sureste aflora desde el curso del río Orinoco hasta la falla de Gurí por unos 550 Km de largo por 80 Km de ancho, respectivamente. Litológicamente la Provincia de Imataca está formada por gneises graníticos y granulitas félsicas (60 – 75%), anfibolitas y granulitas máficas, y hasta ultramáficas (15 – 20%), y cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro, dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos

intrusitos más jóvenes y remanentes erosionales de menos metamorfizados y más jóvenes CRV – TTG gnéisicos (El Torno – Real Corona) (Mendoza, V. 2000).

La zona de estudio se encuentra en el sector de la Poza El Soldado del río Marhuanta, ubicado geológicamente en el Complejo Imataca, en faja tectónica de Ciudad Bolívar, de la cual no existe información a nivel de detalle en relación a la petrología y los aspectos estructurales, y los estudios existentes proporcionan información a nivel regional, tales como los estudios de C.V.G. Tecmin (1991), , el Mapa Geológico de Venezuela a escala 1:750.00 (Paul C. Hackley y otros, 2006), el mapa geológico de la hoja cartográfica Marhuanta (7540) a escala 1:100.000 del año 2005, realizado por INGEOMIN y los estudios tectónicos realizados por Ascanio (1975), donde cita las fajas tectónicas en que se divide el Complejo de Imataca, entre ella la Faja de Ciudad Bolívar, donde se encuentra el área de estudio, y que presenta las relaciones estructurales de la región asociadas a los fenómenos de la tectónica de placas de Sur América y Mar Caribe.

El área que se plantea estudiar, se encuentra en el sector de la Poza El Soldado en el río Marhuanta, y sus alrededores, de la cual existe muy escasa información sobre las características geológicas a nivel de detalle, así como de los afloramientos rocosos, por lo que en este proyecto se pretende estudiar a nivel de semi - detalle las rocas aflorantes y las estructuras geológicas asociadas a ellas de ese sector. Los datos estructurales que se obtengan en este trabajo serán comparados con los datos tectónicos regionales y así aportar nueva información o corroborar los datos existentes, por lo que se justifica la realización de esta investigación.

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Realizar la caracterización geológica-estructural del sector de la Poza El Soldado, río Marhuanta, parroquia Marhuanta, Municipio Bolivariano Angostura del Orinoco, estado Bolívar, Venezuela.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1) Identificar las unidades geológicas presentes en el área de estudio, con apoyo bibliográfico y recopilación de información en campo.

2) Representar en un mapa geológico las unidades litológicas presentes en la zona de estudio.

3) Realizar la descripción macroscópica - petrográfica de las rocas aflorantes del sector de la Poza El Soldado del río Marhuanta, utilizando las muestras recolectadas en campo.

4) Determinar las características de las estructuras geológicas presentes en las rocas a partir de los datos de rumbo y buzamiento.

5) Inferir la dirección de los esfuerzos tectónicos que dieron origen a las diaclasas y fallas, analizando los diagramas de rosas.

6) Comparar el patrón de diaclasas local con el regional utilizando estudios previos o información de cartografía geológica.

### **1.3 Justificación de la investigación**

Desde el punto de vista geológico, en la zona solamente existe información a

escala regional, con este estudio se pretende aportar información a escala a nivel de detalle, por lo que se justifica el presente proyecto, pues aportará nueva información para fortalecer futuros proyectos geológicos estructurales.

#### **1.4 Alcance de la investigación**

Identificar las unidades litológicas presentes en el área, clasificación petrográfica macroscópica de las rocas, clasificación de las estructuras geológicas asociadas a las rocas, determinación de los esfuerzos que originaron las diaclasas y fallas, comparación entre el patrón de diaclasas y de los esfuerzos locales con los regionales y la representación de las unidades litológicas y las estructuras en un mapa geológico.

#### **1.5 Limitaciones de la investigación**

Para realizar este estudio se presentan diversas limitantes, principalmente el traslado al área, debido al coste del combustible. Por otro lado, se puede decir que un factor negativo es el poco presupuesto con el que se cuenta, sumado a eso que se requieren diversos análisis de las muestras tomadas y la Universidad de Oriente en su Escuela de Ciencias de la Tierra no cuenta en la actualidad con este tipo de laboratorio requerido para ese estudio, lo cual generará un elevado valor presupuestario, así como el tiempo necesario para llevar a cabo las distintas actividades.

## **CAPÍTULO II**

### **GENERALIDADES**

#### **2.1 Ubicación geográfica del área de estudio**

El área de estudio se localiza al sureste de Ciudad Bolívar, en la parroquia Marhuanta, del municipio Angostura, estado Bolívar, en el río Marhuanta, sector Poza El Soldado y se encuentra localizada dentro de las coordenadas UTM REGVEN (WG884) Huso 20: N: 841900 – N: 841145 y E: 476169 - E:476758 ; al noreste del punto de atención al ciudadano de la Guardia Nacional. (Figura 2.1).

#### **2.2 Acceso al área de estudio**

El acceso al área de estudio se puede realizar desde Ciudad Bolívar, desde el terminal de pasajeros hasta la antigua Redoma de Upata (cruce de la Avenida Libertador con la Troncal 19) y se sigue por la Troncal 19, se llega a Marhuanta y se encuentra el Puesto de la Guardia Nacional a 12,6 Km, se sigue y de allí se encuentra el Distribuidor Marhuanta en la troncal 19 a 300 m, se cruza a la izquierda y se recorren 800 m vía a Puerto Ordaz, y se cruza a la derecha, caminando por un camino de tierra y se recorren 300m hasta llegar a un afloramiento a orillas del río Marhuanta, en la zona conocida como la Poza El Soldado. (Figura 2.2).

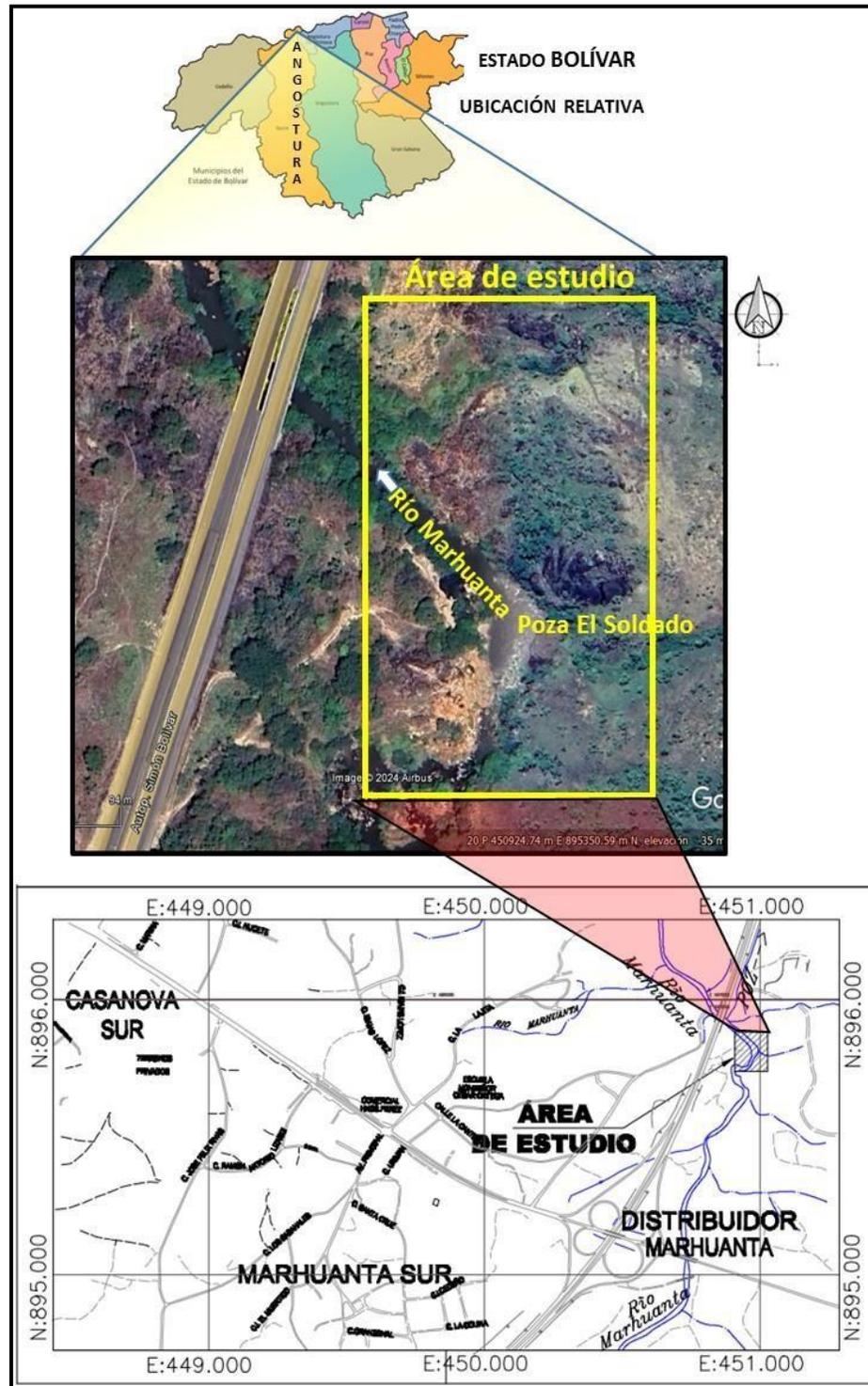


Figura 2.1 Ubicación del área, en el río Marhuanta – Poza El Soldado.  
Fuente: Hoja cartográfica Marhuanta (7540) y Google Earth.

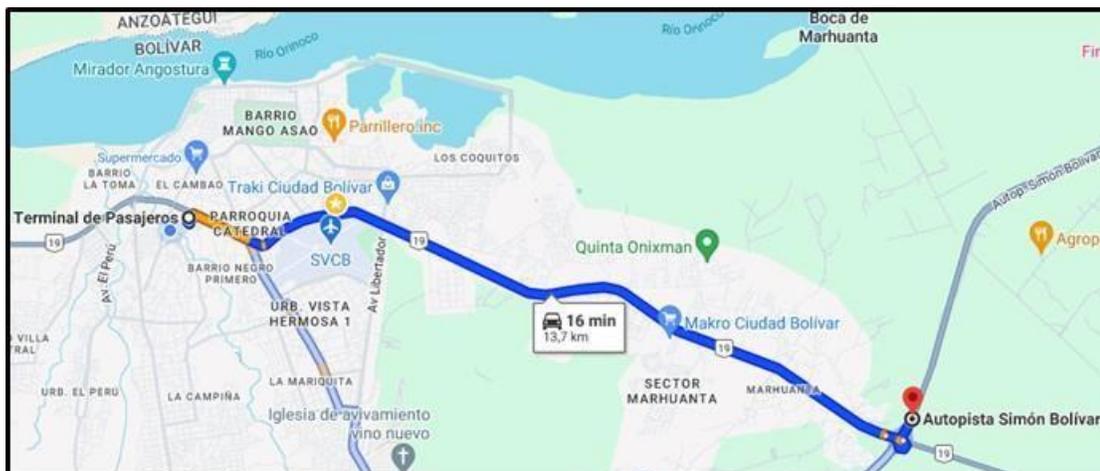


Figura 2.2 Acceso al área de estudio, en la Poza El Soldado en el río Marhuanta. Fuente: Google Maps.

### 2.3 Características físicas y naturales del área de estudio

El área de estudio, forma parte del municipio bolivariano Heres del estado Bolívar según la división político territorial de la República Bolivariana de Venezuela, cuya capital es Ciudad Bolívar. Razón por la cual las características físico-naturales de esta población se extrapolaran al área de estudio.

#### 2.3.1 Clima

El clima reinante en el área de estudio es de tipo subtropical húmedo, que se divide en: estación lluviosa larga que se extiende desde el mes de mayo hasta octubre, estación lluviosa corta que comprende desde noviembre hasta diciembre y una estación seca que se extiende desde el mes de enero hasta abril (C.V.G – TECMIN 1991).

La precipitación se caracteriza por dos períodos estacionales propios del área que son: una estación lluviosa cuyo período de lluvia inicia en el mes de mayo y termina en el mes de noviembre, en donde los meses de mayor precipitación se

encuentran junio con 165 mm, julio con un máximo de 180 mm y agosto con 160 mm y una estación de sequía con una precipitación mínima de 12 mm para el mes de marzo y una máxima de 31,62 mm para el mes de abril como podemos apreciar en el gráfico de la figura 2.3. (METAR, 2023)

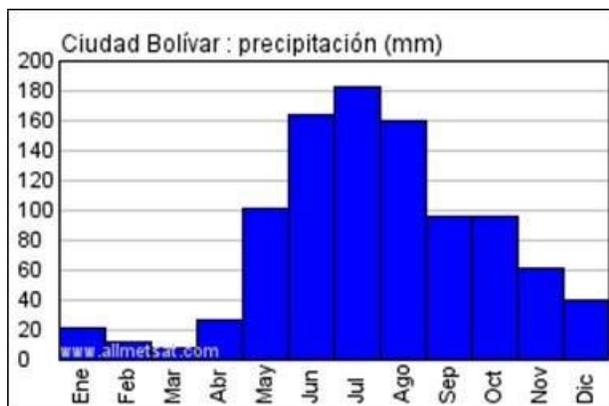


Figura 2.3 Gráfico de precipitación anual en Ciudad Bolívar (Fuente:METAR).

La evaporación promedio media anual es de 103,72 mm. Los meses de mayor evaporación van desde enero hasta abril con máximos durante febrero (141,59 mm) y marzo (147,52 mm) y su valor más bajo se registra durante los meses que van desde junio hasta noviembre, con mínimos en julio (72,80 mm) y junio (73,64 mm), esto es debido a las altas temperaturas, la mayor cantidad de horas de brillo solar, la baja humedad relativa, así como también al sensible aumento de la velocidad del viento (C.V.G – TECMIN 1991).

La temperatura media anual es de aproximadamente 27,72° C y para el período de 2022, las máximas temperaturas se presentaron en el mes de abril con 28,98° C, y las mínimas en el mes de enero con 26,53° C. Figura 2.4 (METAR, 2023)

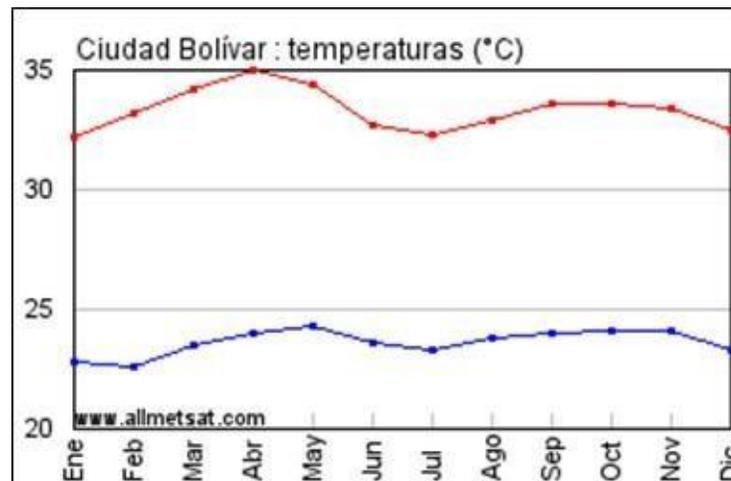


Figura 2.4 Gráfica media mensual de las temperaturas máximas y mínimas diarias en Ciudad Bolívar (Fuente: METAR).

La humedad relativa media anual para el período 1994-2007 se registró en 70,85 %, siendo la máxima humedad de 84,71 % para el mes de julio y la mínima en el mes de febrero con 69,64% (C.V.G – TECMIN 1991).

Los valores de insolación media para el año 2022 fueron de 7,89 horas. Los máximos valores se presentan en el mes de marzo con 8,3 horas y la mínima de 7 horas para el mes de junio. Figura 2.5 (METAR, 2023)



Figura 2.5 Gráfica de insolación anual en Ciudad Bolívar (Fuente: METAR).

### 2.3.2 Drenaje

Del análisis de la hoja cartográfica 7450 (Marhuanta) a escala 1:100.000, de Cartografía Nacional del año 1970, se obtuvo que el drenaje que predomina en la zona de la cuenca del río Marhuanta, está formado por un sistema dendrítico poco denso, y que los principales afluentes son el morichal La Cochina y la quebrada Manacal, y numerosos afluentes intermitentes (Figura 2.6).

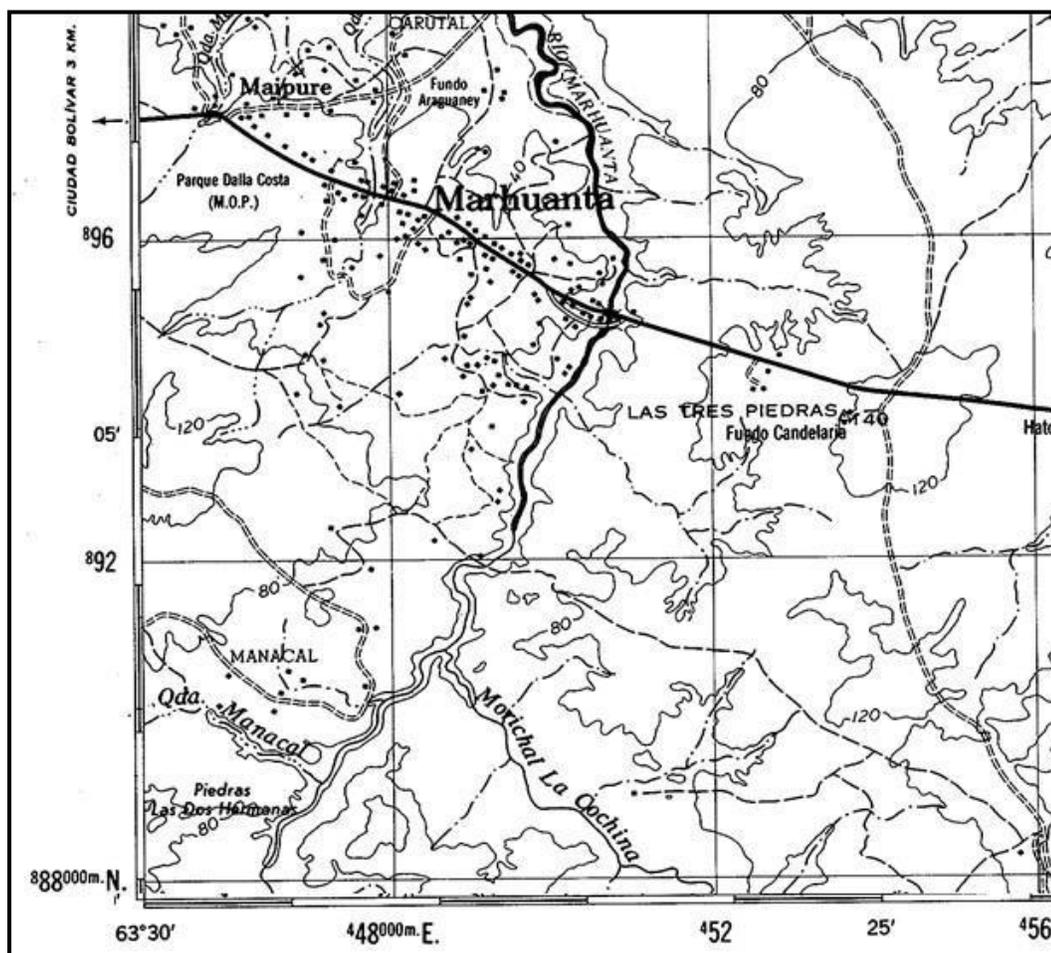


Figura 2.6 Mapa topográfico con el drenaje en el sector del río Marhuanta.

Fuente: Hoja de Cartografía Nacional Marhuanta (7540) a escala 1.100.000, año 1970.

### 2.3.3 Vegetación

La vegetación con chaparro se caracteriza principalmente por dos tipos de vegetación: la vegetación herbácea, que está constituida por una cobertura gramíniforme de baja altura, entre la cual las especies más abundantes son la paja peluda *Trachypogon (plumosus)*, escobilla (*Ecoparia dulcis*), dormidera (*Mimosa dorens*) y la vegetación arbustiva que está conformada por árboles de 2 a 4 metros de altura. Entre la vegetación arbustiva se mencionan el chaparro (*Curatella 22 22 americana*), chaparro manteco (*Bowdichia virgilioides*), mandinga (*Roupals complicata*), y en proporción menor el mango (*Mangifera indica*), etc. (C.V.G. – TECMIN, 1991).

La vegetación de bosques de galería se encuentra a lo largo de las zonas húmedas, específicamente en los márgenes de los ríos, se presentan una cobertura vegetal; arborescencia de tipo selvático, denominada “Bosque de Galería”. (C.V.G. – TECMIN, 1991) (Figura 2.7).



Figura 2.7 Vegetación en el río Marhuanta, sector Poza El Soldado.

#### 2.3.4 Suelos

Tomando como referencia lo enunciado por la Corporación Venezolana de Guayana Técnica Minera (CVG TECMIN, 1988), en el área del proyecto predominan los suelos residuales, superficiales a profundos; éste tipo de suelos presenta textura arenosa o areno arcillosa, son de baja fertilidad, dada su baja capacidad para retener agua.

En la zona de estudio se encuentran suelos cubiertos por fragmentos de cuarzo flotante de diversos tamaños, entre 1 a 20 cm, fragmentos de roca meteorizada y fragmentos de cuarcitas ferruginosas (Figura 2.8).



Figura 2.8 Suelos en el área de estudio.

### 2.3.5 Geomorfología

La fisiografía presente en el área de estudio es característica de los terrenos donde se ubican lomas de altura media, con pendientes comprendidas entre 8% y 30% bordeadas por penillanuras onduladas a suavemente onduladas, asociadas a gneises foliados, plegados y fracturados, rodeados por suelos residuales, con drenaje dendrítico poco denso (Figura 2.9 y Figura 2.10).

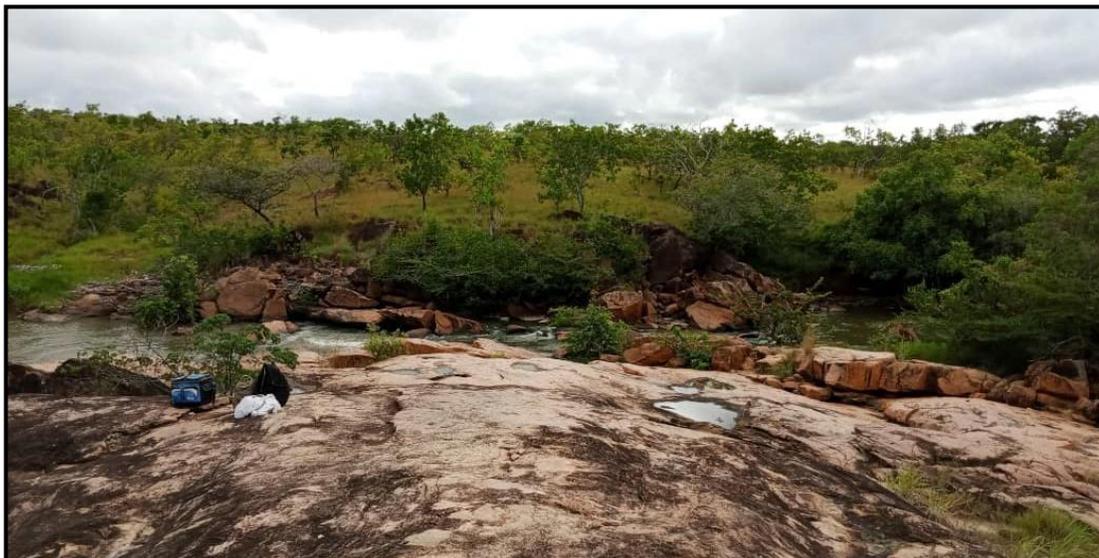


Figura 2.9 Paisaje con loma, de la zona del río Marhuanta, sector la Poza El Soldado.



Figura 2.10 Paisaje con loma, con afloramientos de gneises, en el río Marhuanta, sector la Poza El Soldado.

## 2.4 Geología regional

### 2.4.1 Provincia de Imataca

El Léxico Estratigráfico de Venezuela (2021), describe su extensión geográfica la cual ocupa una faja de rumbo este-noreste, al norte del escudo. TEPEDINO (1.985) fijó aproximadamente el límite occidental del complejo de Imataca hasta unos 15 km. al este de Maripa y hacia el sur lo extiende al oeste del río Caura bordeando el río Nichare, las cabeceras del río Cucharó y el salto Pará en el río Caura, estado Bolívar; desde ahí se extiende por unos 400 km, con una anchura de unos 200 km, hasta el estado Delta Amacuro al este, donde desaparece bajo los sedimentos del delta.

A su vez, el Complejo de Imataca consiste, en orden de abundancia decreciente, de un conjunto alternante de granulitas plagioclásicas-cuarzo-piroxénicas, granulitas microclínicas-cuarzo plagioclásicas piroxénicas gneis cuarzo-feldespático-cordierítico-granatífero-biotítico-silimanítico-grafítico y formación de hierro, con las siguientes litologías secundarias: cuarcita, caliza impura metamorfizada, roca rodonítica-granatífera, roca cuarzo-granatífero-grafítica y esquistos hornabléndico-biotítico. El conjunto está intrusionado por cuerpos de rocas graníticas y de rocas básicas. El complejo se caracteriza por estructuras anticlinales bien desarrolladas y estructuras sinclinales mal definidas con rumbo este-noreste. Hacia la porción occidental del complejo, se desarrollan domos equidimensionales, muchos de ellos con orientación norte-sur. Los conjuntos mineralógicos en el Complejo de Imataca corresponden, en general, a la subfacies de granulita hornabléndica de la facies granulítica (CHASE 1.965 citado en Léxico Estratigráfico de Venezuela 2021) (Figura 2.11).

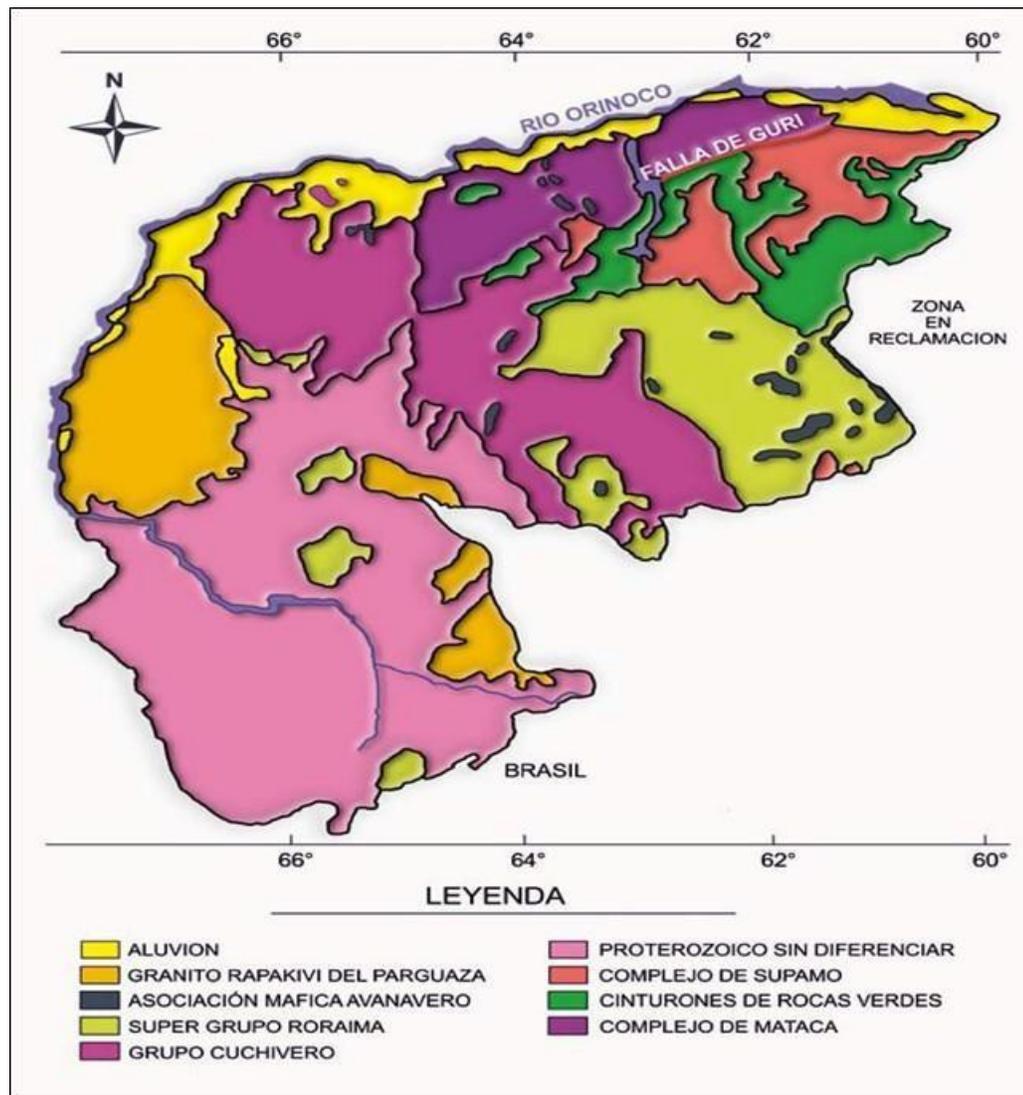


Figura 2.11 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana, mostrando la extensión y delimitación de la Provincia de Imataca. Mendoza, V., (2012).

#### 2.4.2 Formación Mesa

El Léxico Estratigráfico de Venezuela (2019), describe su extensión geográfica la cual se extiende por los llanos centro-orientales y orientales (estados Guárico,

Anzoátegui, Monagas). Se encuentran algunos afloramientos en los estados Sucre y Bolívar, inmediatamente al sur del río Orinoco.

En los límites norte y sur de la mesa de Guanipa, la Formación Mesa consiste de arenas de grano grueso y gravas, con cemento ferruginoso, y muy duras; conglomerado rojo a casi negro, arenas blanco-amarillentas, rojo y púrpura, con estratificación cruzada; además contiene lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita (GONZÁLEZ DE JUANA, 1946). En la mesa de Tonoro se observan capas lenticulares de conglomerado, arenas, y algunas arcillas.

Al noroeste de Santa Rosa existe una capa lenticular de conglomerado, de más de 25 m de Espesor, con delgadas intercalaciones de arenas. En Santa Bárbara de Maturín, la parte superior (76 m) consiste en gravas con intercalaciones de arenas y arcilla roja y amarillo intenso: la parte inferior (60 m) formada por clásticos finos (arenas gris y blanco, intercaladas con arenas arcillosas y arcillas gris abigarradas).

Al suroeste de Maturín, la Formación Mesa está compuesta por arcillas moteadas y abigarradas, con nódulos sin arena. En los llanos centro-orientales, la formación, está constituida por arenas no compactadas. Los sedimentos de la Formación Mesa, gradan de norte a sur, de más gruesos a más finos al alejarse de las cadenas montañosas del norte; desde la parte central de Monagas al macizo de Guyana, gradan de más finos a más gruesos. Según GONZÁLEZ DE JUANA (1946), la Formación Mesa es producto de una sedimentación fluvio-deltáica y paludal, resultado de un extenso delta que avanzaba hacia el este en la misma forma que avanza hoy el delta del río Orinoco.

El mayor relieve de las cordilleras septentrionales desarrolló abanicos aluviales que aportaban a la sedimentación clásticos de grano más grueso, mientras que desde el sur el aporte principal era de arenas. En la zona central, postuló la existencia de

ciénagas. COPLANARH (1974) considera que los sedimentos de la formación representan depósitos torrenciales y aluviales, contemporáneos con un levantamiento de la serranía del Interior. (Léxico Estratigráfico de Venezuela 2021). (Figura 2.12).



Figura 2.12 Extensión geográfica de la Formación Mesa (Modificada de PDVSA- Intevep 1997-2005).

### 2.4.3 Sedimentos del Reciente

Cerca del contacto con los suelos residuales del basamento ígneo – metamórfico y a niveles inferiores, los ríos que cortan a la Formación Mesa van a perder energía por caída del gradiente y van a comenzar a erosionar lateralmente, originando planicies aluviales estrechas de sedimentación arenosa. Un último evento importante que es característico del área de estudio y se trata del área de inundación del río Orinoco. La elevación del nivel del río represa sus afluentes principales, inunda los valles cercanos a la desembocadura de varios ríos y crea planicies aluviales. Al norte donde el curso del río Orinoco, no tiene el control de afloramientos del basamento invade amplias áreas del terreno finalmente erosionables, creando un relieve de terrenos inundables y forma de erosión propia de la dinámica del río (González de Juana y otros, 1980).

## 2.5 Geología estructural

Geológicamente, el área a estudiar, se ubica dentro de la Provincia Geológica de Imataca, la cual se extiende en dirección SW-NE desde las proximidades del río Caura hasta el Delta del Orinoco hasta la Falla de Gurí, a lo largo de unos 550 km y 80 km de ancho respectivamente. Las rocas que afloran son de edad pre-cámbrica, pertenecientes al proterozoico temprano, aproximadamente 2,4 billones de años. (Mendoza, V., 2005).

La Provincia Geológica de Imataca está constituida mayormente por rocas denominadas Complejo de Imataca, tales como Migmatita de La Ceiba e intrusivos jóvenes. El término “Complejo de Imataca”, lo introduce Chase en 1965, por considerar “que la complejidad de la estructura hace improbable que se logre la determinación de una sucesión inequívoca de Formaciones dentro del conjunto”. La Migmatita de La Ceiba es un nombre empleado originalmente por Kalliokosky (1965), cuyas rocas consisten en dos componentes esenciales; una roca anfitrión de gneis cuarzo-feldespáticos de grano fino a medio y una roca huésped de composición granítica de grano medio a grueso. Dentro de los intrusivos jóvenes se encuentran el granito de La Encrucijada (Kalliokosky 1965) y algunos cuerpos granodioríticos (Mendoza, V., 2005).

Según Mendoza (1977), desde los puntos de vistas, estructurales, de deformaciones, edades, asociaciones, límites petrotectónicos, la zona pertenece a la Provincia Estructural Bolívar con orientación N 50-70 E que han sido cortadas por directrices más jóvenes N 10-30 W de la Provincia Amazonas a lo largo de complejas zonas de fallas, discordancias, movimientos tectónicos e intrusiones ácidas denominada Frente Caura (Mendoza, V., 2005).

Ascanio (1975) postuló que parte, al menos del Complejo de Imataca, está formada por varias fajas tectónicas que representan micro continentes que por deriva chocaron unos con otros con abducción y subducción, quedando separados entre sí por grandes corrimientos. Estas las denominó como: La Encrucijada, Ciudad Bolívar, Santa Rosa, Los Naranjitas, La Ceiba, Cerro Bolívar y Laja Negra (Mendoza, V., 2005).

La zona del río Marhuanta se encuentra ubicada en la Faja tectónica de Ciudad Bolívar y está ubicada entre las fajas de La Encrucijada y la Faja de Santa Rosa (Figura 2.13).

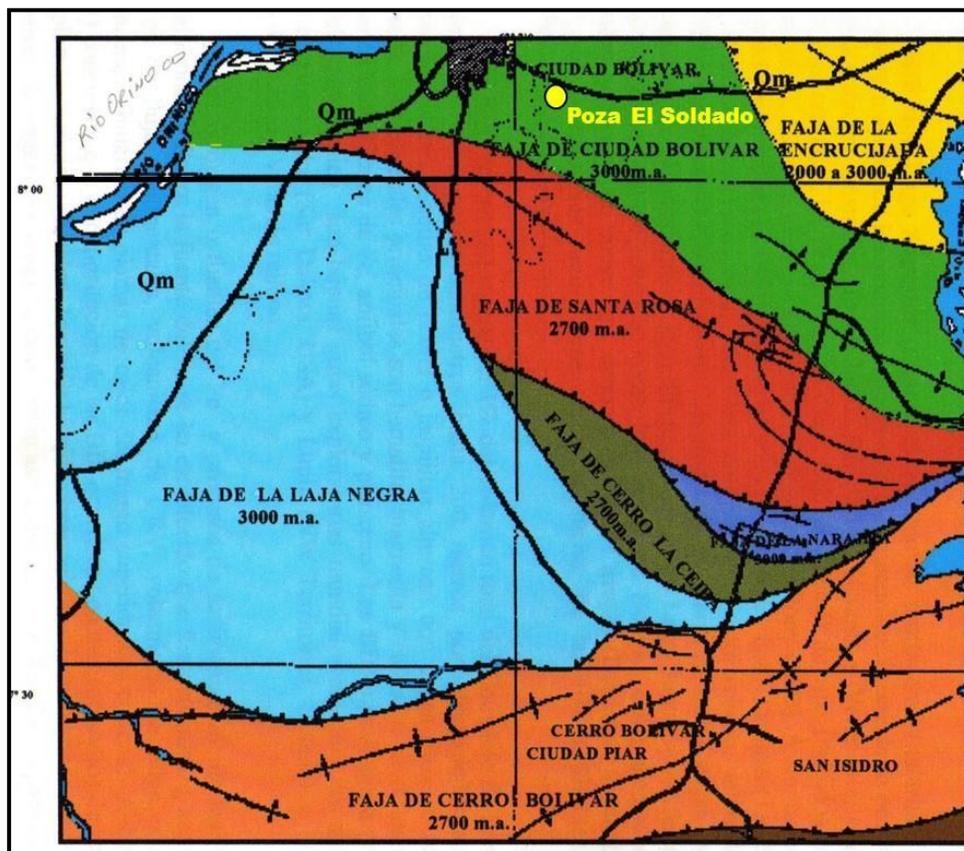


Figura 2.13 Fajas litotectónicas del Complejo de Imataca (Mendoza, 2005).

## 2.6 Geología local

En base al mapa geológico de la Hoja NB-20-2, de CVG- TECMIN (1991); en la zona del río Marhuanta y sus alrededores, se encuentran 2 unidades estratigráficas pertenecientes a la Provincia de Imataca - El Complejo de Imataca, constituido por las unidades de código 110001 y 110002. La unidad 110001, se caracteriza por gneises con filones pegmatíticos, gneises cuarzo feldespáticos – biotíticos – anfibólicos, gneises félsicos granulíticos, gneises monzoníticos, granitos, pegmatitas, protomilonitas de granito, anfibolitas de grano medio, granulitas félsicas y máficas, y cuarcitas ferruginosas. La unidad 110002, se caracteriza por cuarcitas ferruginosas bandeadas de grano fino a medio, magnetíticas, cuarcitas ferruginosas no bandeadas, hematíticas, intercaladas con gneises cuarzo feldespático – biotíticos (Figura 2.14).

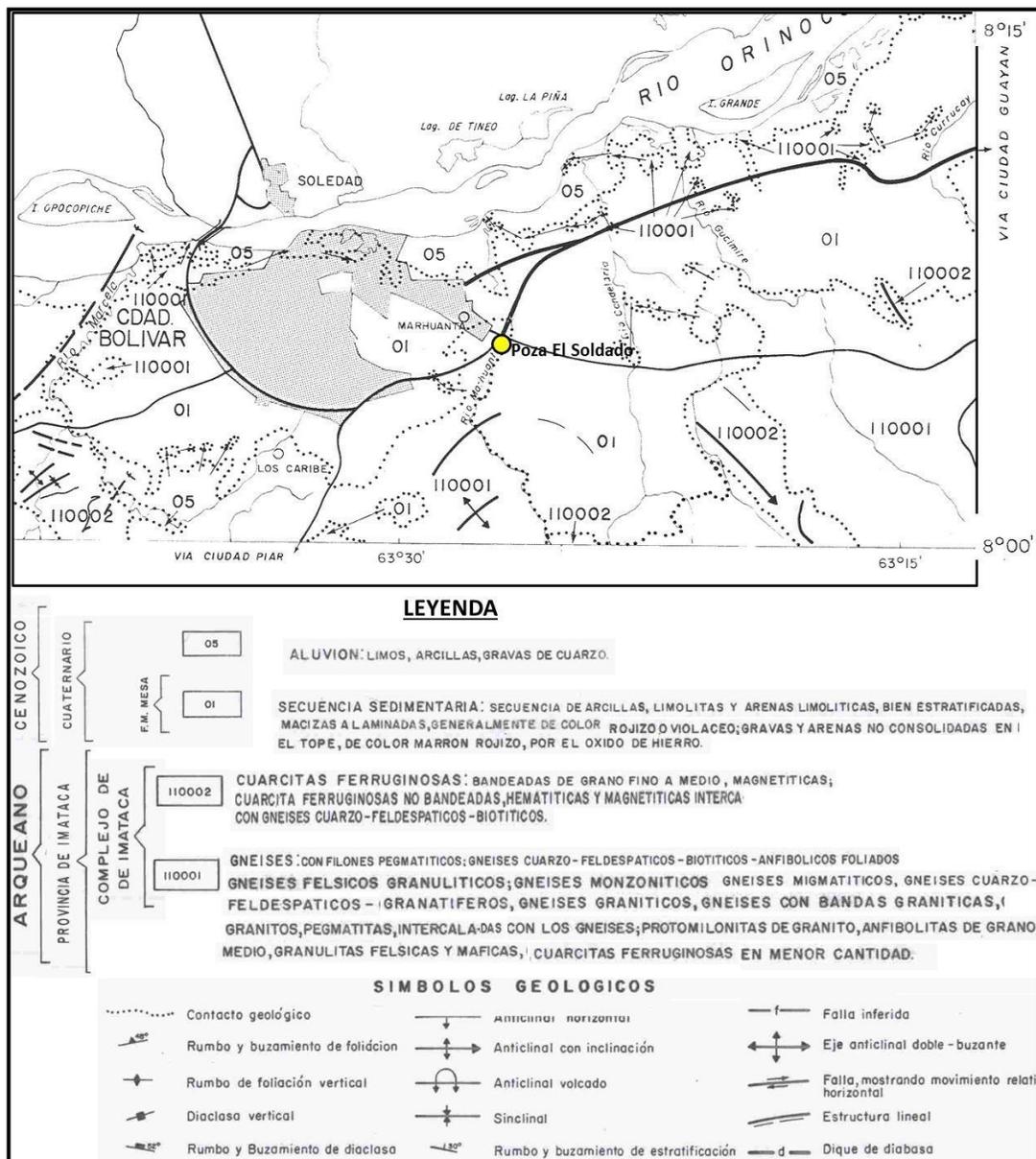


Figura 2.14 Mapa geológico. Fuente: HOJA NC-20-14, sector sur-central, a escala 1:250.000 (CVG-TECMIN, 1991).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes relacionados con la investigación**

Ascanio, Gustavo (1975); en la excursión Geológica 1975 considera que el Complejo de Imataca consta de siete fajas de rocas, las cuales son; Ciudad bolívar, La Encrucijada, Santa rosa, Cerro la Ceiba, La Naranjita, La Laja Negra y Cerro Bolívar, cada uno con expresión fisiográfica propia, determinada por la composición fisiográfica y la estructura. Los contactos entre los bloques están definidos por líneas que siguen al pie de las faldas de las montañas, o el curso de algunos ríos y riachuelos. Ascanio postuló que parte, al menos, del Complejo de Imataca, está formado por varias fajas tectónicas que representan microscópicamente que por deriva chocaron unos con otros con obducción y subducción, quedando separados entre sí por grandes corrimientos. Este estudio servirá de base para determinar características litológicas de la zona de estudio.

Luces Francia y Mora Victor (2023), Caracterización geológica de los afloramientos situados en las cabeceras de la quebrada Las Tinajitas, municipio Angostura del Orinoco, parroquia Marhuanta, estado Bolívar, Venezuela, donde citan que cual se desarrolló de la siguiente manera: desde una etapa de planificación, donde se seleccionó el área de estudio, lo cual procedió a la recopilación de información del área mediante mapas, trabajos de grado, entre otros. Posteriormente, una etapa de campo en la cual se realizó una delimitación del área, la recolección de ocho (8) muestras de roca, la medición y clasificación de las estructuras geológicas encontradas; una etapa de laboratorio en la cual se realizó un análisis petrográfico de forma macroscópica a las muestras de rocas recolectadas, la determinación de la dirección de los esfuerzos que dieron origen a las estructuras utilizando el diagrama

de rosas y la representación de las unidades rocosas y estructuras presentes en la zona de estudio en un mapa geológico utilizando el programa Global Mapper 20. Como resultados se obtuvo que existen tres unidades litológicas como lo son la Provincia de Imataca, la Formación Mesa y los Sedimentos del Reciente; las rocas encontradas se clasificaron como: Gneises Cuarzo Feldespáticos de color beige claro con algunos tonos negros de textura bandeada con granos alargados de medio a fino, constituido mineralógicamente por Feldespato 35%, Cuarzo 35%, Plagioclasa 25% y Biotita 5% aproximadamente; Gneises Biotíticos Cuarcíferos color blanco grisáceo con tonos gris y verde oscuro de textura granoblástica a gnéisica, constituido mineralógicamente por de Plagioclasa 30%, cristales lenticulares de Mica biotita 30%, Cuarzo 30%, minerales accesorios como Feldespatos en una textura entrelazada con los cristales de cuarzo y Anfíboles en un 10% aproximadamente; Cuarcitas ferruginosas color marrón grisáceo con tonalidades rojo pardo a amarillento, Cuarcitas ferruginosas color marrón grisáceo con abundante óxido de hierro, Cuarcitas ferruginosas color ocre grisáceo y Cuarcitas ferruginosas color pardo rojizo con tonalidades rojo violáceo, la cuarcitas están constituidas mineralógicamente por más del 80% de Cuarzo aproximadamente, donde los cristales de cuarzo forman un mosaico de granos más o menos equidimensionales. Además, algunas zonas presentan abundantes bloques y fragmentos de cuarzos producto de la meteorización de diques y sills intrusionados en las rocas debido a los distintos agentes atmosféricos. Se identificaron tres sistemas de diaclasas conjugadas conformados por 3 familias de diaclasas con azimut entre  $304^{\circ}$ -  $340^{\circ}$ , de  $285^{\circ}$  y  $327^{\circ}$  y  $275^{\circ}$ -  $311^{\circ}$ . Además, dos diaclasas subparalelas con azimut entre  $328^{\circ}$ -  $335^{\circ}$ . Mediante el Diagrama de Roseta se concluyó que los esfuerzos que las originaron tienen una predominancia de dirección NE-SW. Este trabajo se utilizará para comparar los resultados de las estructuras geológicas.

## 3.2 Fundamentos teóricos

### 3.2.1 Clasificación petrográfica de las rocas metamórficas

La nomenclatura recomendada por la Subcomisión para la Sistemática de las Rocas Metamórficas (SSRM), que es de la IUGS. En este sentido la SSRM recomienda el uso de solo tres nombres raíz: esquisto, gneis y granoblastita (schist, gneis y grano fels). Al mismo tiempo recomienda el uso de cinco criterios para precisar la terminología (Castro, 2015).

Estos son:

1. La asociación mineral dominante,
2. La estructura de la roca.
3. El tipo de protolito.
4. Las condiciones de metamorfismo
5. La composición química de la roca.

Los dos primeros son los más relevantes en cuanto que son los más directamente observables en el estudio petrográfico preliminar de la roca, incluso en una descripción de campo sin ayuda del microscopio. Un hecho relevante es la implicación de connotaciones genéticas en la terminología usada para las rocas metamórficas. Por lo que es preciso agregar un sexto criterio a los antes mencionados: el grado metamórfico. Por ejemplo, el término esquisto está restringido para rocas de grado muy bajo a medio, De igual modo una roca de grado bajo compuesta por anfíbol y plagioclasa, no podría llamarse anfibolita sino esquisto anfibólico (Castro, 2015).

### 3.2.2 Diaclasas

Una diaclasa se define en términos generales, como una fractura natural en la roca a lo largo de la cual no hay un desplazamiento de cizalla medible (desplazamiento paralelo al plano de la fractura). Van der Pluijm y Marshak. (2004).

El origen más aceptado para la formación de las diaclasas tectónicas establece que estas se abren perpendicularmente al esfuerzo principal mínimo  $-\sigma_3-$  sobre el plano que contiene a los esfuerzos principales máximos  $-\sigma_1-$  y medio  $-\sigma_2-$  siendo la dirección de mayor elongación paralela al esfuerzo principal máximo ( $\sigma_1$ ) (Fossen, 2010).

### 3.2.3 Diaclasas según su apariencia

Las diaclasas se pueden diferenciar por su conjunto, su apariencia en sets o grupos (Figura 3.1) (Geovirtual, 2023).

1. No sistemáticas son diaclasas sin una orientación preferida
2. Diaclasas sistemáticas marcan una orientación preferida.
3. Ortogonales son conjuntos de diaclasas con intersecciones de alrededor  $90^\circ$ .
4. Diaclasas conjugadas muestran una intersección entre  $30^\circ$  y  $60^\circ$ .

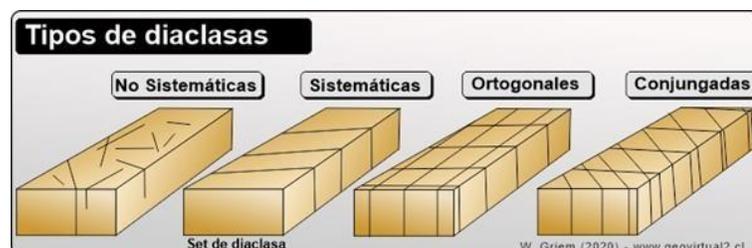


Figura 3.1 Tipos de diaclasas (Geovirtual, 2023).

### 3.2.4 Familias de diaclasas

Se define una familia de diaclasas como un arreglo de diaclasas que son paralelas o subparalelas (Geologiaestructural.com., 2020). Son un grupo formado por todas las diaclasas sistemáticas que aparecen en una región (Figura 3.2) (Fossen, 2010).

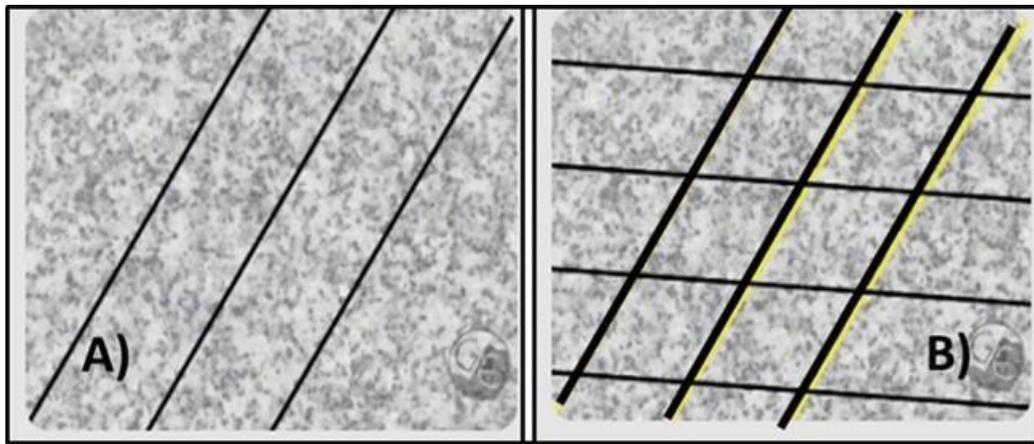


Figura 3.2 Familia de diaclasas (A) y 2 familias de diaclasas (B) (Fossen, 2010).

### 3.2.5 Sistema de diaclasas

Se define un sistema de diaclasas como dos o más familias de diaclasas que se interceptan a un ángulo aproximadamente constante. Si son ortogonales, se habla de sistema ortogonal de diaclasa, si hacen ángulo de  $30^\circ$  o  $60^\circ$  se habla de sistema conjugado de diaclasa (Fossen, 2010) (Figura 3.3).



Figura 3.3 Sistema de conjugadas (Fossen, 2010).

### 3.2.6 Origen de las diaclasas

Las diaclasas no solo se forman por orígenes tectónicos, también pueden formarse como consecuencia en cambios de los sistemas de esfuerzos por factores diferentes (Martel, 2017).

#### 3.2.6.1 Diaclasa en hoja o exfoliación

Las diaclasas de exfoliación son fracturas que se desarrollan en forma paralela a la superficie topográfica; se forman normalmente como consecuencia de un cambio en el sistema de esfuerzo local por desconfinamiento de las rocas (exhumación), donde el esfuerzo compresivo (perpendicular a la diaclasa) es bajo debido a la gran presión litoestática y, en consecuencia, el esfuerzo paralelo a la fractura es de alta magnitud. Estas diaclasas se han encontrado en varios tipos de rocas de alta resistencia tales como granitos, gneises, areniscas masivas, rocas máficas intrusivas, mármol y basaltos (Van der Plujim y Marshak, 2004).

### **3.2.6.2 Diaclasas tectónicas**

Son aquellas que se forman como resultado de la aplicación de tipo tectónico sobre la roca. Estas estructuras se forman sobre el plano que contiene a los esfuerzos principales máximos  $-\sigma_1-$  y medio  $-\sigma_2$  y se abren perpendicularmente al esfuerzo principal máximo  $-\sigma_3$  (Fossen, 2010).

### **3.2.7 Zonas de cizalla**

Una zona de cizalla puede definirse como una falla que se forma bajo un ambiente de deformación dúctil. Lo anterior implica que la zona de cizalla sufre movimientos iguales a los de la zona de fallas (normal, inverso, dextral, sinistral u oblicuo) provocados por la misma relación de esfuerzos (teoría de Anderson). Las zonas de cizalla se caracterizan por ser superficies tabulares (foliadas) en las que la deformación es notablemente mayor que en las rocas que la rodean y los contactos con dichas superficies suelen ser gradacionales (Van der Plujim y Marshak (2004) en Fossen (2010)).

### **3.2.8 Plegamiento pasivo o de flujo**

El Plegamiento pasivo ocurre como resultado de amplificación de irregularidades naturales en las capas o como consecuencia de flujo diferencial (Van der Plujim & Marshak, 2004). El plegamiento pasivo ocurre en capas que definen un contraste, actuando como marcadores que registran la deformación, pero que no ejercen influencia alguna en la forma del pliegue y en el proceso de plegamiento (Fossen, 2010) (Figura 3.4).

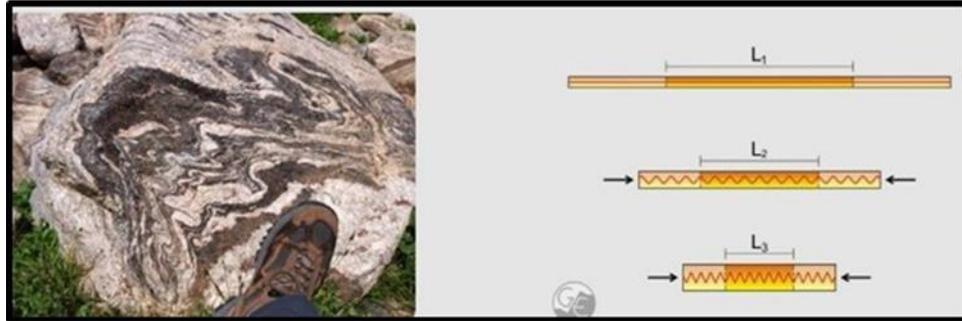


Figura 3.4 Plegamiento de flujo (Fossen, 2010).

### 3.2.9 Diaclasas generadas por esfuerzos tectónicos, asociadas a fallas y asociadas a zonas de cizalla frágil – dúctil

En el caso de diaclasas en zonas de fallas, forman un patrón con respecto al esfuerzo máximo  $\sigma_1$ , de diaclasas conjugadas con un ángulo de  $60^\circ$  entre ellas,  $30^\circ$  con respecto a  $\sigma_1$ ; y en el caso de zonas de cizallas en frágil - dúctil, forman un ángulo entre ellas entre  $40^\circ$  y  $130^\circ$ , que sería entre  $20^\circ$  y  $65^\circ$  con respecto a  $\sigma_1$  (Figura 3.5) (Jiménez Sebastián, 2016).

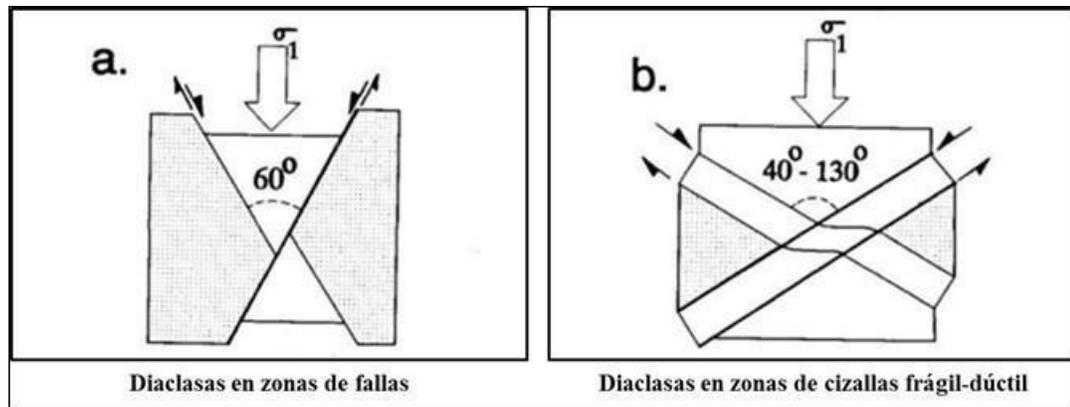


Figura 3.5 Diaclasas generadas por esfuerzos tectónicos (Jiménez Sebastián, 2016).

### 3.2.10 Medida de las direcciones características de las diaclasas

Se toman datos de orientación en el campo de poblaciones de diaclasas y luego se tratan estadísticamente para ver su distribución de frecuencia y se representan gráficamente en histogramas, rosetas, red estereográfica, para el análisis. En la figura 3.6, se observa la representación de 249 datos con direcciones entre 0 grados de azimut y 180 grados, y con varias opciones de ancho de los sectores de frecuencia, que son de 4°, 5° y 6° (Jiménez Sebastián, 2016).

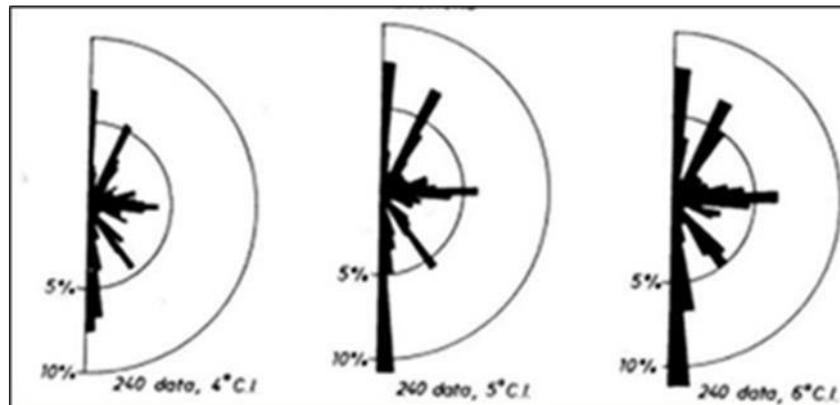


Figura 3.6 Representación gráfica de frecuencias de orientaciones de diaclasas (Jiménez Sebastián, 2016).

En la figura 3.7 se presentan representación de frecuencias de diaclasas en diagramas de rosetas usando el método de proyección estereográfica con datos de azimut y en histogramas con intervalos de direcciones.

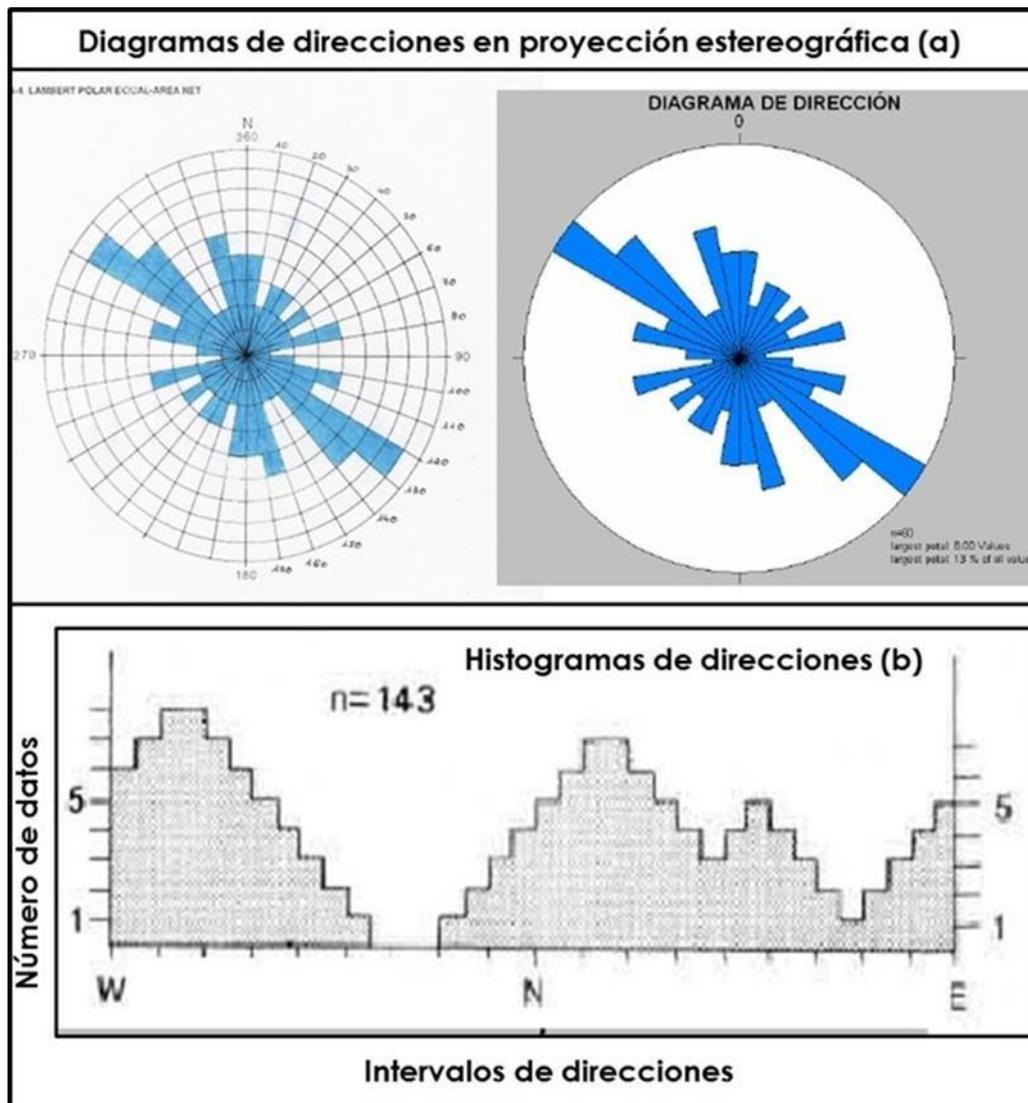


Figura 3.7 Representación de frecuencias de orientaciones de diaclasas (Pérez, 2023).

### 3.2.11 Diagrama de Rosas o Roseta

Es un histograma circular que muestra los datos de dirección y la frecuencia de cada clase. En geología estructural los diagramas de rosa se utilizan para trazar la orientación de las diaclasas, fallas, lineaciones y los diques. Una roseta de diaclasas es un histograma de forma redonda para visualizar las direcciones de los rumbos

generales de estructuras tabulares (diques, vetas) y de planos tectónicos (diaclasas, fallas). En este tipo de diagrama no hay información sobre el buzamiento o la dirección. Con los rangos de azimut al margen del círculo desde arriba (Norte o 0°) hacia abajo (Sur o 180°) en sentido de reloj. La cantidad de los datos a respecto a un rango se encuentra en el eje desde el centro como 0%, y hacia al margen como 100% (Figura 3.8) (Wolfgang, G.,2001).

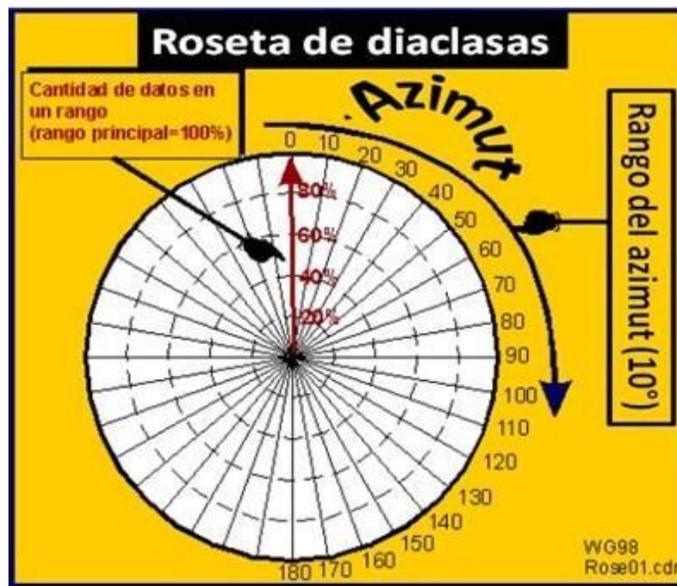


Figura 3.8 Roseta de diaclasas (Wolfgang, G., 2001).

### 3.2.12 Diaclasas y fallas

Las diaclasas se encuentran comúnmente asociadas con las fallas por ser ambas estructuras frágiles. Existen tres tipos comunes de asociación entre fallas y diaclasas (Van der Plujim y Marshak, 2004).

3. Diaclasas tectónicas formadas por el mismo campo de esfuerzos que crea la falla.

4. Diaclasas formadas por el desarrollo de extensión local en una zona de irregularidad geométrica, en uno de los bloques divididos por la falla.
5. Diaclasas denominadas diaclasas pinadas, adyacentes a zona de rupturas de la falla, a  $30^\circ$  o  $45^\circ$  de la superficie de la falla, que se forman por extensión local mientras la falla se mueve.

### **3.2.13 Diaclasas y pliegues**

Las diaclasas que se forman contemporáneamente con los pliegues, en un régimen de deformación frágil-dúctil pueden ser:

1. Fracturas de cizalla, formadas a aproximadamente  $30^\circ$  con respecto al plano definido por  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  que forman entre si aproximadamente  $60^\circ$  (conjugadas)
2. Fracturas de tensión asociadas al estiramiento en la zona de la cresta del pliegue, las cuales pueden ser conjugadas formando  $30^\circ$  con respecto al plano definido por  $\sigma_3$   $\sigma_2$ .
3. Fracturas compresivas asociadas a la construcción en el núcleo del pliegue, generalmente son conjugadas formando  $30^\circ$  con respecto al plano definido por  $\sigma_3$   $\sigma_2$  (Twiss y Moores, 2007).

### **3.2.14 Diaclasas e intrusivos**

Los frentes de intrusión especialmente aquellos de grandes cuerpos plutónicos, generalmente modifican el campo de esfuerzos local, haciendo que el esfuerzo principal máximo sea paralelo al frente de intrusión. Esta modificación hace que se desarrollen diaclasas paralelas al frente de intrusión que, generalmente se rellenan con fluido magmático. Geomorfológicamente se crean plegamientos por flexión y estructuras circulares (Fossen H. H., 2010)

### 3.3 Definición de términos básicos

#### 3.3.1 Rumbo

Es el ángulo entre el norte magnético y una línea obtenida mediante la intersección de un estrato inclinado, o falla, con un plano horizontal. La dirección, o rumbo, se suele expresar como el valor de un ángulo en relación con el norte (Tarbuck, J. y Lutgens, K. 2005).

#### 3.3.2 Buzamiento

También conocido como inclinación máxima, es el ángulo que forma el estrato con la horizontal, medido perpendicularmente al rumbo (Heiningen, 2009).

#### 3.3.3 Estructuras planares

Las estructuras planares son aquellas que son definidas por fabricas planares o curviplanares. En geología estructural las más importantes son la foliación y clivaje. (Van del Plujim y Marshak, 2004).

En geología estructural se emplea el termino fábrica para definir la distribución geométrica de componentes característicos en la roca (Van der Plujim & Marshak, 2004). La fábrica puede ser lineal, planar o ambas.

Una roca tiene fabrica planar cuando contiene minerales tabulares, laminares o planos con una orientación común. Una fábrica lineal se define cuando la roca posee elementos alargados con una orientación preferencial (Figura 3.9)

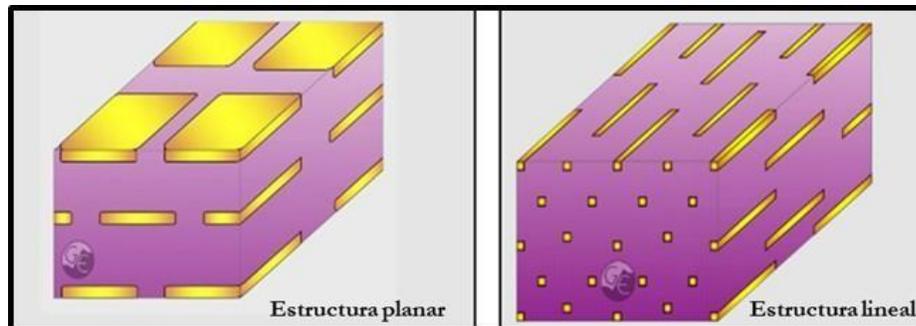


Figura 3.9 Estructuras en rocas de fábrica planar y lineal (Van der Plujim & Marshak, 2004).

### 3.3.4 Foliación

Es un término general empleado para describir una fábrica planar o curviplanar en una roca (Van der Plujim y Marshak, 2004).

### 3.3.5 Texturas foliadas

Existen varios tipos de foliación, dependiendo del grado de metamorfismo y de la mineralogía de la roca original. Consideraremos tres de ellos: pizarrosidad, esquistosidad y bandeado gnéisico (Tarbuck, Lutgens.2005).

#### 3.3.5.1 Pizarrosidad (slaty cleavage)

El término pizarrosidad se refiere a las superficies planares muy juntas a lo largo de las cuales las rocas se separan en capas delgadas y tabulares cuando se las golpea con un martillo. La pizarrosidad aparece en varias rocas metamórficas pero se observa mejor en las pizarras que exhiben una propiedad de separación excelente, denominada clivaje (Tarbuck, Lutgens.2005).

### **3.3.5.2 Esquistosidad**

Bajo regímenes de presión y temperatura más extremos, los pequeños granos de mica y clorita de las pizarras empiezan a crecer mucho. Cuando estos minerales planares crecen lo bastante como para poder observarse a simple vista y exhiben una estructura planar o laminar, se dice que la roca muestra un tipo de foliación llamada esquistosidad. Las rocas con esta textura se denominan esquistos. Además de los minerales planares, el esquisto suele contener partículas deformadas de cuarzo y feldespato que aparecen como granos planos o en forma de lente escondidos entre los granos de mica (Tarbuck, Lutgens.2005).

### **3.3.5.3 Bandeado gnéísico**

Durante el metamorfismo de grado alto, las migraciones iónicas pueden provocar la segregación de los minerales, como se muestra en la Figura 8.7, inferior derecha. Obsérvese que los cristales oscuros de biotita y los silicatos claros (cuarzo y feldespato) están separados, dando a la roca un aspecto bandeado, conocido como bandeado gnéísico o foliación. Las rocas metamórficas con este tipo de texturas se denominan gneises. Aunque son foliados, los gneises no se separarán en planos con tanta facilidad como las pizarras y algunos esquistos. Los gneises que sí se lajan tienden a romperse en una dirección paralela a su foliación y muestran superficies ricas en mica parecidas al esquisto (Tarbuck, Lutgens.2005).

### **3.3.6 Tipos de rocas metamórficas**

A partir de los criterios de tipo y grado de metamorfismo, texturas, estructuras, fábricas y composición de la roca original, se pueden clasificar las rocas metamórficas. Las más comunes son gneis, anfibolita y cuarcita (Bard, P.J., 1985).

### **3.3.6.1 Gneis**

Rocas cuarzo feldespáticas de grano grueso a medio, con foliación menos marcada que en los esquistos debido a la menor proporción de filosilicatos (Esencialmente moscovita y/o biotita). Para definir una roca como gneis debe contener más de un 20 % de feldespatos. Su origen es diverso, pudiendo derivar tanto de rocas ígneas (ortogneises) como sedimentarias (paragneises); algunos gneises se producen en condiciones de alto grado por fusión parcial de esquistos u otros gneises, denominándose gneises migmatíticos (Bard, P.J., 1985).

### **3.3.6.2 Anfibolita**

Rocas compuestas esencialmente por anfíboles (en general hornblenda) y Plagioclasas de composición variable. La esquistosidad no suele estar muy desarrollada, aunque los prismas de anfíbol suelen estar orientados linealmente (lo cual genera lineación). Proceden en su mayoría de rocas ígneas básicas (ortoanfibolitas) y margas (para anfibolita) (Bard, P.J., 1985).

### **3.3.6.3 Cuarcita**

Roca de grano medio a fino, constituida esencialmente por cuarzo (más del 80%) y algo de micas y/o feldespatos. Las cuarcitas derivan de rocas sedimentarias Detríticas ricas en cuarzo (areniscas cuarcíticas) con las que no deben confundirse.

Son rocas masivas o bandeadas, sin foliación marcada y textura granoblástica deformada o no (Bard, P.J., 1985).

### **3.3.6.4 Migmatita**

Es una roca metamórfica formada por anatexis que conserva evidencia de fusión parcial a escala microscópica a macroscópica y, generalmente, es heterogénea. Las migmatitas representan la transición de rocas metamórficas a ígneas en el ciclo de las rocas.

La fusión parcial o anatexis ocurre en facies de anfíbolita superior a granulita, y el incremento de temperatura se genera a través de reacciones de descomposición de minerales hidratados (Geotecniafacil.com, 2023)

Las distintivas bandas claras y oscuras (similares a las que se ven en gneis) así como el plegamiento que se encuentra comúnmente en esta roca es el resultado de la fusión parcial, así como del metamorfismo y la deformación de alto grado.

La migmatita es una roca de silicato, heterogénea con propiedades de rocas ígneas y metamórficas. Por lo general, la roca contiene capas alternas más claras (leucosomas, compuestos de minerales de color claro como cuarzo, feldespato y moscovita) y capas más oscuras (melanosomas, compuestos de minerales de color oscuro como anfíbol y biotita).

#### **3.3.6.5 Pegmatita**

Las pegmatitas en las migmatitas de desarrollo regional, han sido interpretadas de diversa manera; como producto de inyección magmática (con o sin metasomatismo simultáneo) como materiales expulsados de la roca huésped como resultado de fusión parcial (anatexis) o como concentraciones de sílice, alúmina y álcalis, formadas por difusión iónica a través de rocas sólidas (Toselli Alejandro J., 2010).

Asimismo como los plutones graníticos se han formado por intrusión de magmas ácidos, predecesor, por lo se las interpreta como productos de la cristalización de magmas graníticos acuosos, en sistemas cerrados, cuyas últimas fracciones enriquecidas progresivamente en agua, son concentradas hacia el interior del cuerpo, de manera que el núcleo representa la etapa final de una cristalización en la participa una fase acuosa gaseosa.

La concentración en constituyentes volátiles como condición necesaria para el desarrollo de las pegmatitas, es atribuida al desarrollo de una fase líquida residual, de bajo punto de fusión que se concentra en las etapas finales de la cristalización del magma ácido (Toselli Alejandro J., 2010).

#### **3.3.6.6 Granulitas**

Roca metamórfica de Textura maciza, granoblástica, raramente orientada, mineralógicamente contiene ortopiroxeno, cuarzo, plagioclasa, granate, feldespato alcalino, cianita, alto contenido en piroxeno, diópsido o hiperstena, de grano grueso, puede ser bandeada, pero no esquistosa; asociada a presión y temperatura alta (Geoaprendo, 2014). Las granulitas en sentido estricto se definen como rocas cuyo protolito era una roca básica, en este caso se podría considerar a este protolito como un gabro, y que ha sufrido un proceso metamórfico a unas condiciones de grado metamórfico alto, 500 a 700 °C .

Las granulitas se clasifican como un tipo de roca metamórfica, específicamente dentro de la categoría metamórfica de alto grado. Se caracterizan por su textura de grano fino y la presencia de minerales que han sufrido una recrystalización, dando como resultado el desarrollo de texturas granulares. Los minerales en las granulitas a menudo exhiben formas cristalinas distintas y pueden mostrar una orientación

preferida. La clasificación de las granulitas se basa en el conjunto y composición de minerales (Geologyscience, 2023).

Algunos tipos comunes de granulitas incluyen (Geologyscience, 2023).

1. Granulita de ortopiroxeno: Dominado por el ortopiroxeno, con otros minerales como el granate y biotita.
2. Granulita de piroxeno: Contiene piroxeno como mineral dominante, junto con otros minerales como plagioclasa y granate.
3. Hornblenda Granulita: Dominado por hornblenda (anfíbol), a menudo con plagioclasa y granate.
4. granito Granulita: Contiene una importante cantidad de feldespato, además de otros minerales como cuarzo y biotita.

### **3.3.7 Clasificación de las fracturas**

Pueden ser clasificadas en diaclasas (o fracturas de apertura) fallas y venas o diques (Fossen H., 2010).

### **3.3.8 Fallas, zonas de falla y zonas de cizalla**

Existen tres conceptos fundamentales relacionados entre sí: falla, zona de falla y zona de cizalla (McClay, 1987; Davis y Reynolds, 1996 en Oyarzun R. y Doblas M., 2023), utilizados a veces de manera indistinta y de manera incorrecta.

Una falla es por definición una fractura frágil a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento visible, en general paralelo a la superficie de la misma. Por su parte una zona de falla se encuentra compuesta por innumerables superficies de falla

frágiles, subparalelas e interconectadas, estrechamente espaciadas conteniendo zonas de brecha o fault gouge.

Una zona de cizalla puede definirse de manera simple como una falla que se forma bajo un ambiente de deformación dúctil (Fossen H., H. 2010). Lo anterior implica que las zonas de cizalla sufren movimientos iguales a los de las zonas de falla (normal, inverso, dextral, sinistral u oblicuo) provocados por la misma relación de esfuerzos (Teoría de Anderson).

La zona de cizalla corresponde a una ancha zona de deformación generada bajo condiciones dúctiles a dúctiles-frágiles. Digamos además que una zona de cizalla gradada hacia arriba hacia una zona de falla. Las rocas son deformadas frágilmente en los niveles superiores de la corteza terrestre y dúctilmente en lo inferiores. La profundidad a la que la deformación pasa de frágil a dúctil es conocida como la transición dúctil-frágil y generalmente se encuentra a unos 10-15 km bajo la superficie (Sibson, 1990 en Oyarzun R. y Doblaz M., 2023).

En dicha transición se desarrollan ambos tipos de deformación, mientras que por encima o por debajo la importancia relativa de una de estas disminuye progresivamente. De cualquier manera los 10-15 km antes mencionados deben ser solamente considerados como un referente general solamente, ya que zonas de deformación dúctil pueden desarrollarse a profundidades menores bajo condiciones de un gradiente geotérmico anómalmente alto (magmatismo activo, actividad hidrotermal de alta T generalizada, etc), y también pueden darse deformaciones frágiles en profundidad como respuesta a movimientos sísmicos bruscos.

### **3.3.9 Sills**

Es una masa tabular de roca ígnea, con frecuencia horizontal, que ha instruido lateralmente entre dos capas antiguas de roca sedimentaria, capaz de lava volcánica o toba volcánica, o a favor de la foliación en rocas metamórficas (Mattauer, Maurice 1973).

### **3.3.10 Diques**

Son extensiones tabulares verticales o fuertemente inclinadas que atraviesan las rocas encajantes (Mattauer, Maurice, 1973).

### **3.3.11 Metamorfismo regional**

El metamorfismo regional es un proceso en el que actúan tanto la temperatura como la presión. Este proceso se produce de forma muy progresiva desde la corteza a las capas más profundas. Al ser una evolución gradual, puede clasificarse en metamorfismo de bajo grado, de medio grado o alto grado (<https://geotecniafacil.com/rocas-metamorficas-tipos>).

#### **3.3.11.1 Metamorfismo de presión o dinamometamorfismo**

Éste se genera por una fuerte presión, pero en este caso no hay impacto, se encuentra este tipo de roca metamórfica principalmente en las cercanías de grandes fracturas (fallas) en las que ha existido un desplazamiento importante entre los bloques. Este metamorfismo produce cambios fundamentalmente en la textura debido a la fragmentación y trituración de minerales. (<https://geotecniafacil.com/rocas-metamorficas-tipos>).

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1 Tipo de investigación

Existen distintos tipos de investigación, dependiendo de la clasificación que le den los autores, pero en este caso se realizó basándose en la Metodología de la Investigación de Jacqueline Hurtado de Barrera, que se definirán a continuación:

1. Se puede caracterizar esta investigación como explicativa; “en la investigación explicativa, el investigador trata de encontrar posibles relaciones entre los eventos, respondiendo a las preguntas por qué y cómo del evento estudiado. Intenta descubrir leyes y principios y generar modelos explicativos y teorías” (Hurtado de Barrera, J. 2001, p.116). Es de tipo explicativa porque se requiere saber qué tipos de rocas y estructuras geológicas se encontraran en la zona, como se originaron y la relación que tienen entre sí.

2. La investigación se plantea como descriptiva por que se basa en la descripción de aspectos característicos de una realidad para analizar y determinar sus rasgos sobresalientes, en donde se analizan e interpretan datos que permiten determinar aspectos de una situación particular en forma objetiva para así poder diagnosticar posibles consecuencias y hacer sugerencias para mejorar dicha situación con fines prácticos, relacionados con la investigación.

Basado en esto, se define ésta investigación como descriptiva, ya que se establecen características geológicas y litológicas, a través de exploración en campo; obteniendo así las características sobresalientes del área.

## 4.2 Diseño de la investigación

Por último, según la estrategia empleada para la recopilación de la información, el proyecto es de campo, por cuanto se afianza en la aplicación de instrumentos para obtener datos e información de una realidad concreta que se pretende, sin manipular directamente las variables. Corresponde así, con un diseño de campo, porque entre sus estrategias trata de dar explicación a un fenómeno como lo es la temática de esta investigación.

Con respecto al diseño de campo, Sabino (2013), lo define de la siguiente forma: “Son los que se refieren a los métodos a emplear cuando los datos de interés se recogen en forma directa de la realidad” (p.89). Por lo que este tipo de investigación permite establecer una relación entre los elementos teóricos y la realidad práctica; ofreciendo así una mayor ventaja para sistematizar y clasificar los hechos de esta realidad a partir de los elementos conceptuales. La investigación es de campo debido a que es necesario recolectar muestras del área de estudio, como tipos de rocas, de sedimentos y estructuras geológicas.

De igual manera, la investigación posee un diseño documental al considerarla Balestrini (2012) como “un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales; impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte a nuevos conocimientos”. (p.27) Con referencia a lo anterior, esta investigación es documental, ya que se procederá a la consulta de diferentes fuentes de información escrita, bibliográfica y electrónica relacionados al equipo sinfín, que arroje luz de interpretación y conocimientos relacionados con el tema de estudio.

### **4.3 Población y muestra de la investigación**

#### **4.3.1 Población**

Chávez (2007) explica “La población es el universo de estudio de la investigación, sobre el cual se pretende generalizar los resultados, constituidas por características o estratos que le permiten distinguir los sujetos, unos de otros.

En este trabajo la población está representada por los terrenos del sector de la Poza El Soldado, en el río Marhuanta, que cubre un área aproximada de 2 Km<sup>2</sup>, donde se encuentran varios afloramientos rocosos.

#### **4.3.2 Muestra**

La muestra, según Sabino, (2013), explica que se obtiene con el fin de investigar, a partir del conocimiento de sus características particulares, las propiedades de una población”. El tipo de muestreo será a juicio de los investigadores.

La muestra de este trabajo será de aproximadamente 10 muestras de rocas, a ser recolectadas en los afloramientos del sector de la Poza El Soldado- río Marhuanta

### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos son el conjunto de reglas y procedimientos que permiten al investigador establecer la relación con el objeto o sujeto de la investigación, es decir el cómo se debe asumir el conocimiento, análisis y evaluación de una situación particular.

#### 4.4.1 Procedimiento de campo

Consta de 3 etapas:

1. Reconocimiento del área a través de caminatas expeditivas para la ubicación de las estaciones en el área de estudio, específicamente ubicada en el sector de la Poza El Soldado- río Marhuanta, Municipio Bolivariano Angostura, estado Bolívar, Venezuela, se tomaron coordenadas de los sitios y toma de fotografías.

2. Levantamiento de campo a través de caminatas, para obtener datos de la geología, geomorfología, descripción de afloramientos y datos de las estructuras geológicas área de estudio; entre los datos de los afloramiento están las coordenadas, identificación de las estructuras geológicas tales como foliación, diaclasas, pliegues, diques, a las cuales se les midió el rumbo, se anotó en la libreta de campo y se tomó fotografía de ellas colocando en una etiqueta sobre el afloramiento con las coordenadas U.T.M, el lugar, la fecha y el norte del lugar, y además se colocó un objeto o instrumento para la toma de la fotografía para dejar constancia de la información de campo.

3. Posteriormente se hizo la recolección de muestras de rocas que fueron etiquetadas con el número del afloramiento y el número de la muestra, ejemplo A1-M1 y fotografiadas (Figura 4.4).



Figura 4.4 Etiquetado y fotografías de las muestras recolectadas en campo.

#### 4.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se tienen proyectados a utilizar en el desarrollo de la investigación propuesta son los siguientes:

#### **4.4.2.1 En el trabajo de campo**

1. GPS (Garmin MAP 76CS).
2. Brújula geológica (Brunton).
3. Martillo geológico / Lupa de Geólogo: 6. 12. 36X.
4. Mapa Topográfico del área de estudio a escala 1:100. 000.
5. Cámara fotográfica.
6. Teléfono inteligente
7. Libreta de campo
8. Marcadores para identificar las muestras.
9. Escalímetro.

#### **4.4.2.2 En el trabajo de gabinete**

1. Fotografías aéreas.
2. Graficación tradicional: graduador, compas, hojas de papel milimetrado A4, hojas de Papel Ingeniero A4.
3. Imágenes satelitales de Google Earth.
4. Hojas cartográficas escala 1:1000.000 y 1:25.000
5. Mapa geológico del estado Bolívar.
6. Computador.

### **4.5 Técnicas de la ingeniería a utilizar**

#### **4.5.1 Chequeo de campo**

La ejecución de las labores de campo implicará realizar, tanto en forma previa como en forma paralela a la ejecución de las tareas de campo, las actividades de socialización pertinentes ejecutadas con profesionales especializados.

#### **4.5.2 Inspección de campo**

En esta etapa se recopilará y analizará toda la información necesaria sobre la zona de estudio, que permita su posterior comprobación en campo. Entre estas actividades se encuentran:

1. Recopilación y revisión de material bibliográfico de la zona de estudio: tesis de grado, libros, congresos, informes, boletines, seminarios.
2. Recopilación e interpretación del material cartográfico a escala.
3. Recopilación e interpretación de las imágenes satelitales que cubren la zona.
4. En esta etapa se realizará el levantamiento de campo con el fin de obtener observaciones y mediciones que permitan elaborar un mapa geológico, recolección de muestras a través de levantamiento geológico y estudios petrográficos.

#### **4.5.3 Mapas geológicos de superficie**

El mapa geológico es un documento bidimensional pero constituye la representación de unos objetos espaciales que tienen tres dimensiones. Resulta de expresar la intersección de los volúmenes litológicos sobre la superficie de la Tierra. Ésta última es también una superficie tridimensional, lo que va a permitir extraer datos sobre la disposición espacial de las unidades geológicas debido a las variaciones topográficas.

#### **4.5.4 Memoria explicativa**

Interpretación de resultados de campo y de laboratorio de las muestras seleccionadas y analizadas para diferentes propósitos cartográficos y geológicos.

Procesamiento e integración de información cartográfica, satelital y de levantamiento de campo para representar un mapa geológico de superficie de parte del sector de la Poza El Soldado- río Marhuanta y las estructuras asociadas observadas en el campo.

## **4.6 Flujograma de la investigación**

En la figura 4.1 se muestra el flujograma de la investigación. En esa figura se establecen las diferentes etapas del proyecto que: Planificación del trabajo de campo, reconocimiento del área, etapa de campo, etapa de oficina.

### **4.6.1 Planificación del trabajo de campo**

Esta etapa constituye el inicio de la investigación y es de vital importancia.

#### **4.6.1.1 Selección del área de estudio**

Para la selección del área se tomaron varios aspectos, la ubicación del área y las de acceso, que estuviera relativamente cerca de Ciudad Bolívar debido a los costos del traslado, la seguridad del área en cuanto a maleantes.

#### **4.6.1.2 Recopilación bibliográfica y cartográfica**

Para la elaboración de esta investigación se revisaron fuentes bibliográficas sobre la geología regional y la geomorfología de la zona de estudio; así como, las metodologías a utilizar en el procesamiento de los datos de campo, en la clasificación de las rocas metamórficas, sobre las estructuras geológicas en las rocas metamórficas, y sobre la elaboración de las rosetas con datos de las estructuras. La información se obtuvo de la revisión de material bibliográfico como: tesis, textos, páginas web e

informes técnicos sobre temas geológicos. Para este trabajo se revisó e interpretó el material cartográfico a escala 1:100.000, específicamente la Hoja cartográfica 7540 (Marhuanta) de Cartografía Nacional del año 1971, el mapa geológico a escala 1:750.000 de Paul C. Hackley y otros (2006) y las imágenes satelitales de Google Earth.

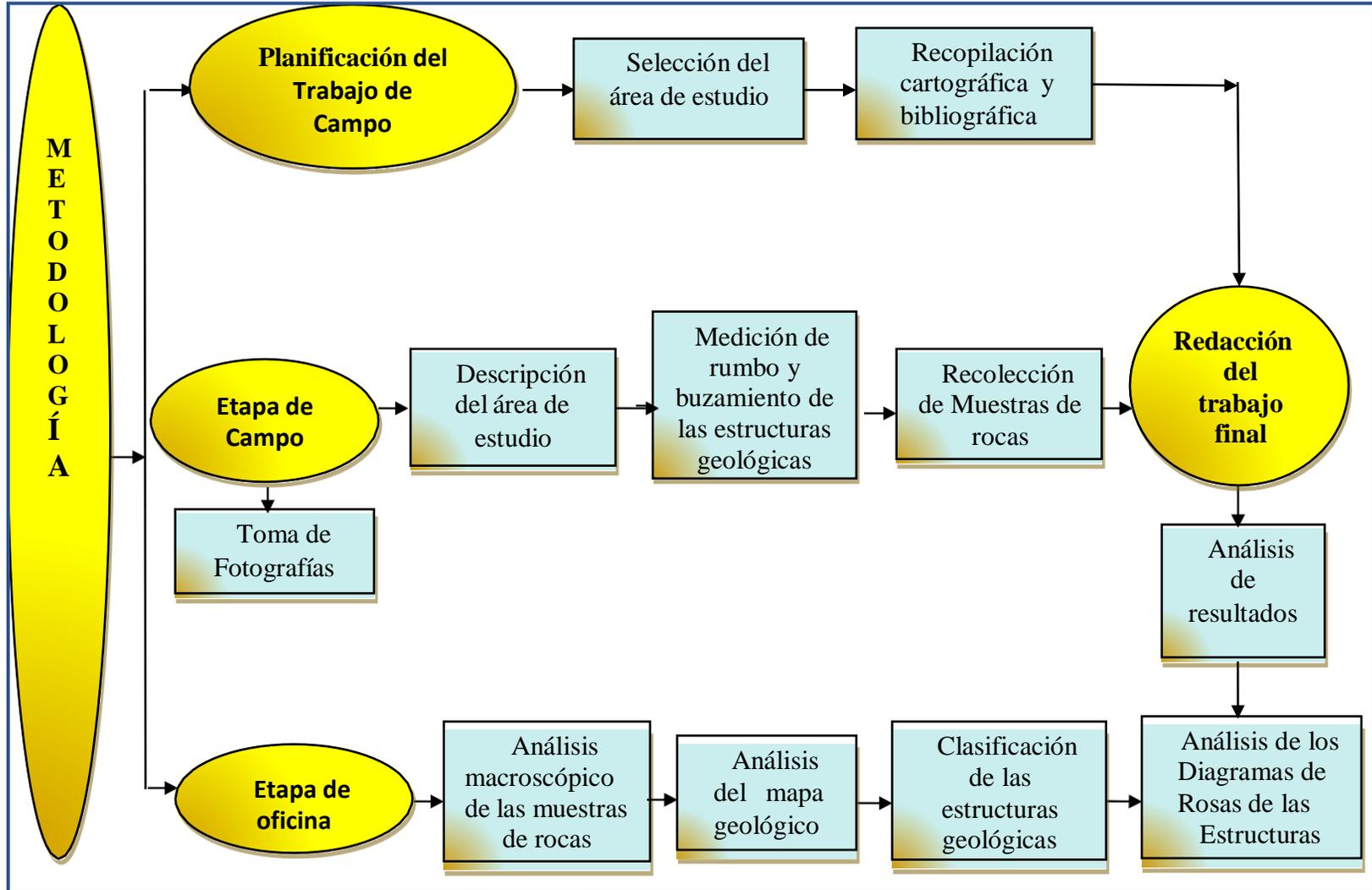


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

#### **4.6.2 Reconocimiento del área**

Consistió en realizar un recorrido de la zona realizando caminatas para conocer los caminos de acceso al área, para ubicar las estaciones de trabajo y anotar las características sobre la zona de estudio y toma de fotografías del paisaje, que permitió posteriormente realizar el levantamiento de campo.

En esta fase se establecieron 5 afloramientos del Complejo de Imataca, en el sector de la Poza El Soldado, del río Marhuanta.

#### **4.6.3 Etapa de campo**

Los pasos para esta actividad fueron:

- 1) Determinación de las coordenadas U.T.M de cada una de las estaciones.
- 2) Descripción de los afloramientos rocosos y recolección de muestras.
- 3) Medición de rumbo y buzamiento de las estructuras tales como, foliación, diaclasas y zonas de cizalla.
- 4) Etiquetado de las muestra de rocas, identificadas con el número de la estación, y las coordenadas.
- 5) Tomas de fotografías de los detalles geológicos, de las muestras y del paisaje de los sitios de trabajo.

En la figura 4.2 se muestra la actividad de medición en campo.



Figura 4.2 Actividades de campo.

#### 4.6.4 Etapa de laboratorio

##### 4.6.4.1 Análisis macroscópico de las muestras de rocas

Se analizaron 6 muestras de roca, a las cuales se les determinó el porcentaje de los minerales, utilizan una lupa con aumento 10X.

#### 4.6.5 Etapa de oficina

##### 4.6.5.1 Clasificación de las estructuras geológicas

Con los datos de rumbos de las diaclasas y los ángulos entre ellas, se determinaron los tipos de acuerdo a la geometría, se establecieron las familias y sistemas de diaclasas, y los tipos de planos que presentan.

#### **4.6.5.2 Elaboración de los diagramas de rosas**

Para identificar las estructuras y los patrones presentes en la zona de estudio, se elaboraron diagramas de rosas utilizando los datos obtenidos en campo, como lo son los rumbos de las diaclasas y foliaciones.

Se realizó con la ayuda de un software especializado en diagrama de rosas (Stereonet), primeramente, se convirtieron los datos de rumbo a azimut para poder ingresarlos a la data del software y así obtener el diagrama, para posteriormente, analizarlo.

En la ventana de la derecha en seleccionar New DataSet y colocar el nombre del proyecto, en la parte de abajo de esa ventana seleccionar Add Datum para escribir cada dato copiando el azimut y el nombre de la línea a trazar en el diagrama. Para borrar algún dato se selecciona y se hace clip en Delete. En la pestaña View y en la opción Inspector se despliega una ventana para asignar color a las etiquetas y a los sectores de cada diaclasa, y el ancho de los sector, en este caso 10° (Figuras 4.3, 4.4 y 4.5).

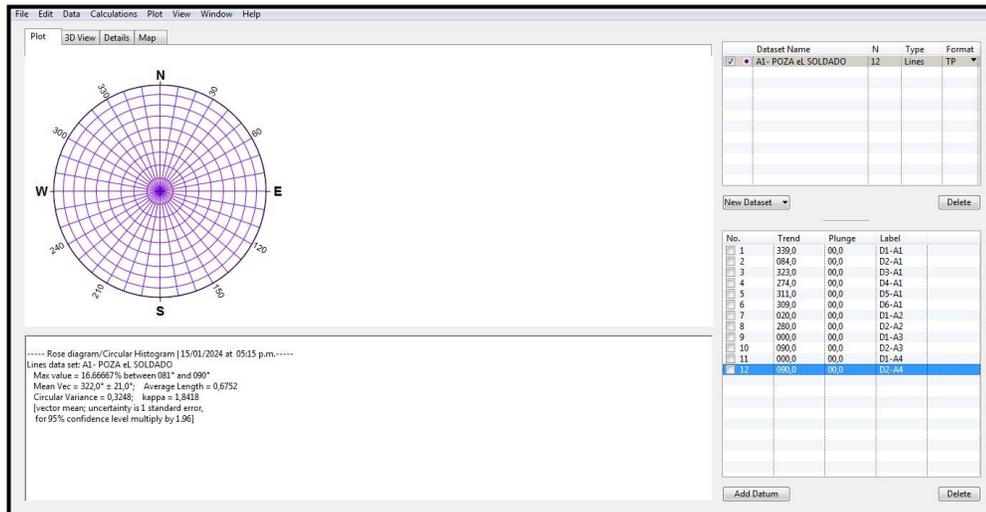


Figura 4.3 Ventana del software Stereonet, para cargar los datos iniciales.

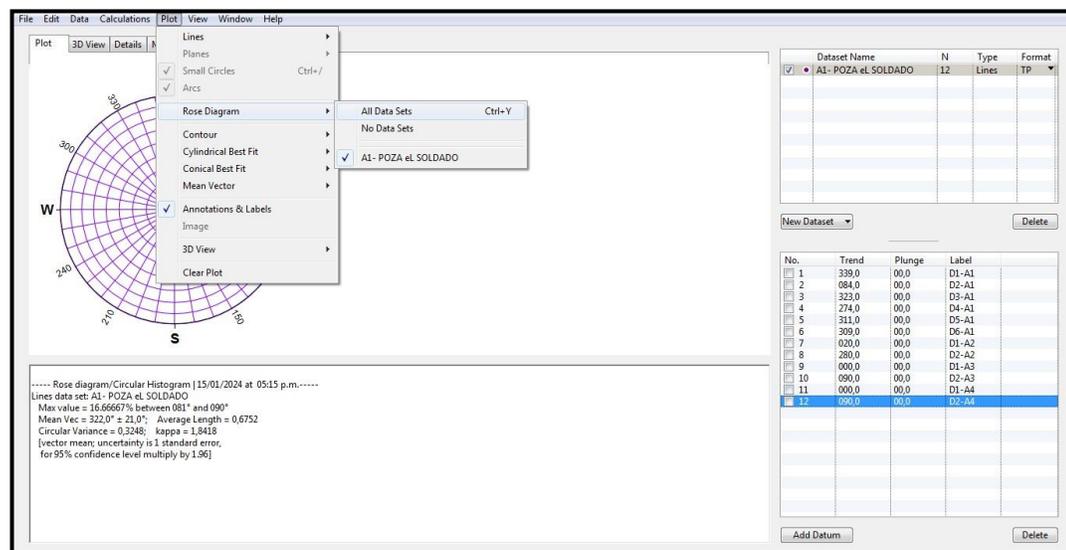


Figura 4.4 Ventana de la izquierda de software Stereonet, para activar la generación del Diagrama de Rosa, en la pestaña “Rose Diagram”.

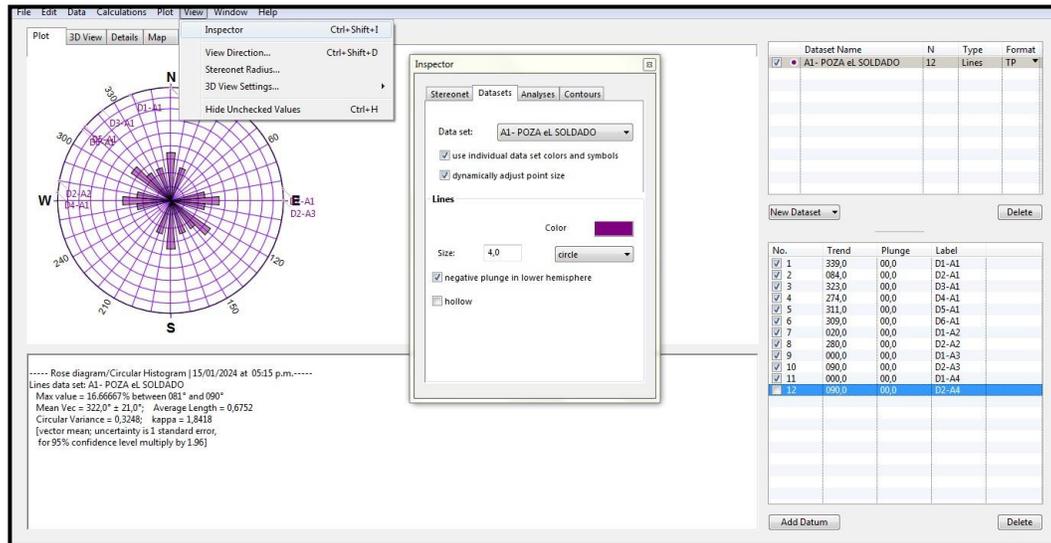


Figura 4.5 Ventana de la izquierda de software Stereonet, con la generación del “Diagrama de Rosa” con las etiquetas de los datos.

#### 4.6.5.3 Digitalización del mapa geológico

Para el mapa geológico se utilizó la información de la imagen satelital de Google Earth con la ubicación de las estaciones con las coordenadas U.T.M, la hoja cartográfica Marhuanta (7540) del año 1970, a escala 1:100000, las imágenes satelitales de Google Earth de la zona de estudio y los datos del levantamiento de campo; el cual fue digitalizado utilización la aplicación de PowerPoint del Office 20016 y AutoCAD 2008. En este mapa se colocó como información marginal: la ubicación relativa del área, la leyenda de la litología, la tabla con las coordenadas de los afloramientos, las escalas gráfica y numérica, y los símbolos geológicos.

#### **4.6.6 Redacción del informe final**

El informe final fue elaborado en Word de la aplicación Office 2016, con toda la información de campo y los resultados de los diferentes análisis. Utilizando el formato establecido por la Escuela de Ciencias de la Tierra.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Características de unidades geológicas del área Marhuanta-Poza El Soldado

En la zona de estudios se distinguieron 2 unidades geológicas, que son el Complejo de Imataca y suelos residuales del Complejo de Imataca.

El Complejo de Imataca se presenta en grandes afloramientos en las penillanuras, y en el cauce del río Marhuanta; se caracteriza por gneises cuarzo feldespáticos biotíticos y cuarzo feldespáticos biotíticos anfibólicos, de grano medio a fino y de grano grueso, de colores grises y rosado, y cuarcitas ferruginosas, de grano medio, de color negro verdoso, diques de cuarzo y de pegmatita cizallados. Las rocas presentan diaclasas verticales, planas, de configuración geométrica de tipos ortogonales y conjugadas, y plegamientos de flujo en algunos casos (Figuras 5.1 y 5.2).



Figura 5.1 Afloramiento A1, sector la Poza El Soldado.



Figura 5.2 Afloramiento A1 del Complejo de Imataca, sector la Poza El Soldado.

Los suelos residuales de Imataca, se caracterizan por ser arcillosos de color rojo medio, con una cobertura de cuarzo flotante, en su mayoría de tipo lechoso, con fragmentos angulosos, desde 1 cm hasta 5 cm, que cubren de grandes extensiones; además se encuentran fragmentos de cuarcitas ferruginosas (Figura 5.3).



Figura 5.3 Suelos residuales del área de estudio.

## 5.2 Descripción de las estaciones de trabajo

En la zona de estudio se establecieron 5 afloramientos de trabajo, y en la tabla 5.1 se presentan las coordenadas U.T.M de la ubicación de cada afloramiento, y en figura 5.4 en el mapa con la ubicación de los afloramientos.

Tabla 5.1 Coordenadas de la ubicación de los afloramientos.

| COORDENADAS<br>UBICACIÓN DE AFLORAMIENTOS         |           |           |
|---|-----------|-----------|
|   |           |           |
| A-1   | 895428.37 | 450777.37 |
| A-2   | 895468.00 | 450821.00 |
| A-3   | 895544.67 | 450832.09 |
| A-4   | 895574.77 | 450798.16 |
| A-5   | 895485.51 | 450847.43 |
| SISTEMA REFERENCIAL UTM REGVEN<br>(WGS84) ZONA 20 |           |           |

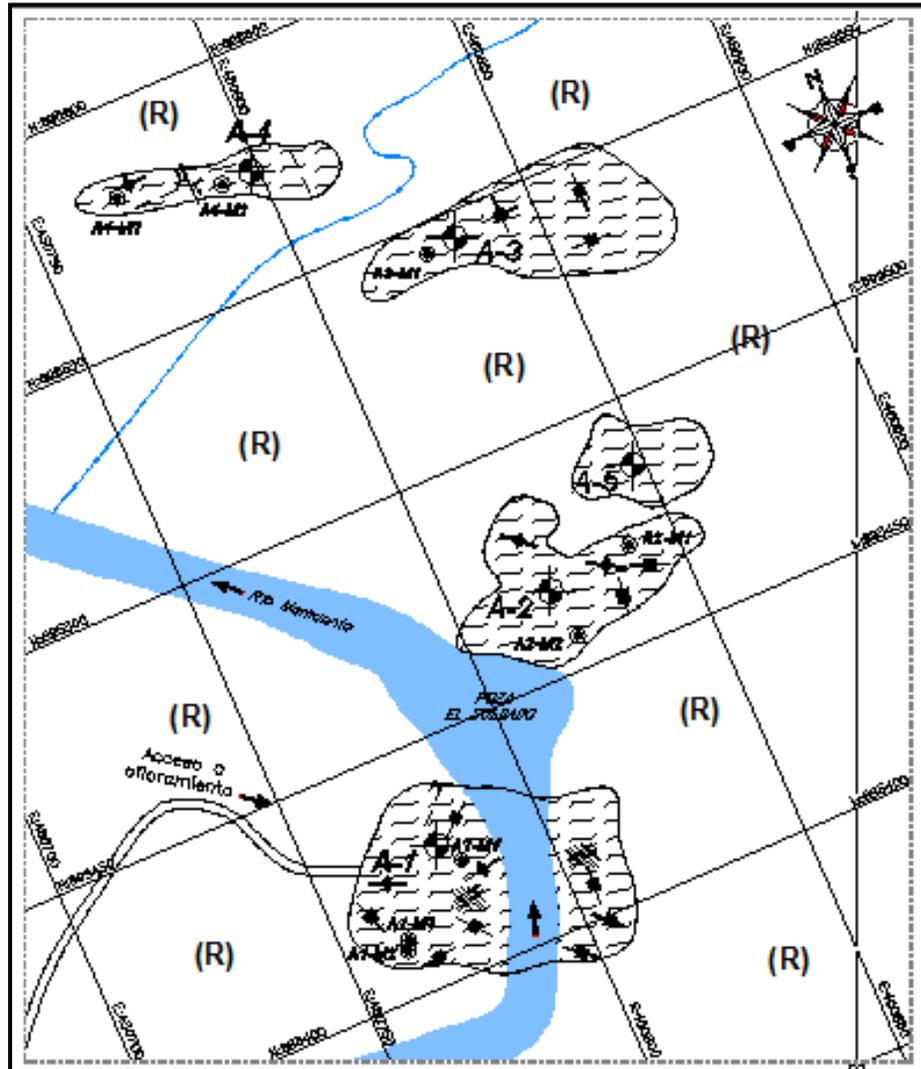


Figura 5.4 Mapa con la ubicación de los afloramientos.

### 5.2.1 Afloramiento A1

Este afloramiento está ubicado en ambas márgenes del río Marhuanta, en el sector la Poza El Soldado, al sur del área, y se encuentran gneises cuarzo feldespático, biotítico, anfibólico de textura granoblástica de grano medio a fino y

grueso, color gris claro y rosado, y gneises cuarzo feldespático, biotítico, con zonas de grano medio a fino y de grano grueso, color gris claro y rosado, foliados, con diques y sills de cuarzo cizallado y diques de pegmatita de grano muy grueso, y también presenta pliegues de flujo y numerosas diaclasas (Figura 5.5).



Figura 5.5 Gneises con diques de cuarzo, pegmatitas, foliados, con pliegues de flujo, y diaclasas verticales en el afloramiento A1.

### 5.2.2 Afloramiento A2

Este afloramiento está ubicado en la margen derecha del río Marhuanta, en el sector la Poza El Soldado, al sureste del área, y se encuentran gneises cuarzo feldespático, de grano fino y muy fino, colores blancos y grises, foliados, con diaclasas verticales ortogonales (Figura 5.6).



Figura 5.6 Afloramiento A2 en la margen derecha del río Marhuanta.

### 5.2.3 Afloramiento A3

Este afloramiento está ubicado al noroeste, del sector la Poza El Soldado, y se encuentran gneises blancos, grises y rosados, biotítico, de grano muy fino, foliados, con diques de cuarzo lechoso, pliegues de falla y diaclasas verticales ortogonales de rumbo norte y este franco (Figura 5.7).



Figura 5.7 Gneis con diques de cuarzo y diaclasas ortogonales, del Afloramiento A3.

#### 5.2.4 Afloramiento A4

Este afloramiento está ubicado al noroeste, del sector la Poza El Soldado, tiene un ancho de 12 m y un largo de 54 m, y litológicamente se encuentran gneises blancos y grises y biotítico, de grano muy fino, con foliación de rumbo este franco, con diques de cuarzo lechoso, pliegues falla asociados a una falla dextral y diques de cuarzo lechoso, ortogonales de rumbo norte y este franco (Figuras 5.8 y 5.9).



Figura 5.8 Gneises con pliegues de falla, asociado a una falla dextral, en el afloramiento A4.



Figura 5.9 Gneises con diaclasas ortogonales, en el afloramiento A4.

### 5.2.5 Afloramiento A5

Este afloramiento está ubicado en la margen derecha del río Marhuanta, en el sector la Poza El Soldado, al sureste del área, y se encuentran cuarcitas ferruginosas de color marrón negruzco, de grano medio, con diaclasas verticales ortogonales (Figura 5.10).



Figura 5.10 Cuarcitas ferruginosas, en el afloramiento A5.

### 5.3 Clasificación y composición mineralógica de las muestras de rocas

En la tabla 5.2 se presenta la clasificación petrográfica de las 6 muestras de los afloramientos, A1, A2, A3 y A4, y en la figura 5.9 se presentan las imágenes de las muestras recolectadas en campo. De las 7 muestras de los 5 afloramientos, se analizaron 5 muestras utilizando la técnica del análisis macroscópico utilizando una lupa con aumento 10X (Figura 5.11).

Del acuerdo a los resultados mineralógicos se tiene que en el afloramiento 1 se encuentran gneises cuarzosos - biotíticos – anfíbolíticos y gneises biotíticos – cuarzosos; en el afloramiento 2 se encuentran gneises biotíticos – cuarzosos, gneises feldespáticos - cuarzosos – biotíticos y gneises cuarzosos – biotíticos.

Los gneises cuarzosos - biotíticos – anfíbolíticos presentan: Cuarzo 30%, Plagioclasas 30%, Mica biotita 15%, Anfíbol 15% y Piroxenos 10%; los gneises biotíticos – cuarzosos: Mica biotita 40 a 50%, Plagioclasas 30% y Cuarzo 20 a 30%; gneises feldespáticos - cuarzosos – biotíticos: Plagioclasas 30%, Feldespatos 30%, Cuarzo 20% y Mica biotita 20% y los y gneises cuarzosos – biotíticos: Plagioclasas 40%, Cuarzo 35%, Mica biotita 20% y Feldespatos 5%.

Tabla 5.2 Resultados del análisis petrográfico usando lupa 10X.

| CÓDIGO | COORDENADAS UTM |         | DESCRIPCIÓN   | COMPOSICIÓN MINERALÓGICA   | NOMBRE DE LA ROCA                         | VISTA MACROSCÓPICA  |
|--------|-----------------|---------|---|--|---|---|
|        | Este            | Norte   |   |  |   |   |
| A1-M1  | 450803          | 8954555 | Roca de grano medio de textura granoblástica. Mosaico de minerales en tonos gris claro e incoloro, con minerales máficos dispersos y agrupados en colores negro verdosos. Roca protolito equivalente a tonalita o trondjemita | Cuarzo 30%<br>Plagioclasas 30%<br>Mica biotita 15%<br>Anfíbol 15%<br>Piroxenos 10% | Gneis cuarzoso - biotítico - anfibolítico |    |
| A1-M2  | 450804          | 895457  | Roca de grano medio de textura gnéisica, micas biotitas notablemente foliadas en mosaico de minerales en tonalidades color gris y marrón claro  | Mica biotita 50%<br>Plagioclasas 30%<br>Cuarzo 20%                                 | Gneis biotítico - cuarzoso                |    |
| A2-M1  | 450867          | 895542  | Roca de grano medio de textura medianamente foliada. Mosaico de minerales en tonalidades color gris y rosado claro  | Plagioclasas 30%<br>Feldespatos 30%<br>Cuarzo 20%<br>Mica biotita 20%              | Gneis feldespático - cuarzoso - biotítico |   |
| A2-M2  | 450868          | 895543  | Roca de grano medio de textura foliada. Mosaico de minerales en tonalidades color gris e incoloros  | Mica biotita 40%<br>Cuarzo 30%<br>Plagioclasas 30%                                 | Gneis biotítico-cuarzoso                  |  |

Continuación Tabla 5.2 Resultados del análisis petrográfico usando lupa 10X.

| CÓDIGO | COORDENADAS UTM |        | DESCRIPCIÓN  | COMPOSICIÓN MINERALÓGICA   | NOMBRE DE LA ROCA          | VISTA MACROSCÓPICA  |
|--------|-----------------|--------|--|--|----------------------------|---|
|        | Este            | Norte  |  |  |                            |   |
| A2-M3  | 450882          | 895566 | Roca de grano medio de textura medianamente foliada. Mosaico de minerales en tonalidades color gris                  | Plagioclasas 40%<br>Cuarzo 35%<br>Mica biotita 20%<br>Feldespatos 5% | Gneis cuarzoso - biotítico |  |
| A4-M1  | 450817          | 895647 | Mineral cuarzoso en tonos color gris y negro con porciones de feldespatos distribuidos parcialmente sobre la muestra | Cuarzo 90%<br>Feldespatos 10%  | Cuarzo ahumado (mineral)   |  |

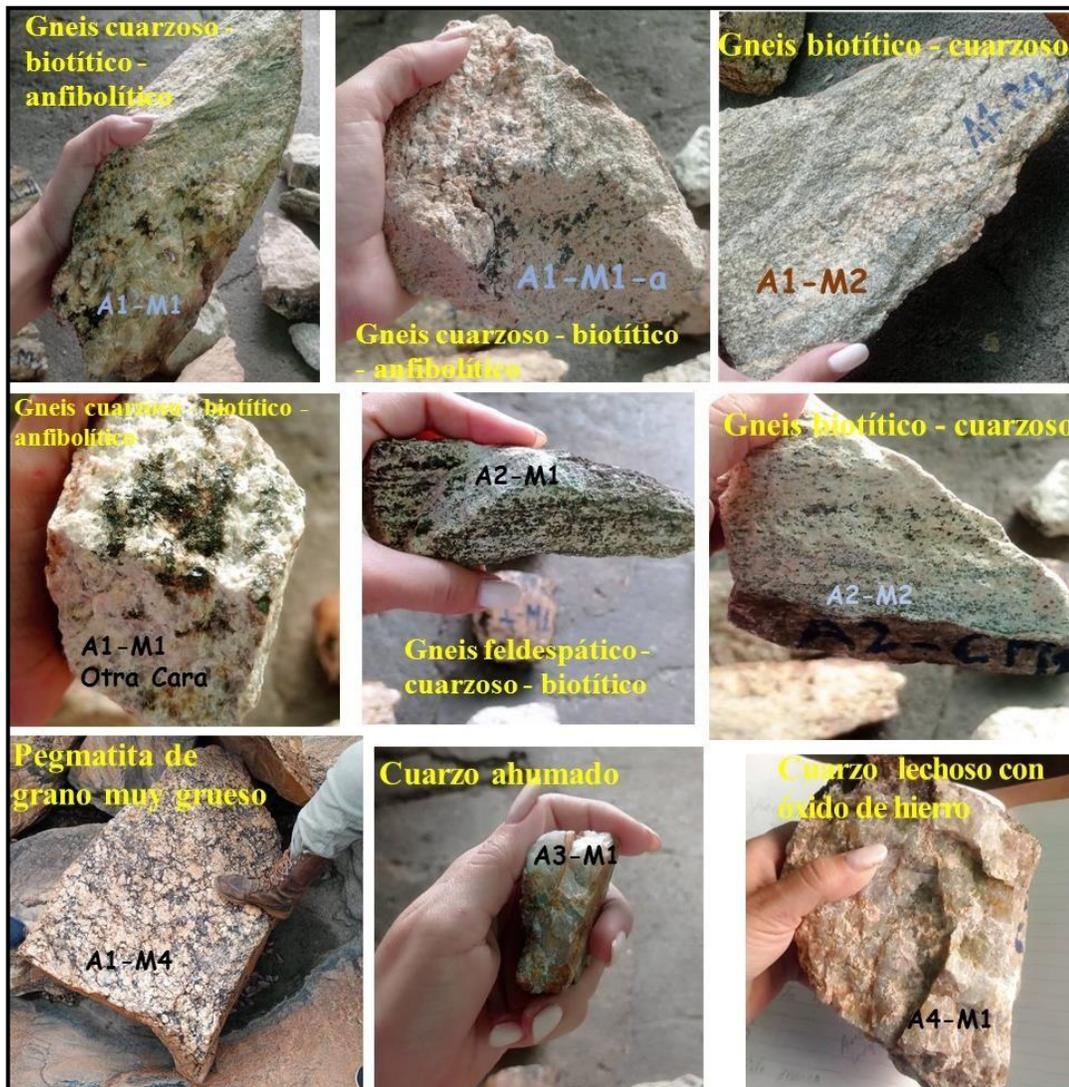


Figura 5.11 Muestras de rocas de los afloramientos.

## 5.4 Clasificación de las estructuras geológicas con datos de campo

### 5.4.1 Resultados de los datos de las foliaciones

En la tabla 5.2 se presentan los datos de campo de la foliación, que se utilizaron para elaborar el diagrama de roseta.

Tabla 5.2 Datos de rumbo y azimut de las foliaciones.

| ESTACIÓN | FOLIACIÓN          |                  |
|----------|--------------------|------------------|
|          | RUMBO              | AZIMUT           |
| F1-A1    | N78 <sup>0</sup> E | 78 <sup>0</sup>  |
| F2-A1    | S66 <sup>0</sup> E | 114 <sup>0</sup> |
| F3-A3    | S65 <sup>0</sup> E | 115 <sup>0</sup> |
| F4-A4    | Este franco        | 90 <sup>0</sup>  |

Del análisis del diagrama de roseta de las foliaciones, se determinó que en el afloramiento A1 el azimut de 78°, en los afloramiento A2 y A3, azimut de 114° y 115°, respectivamente y en el afloramiento A4 de 90°; de ellos se tiene que en la zona de estudio las foliaciones presentan azimut entre 78<sup>0</sup> y 115<sup>0</sup>, determinándose que entre los azimut de las foliaciones de la zona, hay con un ángulo entre ellas de 37<sup>0</sup>; esta diferencia podría estar asociado a plegamiento (Figura 5.12).

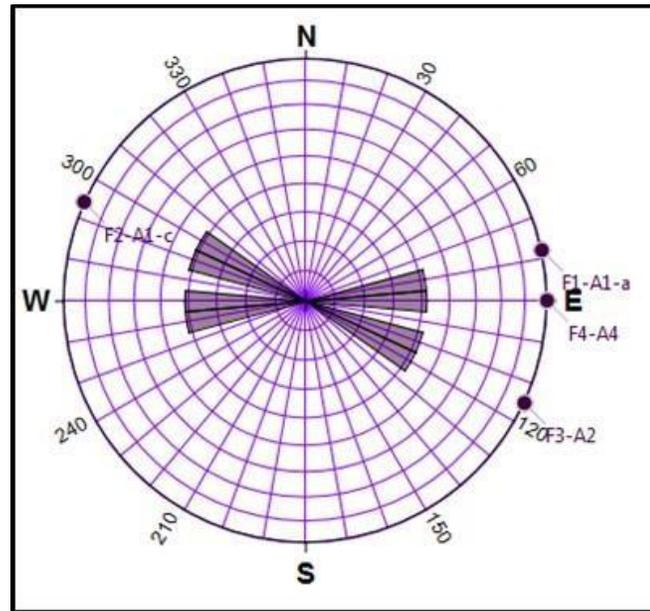


Figura 5.12 Diagrama de rosetas de las foliaciones.

#### 5.4.2 Resultados de los datos de las diaclasas

Los datos de rumbo y azimut de las diaclasas que se utilizaron para elaborar los diagramas de roseta, se presentan en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Datos de rumbo y azimut de las diaclasas.

El diagrama de roseta con todos los datos de campo, en azimut, fueron representados usando la aplicación de “stereonet”, donde se observan 2 grandes sectores de direcciones predominantes en el área de estudio, de  $20^{\circ}$  a  $310^{\circ}$  y de  $80^{\circ}$  a  $100^{\circ}$ ; es de hacer notar que los datos de campo fueron rumbos que son bidireccionales, convertidos en valores de azimut, y en diagrama fueron representados con azimut bidireccionales (Figura 5.13).

| Nº | Azimut | Diaclasa (D)-<br>Afloramiento |
|----|--------|-------------------------------|
| 1  | 339 °  | D1-A1                         |
| 2  | 084 °  | D2-A1                         |
| 3  | 323 °  | D3-A1                         |
| 4  | 274 °  | D4-A1                         |
| 5  | 311 °  | D5-A1                         |
| 6  | 309 °  | D6-A1                         |
| 7  | 020 °  | D1-A2                         |
| 8  | 280 °  | D2-A2                         |
| 9  | 000 °  | D1-A3                         |
| 10 | 090 °  | D2-A3                         |
| 11 | 000 °  | D1-A4                         |
| 12 | 090 °  | D2-A4                         |

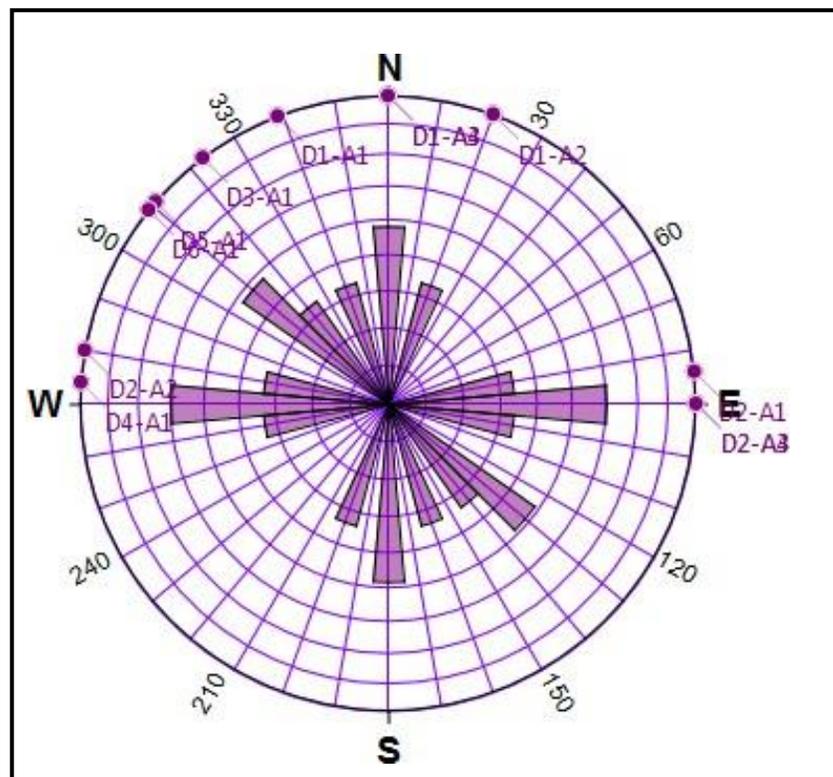


Figura 5.13 Diagrama de rosetas de las diaclisas del río Marhuanta, sector El Soldado.

### 5.4.2.1 Diagrama de roseta del afloramiento A1

En la tabla 5.4 se presentan los datos de azimut de 6 diaclasas del afloramiento A1; con esos datos se elaboró el diagrama de roseta de A1 (Figura 5.14); del análisis de esa figura se determinaron los sistemas de diaclasas, obteniéndose que: D1 y D3 forman un sistema de diaclasas subparalelas, con ángulo entre ellas de  $16^{\circ}$ ; D2 y D4 forma un sistema de diaclasas subparalelas, con ángulo entre ellas  $10^{\circ}$ ; y D5 y D6 un sistema de diaclasas paralelas.

Tabla 5.4 Datos de las diaclasas del afloramiento A1.

| Nº | Azimut | Diaclasa -<br>Afloramiento |
|----|--------|----------------------------|
| 1  | 339,0  | D1-A1                      |
| 2  | 264,0  | D2-A1                      |
| 3  | 323,0  | D3-A1                      |
| 4  | 274,0  | D4-A1                      |
| 5  | 311,0  | D5-A1                      |
| 6  | 309,0  | D6-A1                      |

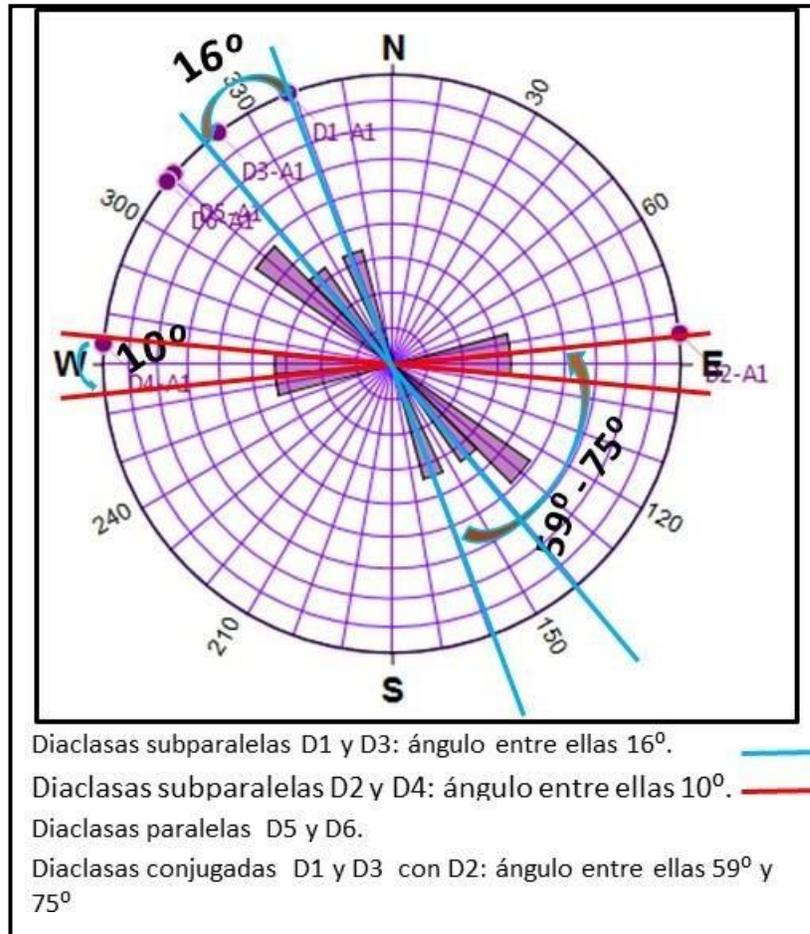


Figura 5.14 Diagrama de roseta de las diaclasas de A1.

#### 5.4.2.2 Diagrama de roseta del afloramiento A2

En la tabla 5.5 se presentan los datos de azimut de 2 diaclasas del afloramiento A2; con esos datos se elaboró el diagrama de roseta de A1 (Figura 5.15); del análisis de esa figura se determinó, las diaclasas D1 y D2, de ese afloramiento, forman un sistema de diaclasas subortogonales, con ángulo entre ellas de  $80^\circ$ .

Tabla 5.5 Datos de las diaclasas del afloramiento A2.

| Nº | Azimet | Diaclasa (D) -<br>Afloramiento |
|----|--------|--------------------------------|
| 1  | 020,0  | D1-A2                          |
| 2  | 280,0  | D2-A2                          |

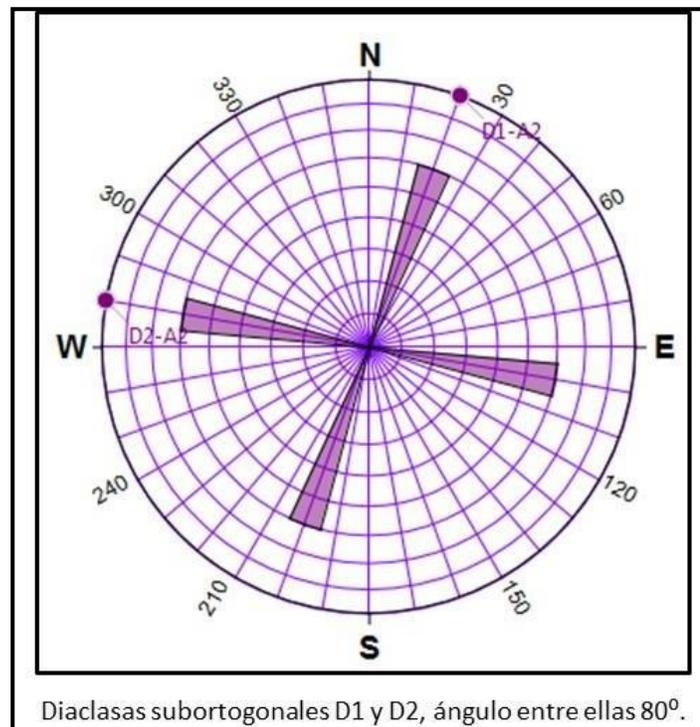


Figura 5.15 Diagrama de roseta de las diaclasas de A2.

#### 5.4.2.3 Diagrama de roseta de los afloramientos A3 y A4

En la tabla 5.5 se presentan los datos de azimut de 2 diaclasas del afloramiento A3 y 2 del afloramiento A4; con esos datos se elaboró el diagrama de roseta de A1 (Figura 5.16); del análisis de esa figura se determinó, las diaclasas D1 y D2, de esos



ortogonales, se determinó que la dirección de los esfuerzos  $\sigma_1$ , son NW-SE, para todas las estaciones del área de estudio. Estas direcciones se corresponden con los estudios regionales (Figura 5.17).

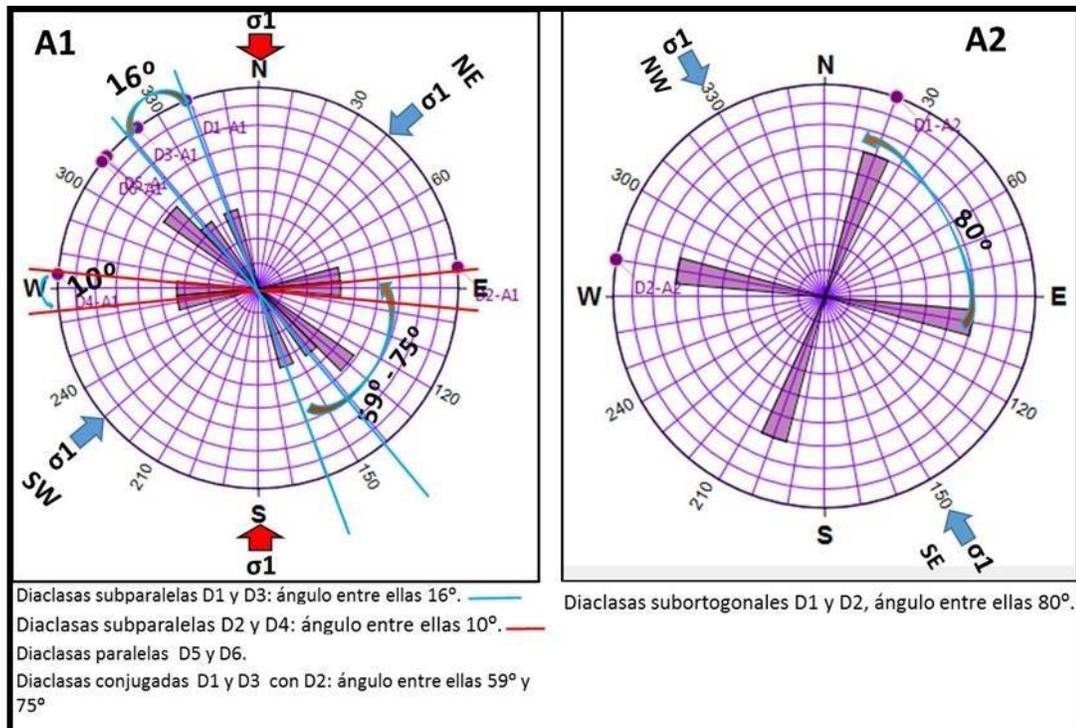


Figura 5.17 Diagramas de roseta de las diaclasas de los afloramientos A1 y A2 con dirección de los esfuerzos  $\sigma_1$ .

## 5.6 Análisis del mapa geológico del área de estudio

En la figura 5.32 se presenta el mapa geológico, con las 2 unidades descritas en campo, que pertenecen al Complejo de Imataca y que son: la unidad de gneises cuarzo feldespáticos biotíticos y gneises cuarzo feldespáticos biotíticos anfibólicos de grano medio a fino y de grano grueso, de colores grises y rosado, y las cuarcitas ferruginosas, de grano medio, de color negro verdoso, con diques de cuarzo y de

pegmatita cizallados que ocupa el 20% del área de estudio y la unidad de suelos residuales producto de la descomposición de las rocas del Complejo de Imataca que se caracteriza por presentar fragmentos de grano medio a muy grueso, de cuarzo lechoso y de cuarcitas ferruginosas, moteado de rojo claro, que se encuentra sobre los gneises y cuarcitas del Complejo de Imataca, y que ocupa el 80% del área.

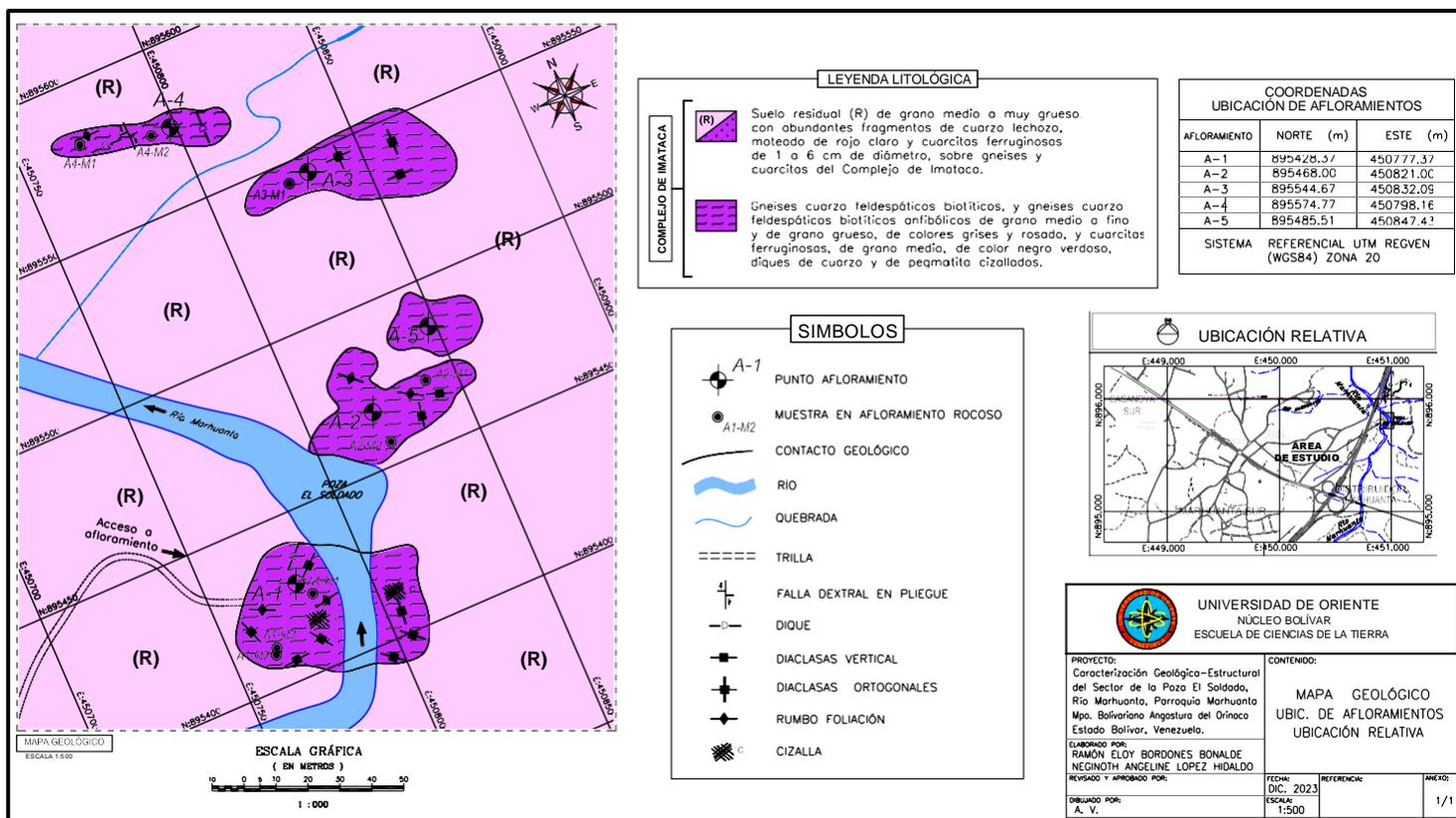


Figura 5.18 Mapa geológico del río Marhuanta, sector de la Poza El Soldado.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. En la zona de estudios se distinguieron 2 unidades geológicas, que son el Complejo de Imataca y suelos residuales del Complejo de Imataca.

2. El Complejo de Imataca se caracteriza litológicamente gneises cuarzo feldespáticos biotíticos, y gneises cuarzo feldespáticos biotíticos anfibólicos de grano medio a fino y de grano grueso, de colores grises y rosado, y cuarcitas ferruginosas, de grano medio, de color negro verdoso, diques de cuarzo y de pegmatita cizallados.

3. Del acuerdo a los resultados mineralógicos se tiene que en el afloramiento 1 se encuentran gneises cuarzosos - biotíticos – anfibolíticos y gneises biotíticos – cuarzosos; en el afloramiento 2 se encuentran gneises biotíticos – cuarzosos, gneises feldespáticos - cuarzosos – biotíticos y gneises cuarzosos – biotíticos.

4. La composición mineralógica de los gneises cuarzosos - biotíticos – anfibolíticos presentan: Cuarzo 30%, Plagioclasas 30%, Mica biotita 15%, Anfíbol 15% y Piroxenos 10%; los gneises biotíticos – cuarzosos: Mica biotita 40 a 50%, Plagioclasas 30% y Cuarzo 20 a 30%; gneises feldespáticos - cuarzosos – biotíticos: Plagioclasas 30%, Feldespatos 30%, Cuarzo 20% y Mica biotita 20% y los y gneises cuarzosos – biotíticos: Plagioclasas 40%, Cuarzo 35%, Mica biotita 20% y Feldespatos 5%.

5. Del análisis del diagrama de roseta de las foliaciones, se determinó que en el afloramiento A1 el azimut es de  $78^{\circ}$ , en A2 y A3, de  $114^{\circ}$  y  $115^{\circ}$ , respectivamente y en A4 de  $90^{\circ}$ ; determinándose que entre los azimut de las foliaciones de la zona, hay con un ángulo entre ellas de  $37^{\circ}$ ; esta diferencia podría estar asociado a plegamiento.

6. De acuerdo al diagrama de roseta con todos los datos de campo, en azimut, indica que existen 2 grandes sectores de direcciones predominantes en el área de estudio, de  $20^{\circ}$  a  $310^{\circ}$  y de  $80^{\circ}$  a  $100^{\circ}$ .

7. El patrón geométrico de los sistemas de diaclasas subparalelas, ortogonales y conjugadas, y la dirección de los esfuerzos tienen 2 direcciones NW-SE y N-S.

8. En el mapa geológico la unidad del de Complejo de Imataca conformada por gneises cuarzo feldespáticos biotíticos, gneises cuarzo feldespáticos biotíticos anfibólicos y cuarcitas ferruginosas, ocupa el 20% del área de estudio y la unidad de suelos residuales producto de la descomposición de las rocas del Complejo de Imataca ocupa el 80% del área.

### **Recomendaciones**

1. Analizar petrográficamente secciones delgadas de las rocas de los afloramientos ubicados en el río Marhuanta, sector la Poza El Soldado, a fin de comprobar la clasificación macroscópica realizada.

2. Realizar estudios de análisis de fracturas en afloramientos de otros sectores de la región, a fines comparar los patrones estructurales.

## REFERENCIAS

Ascanio, T. Gustavo (1975) **EL COMPLEJO DE IMATACA EN LOS ALREDEDORES DE CERRO BOLÍVAR**, Venezuela. En Conf.Geol.Interguiana.10th. BelBrasil.Mem. pp. 181-197.

Castro Dorado, V. (2015). **PETROGRAFÍA DE ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS**. Editorial Paraninfo, Madrid, España, pp 119-145.

CVG- TECMIN (1991) **INFORME DE AVANCE HOJA NB-20-2**.  
Estado

Boívar.

Méndez, J. (2006). **PETROLOGÍA**. Facultad de Ciencias de la UCV. Caracas,Pp. 96-106, 140, 303-307.

Balestrini, M. (2012) **LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**.  
Ariel,

Barcelona, España.

CIED, PDVSA (1997) **TÉCNICAS DE CARTOGRAFÍA**. Caracas.

Chávez, B. (2007) **GUIA METODOLÓGICA PARA ANTEPROYECTOS DE INVESTIGACION**. 3era edición. Editorial Fedupel. Caracas.

Fossen H., H. (2010) **STRUCTURAL GEOLOGY**. Cambridge UniversityPress, New York.

Geoaprendo (2014) **GRANULITA**. Disponible en

<https://www.geoaprendo.com/2014/12/granulita-granulite-roca.html>. Fecha de consulta 19 de noviembre 2023.

Geologyscience (2023). **ROCAS METAMÓRFICAS NO FOLIADAS**. Disponible en: <https://es.geologyscience.com/rocas/Rocas-metam%C3%B3rficas/rocas-metam%C3%B3rficas-no-foliadas/granulitos/> Fecha de consulta 19 de noviembre 2023.

Geotecniafacil.com (2023) **MIGMATITA: IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN, PROPIEDADES, FORMACIÓN Y USOS**. Disponible 02/08/2023. <https://geotecniafacil.com>.

González, I. y Ferrer M. (2002) **INGENIERÍA GEOLÓGICA**. Pearson Education. Madrid. Pp. 744.

Hurtado de Barrera, J. (2001) **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN HOLÍSTICA**. Instituto Universitario de Tecnología Caripito. Caracas.

Lambert, A. (2006) **GEOMORFOLOGÍA: PRINCIPIOS, MÉTODOS Y APLICACIONES**. Madrid, España: Rueda.

Martínez, R. (2001) **GEOLOGÍA DE LA REGIÓN DE GUAYANA** (Resumen) Bolívar. Geología., Caracas, Pública.

Mattauer, M. (1973) **PRÁCTICAS DE INGENIERÍA Y MORFOLOGÍA DEL TERRENO, MAPAS GEOLÓGICOS Y PROBLEMAS GEOMÉTRICOS**. E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Primera edición. Universidad de

Coruña. Pp.237.

Mendoza, V. (2000) **EVOLUCIÓN GEOTECTÓNICA Y RECURSOS MINERALES DEL ESCUDO DE GUAYANA EN VENEZUELA (Y SU RELACIÓN CON EL ESCUDO SUDAMERICANO)**. Ciudad Bolívar, Venezuela,  
P 184.

Mottana, A.; Crespi, R. y Liborio G. (1998) **INGENIERÍA GEOLÓGICA**. Pearson Educación, S. A., Madrid.

Ragan, D. (1987). **GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**. Ediciones Omega, S. A., Barcelona. Primera reimpresión. Pp 13 y 14.

Oyarzun Roberto y Doblaz Miguel (2023) **FALLAS Y ZONAS DE CIZALLA (PARTE 1): ASPECTOS GENERALES**. Fecha de consulta: 15/02/2023. Obtenido de:  
[https://www.aulados.net/Geologia\\_yacimientos/Zonas%20de%20Cizalla/Fallas\\_Primera\\_Parte.htm](https://www.aulados.net/Geologia_yacimientos/Zonas%20de%20Cizalla/Fallas_Primera_Parte.htm).

Sabino, C. (2013) **EL PROCESO DE INVESTIGACION**. Editorial Panapo. Caracas.

Tarbutk, Edward. Lutgens, Frederick. (2005). **CIENCIAS DE LA TIERRA. UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA FÍSICA**. 26 de diciembre de 2022,  
[<http://www.osop.com.pa/wp-content/uploads/2014/04/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>]

Twiss, R. J. y Moores. E. M. (2007) **STRUCTURAL GEOLOGY** . England: W. H.

Toselli Alejandro J. (2010) **ELEMENTOS BASICOS DE PETROLOGIA IGNEA**. Instituto Superior De Correlación Geológica (INSUGEO), Argentina, pp 225

Van der Plujim, B. A., y Marshak, S. (2004) **EARTH STRUCTURE: AN INTRODUCTION TO STRCUTURAL GEOLOGY AND TECTONICS**. W.W Norton y Company, Inc, New York.

Yáñez, G. (1985) **GEOPEDOLOGÍA. ELEMENTOS DE GEOMORFOLOGÍA PARA ESTUDIOS DE SUELOS Y DE RIESGOS NATURALES**. Consulta realizada el 12 de enero del 2023. [[www.itc.nl/libraly/papers\\_2012/general/Zinck\\_geopedologia\\_2012.pdf](http://www.itc.nl/libraly/papers_2012/general/Zinck_geopedologia_2012.pdf)].

Wolfgang, G. (2001). **DIAGRAMA DE ROSAS O ROSETA DE DIACLASAS**. En línea 2016, 21 de agosto. Disponible en: [<http://www.geovirtual.cl/Geoestructural/prak03.htm>]

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

|               |   |
|---------------|---|
| <b>TÍTULO</b> | <b>CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL DEL SECTOR DE LA POZA EL SOLDADO, RÍO MARHUANTA, PARROQUIA MARHUANTA, MUNICIPIO BOLIVARIANO ANGOSTURA DEL ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA</b> |
|---------------|---|

**AUTOR (ES):**

| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>       | <b>CÓDIGO CVLAC / E MAIL</b>  |
|----------------------------------|---|
| López Hidalgo Neginoth Angelinet | <b>CVLAC: 0424-9367364</b><br><b>E MAIL: angelinetlopez@gmail.com</b> |
| Bordones Bonalde Ramón Eloy      | <b>CVLAC: 0412-8396933</b><br><b>E MAIL: bordones28eloy@gmail.com</b> |

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Rio Marhuanta  
Diaclasas  
Gneiss  
Foliaciones  
Diagramas de rosetas  
Complejo de Imataca  
Suelo Residual

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

| <b>ÁREA y/o DEPARTAMENTO</b> | <b>SUBÁREA y/o SERVICIO</b> |
|------------------------------|-----------------------------|
| Dpto. de Geología            |                             |

**RESUMEN (ABSTRACT):**

El área de estudio se localiza al sureste de Ciudad Bolívar, en la parroquia Marhuanta, del municipio Angostura, estado Bolívar, en el río Marhuanta, sector Poza El Soldado. Tiene como finalidad la caracterización geológica – estructural. Es una investigación de tipo descriptiva y con un diseño documental y de campo. Se recolectó información en 5 afloramientos, ubicadas en el Complejo de Imataca. Se recolectaron 9 muestras de rocas; de ellas a 6 se les realizó el análisis mineralógico macroscópico. Cada estación se ubicó con las coordenadas U.T.M; y se midieron los rumbos de las diaclasas, foliación y diques. Se utilizó la hoja cartográfica 7540 (Marhuanta) a escala 1:100.000 e imágenes de Google Earth. Se procesó los datos de las estructuras con la aplicación stereonet para los diagramas de rosetas; Se analizaron los sistemas de diaclasas de 4 datos de foliaciones y 12 datos de diaclasas. El mapa geológico se elaboró con datos de campo. Los resultados obtenidos indican la presencia de 2 unidades estratigráficas en la zona: el Complejo de Imataca que se caracteriza por gneises cuarzosos - biotíticos – anfibolíticos, gneises biotíticos – cuarzosos, gneises feldespáticos - cuarzosos – biotíticos y gneises cuarzosos – biotíticos; y los suelos residuales de Imataca, que se caracterizan por presentar fragmentos de cuarzo y cuarcitas ferruginosas. Mineralógicamente los gneises cuarzosos - biotíticos – anfibolíticos presentan: Cuarzo 30%, Plagioclasas 30%, Mica biotita 15%, Anfíbol 15% y Piroxenos 10%; los gneises biotíticos – cuarzosos: Mica biotita 40 a 50%, Plagioclasas 30% y Cuarzo 20 a 30%; gneises feldespáticos - cuarzosos – biotíticos: Plagioclasas 30%, Feldespatos 30%, Cuarzo 20% y Mica biotita 20% y los y gneises cuarzosos – biotíticos: Plagioclasas 40%, Cuarzo 35%, Mica biotita 20% y Feldespatos 5% y suelos residuales de Imataca. Las foliaciones en el afloramiento A1 tiene azimut de 78°, en A2 y A3, de 114° y 115°, respectivamente y en A4 de 90°; determinándose que entre los azimut de las foliaciones de la zona, hay con un ángulo entre ellas de 37°; esta diferencia podría estar asociado a plegamiento. De acuerdo al diagrama de roseta con todos los datos de campo, en azimut, existen 2 grandes sectores de direcciones predominantes en el área de estudio, de 20° a 310° y de 80° a 100°. El patrón geométrico de los sistemas de diaclasas es subparalelo, ortogonal y conjugado, y la dirección de los esfuerzos son NW-SE y N-S. En el mapa geológico la unidad del de Complejo de Imataca ocupa el 20% del área de estudio y la unidad de suelos residuales el 80% del área.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b> | <b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b> |                              |            |           |            |
|----------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------|-----------|------------|
| <b>Rivadulla Rosario</b>   | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                    | <b>ASx</b> | <b>TU</b> | <b>JU</b>  |
|                            | <b>CVLAC:</b>                      | 0424-9025980                 |            |           |            |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      | udorivadulla@gmail.com       |            |           |            |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      |                              |            |           |            |
| <b>Acosta Enrique</b>      | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                    | <b>AS</b>  | <b>TU</b> | <b>JUx</b> |
|                            | <b>CVLAC:</b>                      | 0416-1858371                 |            |           |            |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      | EnriqueLuisAcosta6@gmail.com |            |           |            |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      |                              |            |           |            |
| <b>Salazar Edixón</b>      | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                    | <b>AS</b>  | <b>TU</b> | <b>JUx</b> |
|                            | <b>CVLAC:</b>                      | 0414-3857209                 |            |           |            |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      | edixonsal@hotmail.com        |            |           |            |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      |                              |            |           |            |
|                            | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                    | <b>AS</b>  | <b>TU</b> | <b>JU</b>  |
|                            | <b>CVLAC:</b>                      |                              |            |           |            |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      |                              |            |           |            |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      |                              |            |           |            |
|                            | <b>ROL</b>                         | <b>CA</b>                    | <b>AS</b>  | <b>TU</b> | <b>JU</b>  |
|                            | <b>CVLAC:</b>                      |                              |            |           |            |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      |                              |            |           |            |
|                            | <b>E_MAIL</b>                      |                              |            |           |            |

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

|             |            |            |
|-------------|------------|------------|
| <b>2024</b> | <b>02</b>  | <b>26</b>  |
| <b>AÑO</b>  | <b>MES</b> | <b>DÍA</b> |

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****ARCHIVO (S):**

| NOMBRE DE ARCHIVO  | TIPO MIME |
|--|-----------|
| Trabajo de Grado <b>CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL DEL SECTOR DE LA POZA EL SOLDADO, RÍO MARHUANTA, PARROQUIA MARHUANTA, MUNICIPIO BOLIVARIANO ANGOSTURA DEL ORINOCO, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.doc</b> | . MS.word |
|  |           |
|  |           |

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** PARROQUIA MARHUANTA, MUNICIPIO ANGOSTURA DEL ORINOCO, CIUDAD BOLIVAR, ESTADO BOLIVAR.

**TEMPORAL:** 6 AÑOS.

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Geología

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado.

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Ciencias de la Tierra

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda "SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELLECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009".

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA

RECIBIDO POR *[Firma]*

FECHA *05/08/09* HORA *5:20*

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*[Firma]*  
JUAN A. BOLANOS CUAJELA  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telemática, Coordinación General de Postgrado.

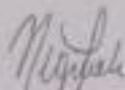
JABC/YGC/manuja

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

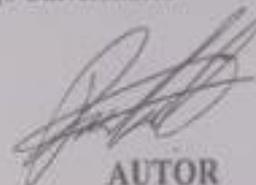
De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado (Vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009)

“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario “



AUTOR

López Neginoth  
C.I. 23.731.051



AUTOR

Bordones Ramón  
C.I. 24. 038.933



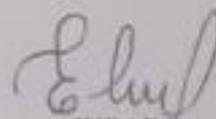
TUTOR

Rosario Rivadulla  
C.I. 3.825.175



JURADO

Enrique Acosta  
C.I. 5.082.874



JURADO

Edixón Salazar  
C.I. 4.910.127

POR LA COMISIÓN DE TESIS