

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DE LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES EN LAS HOJAS CARTOGRÁFICAS DE TIMOTES (6042) Y LA AZULITA (5942) COMO HERRAMIENTA EN LA PROSPECCIÓN MINERA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por la Br. Piñero R.

Licelly K.

Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, Octubre de 2022

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DE LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES EN LAS HOJAS CARTOGRÁFICAS DE TIMOTES (6042) Y LA AZULITA (5942) COMO HERRAMIENTA EN LA PROSPECCIÓN MINERA

TUTOR ACADÉMICO: Msc. Jesús Monsalve

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Geól. Víctor Barrile

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por la Br. Piñero R.

Licelly K.

Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, Octubre de 2022

Caracas, 26 de octubre de 2022

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la **Br. Licelly Katherin Piñero Roa**, titulado:

“Análisis de lineamientos estructurales en las hojas cartográficas de Timotes (6042) y La Azulita (5942) como herramienta en la prospección minera”

consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducentes al título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas del autor, lo declaran **APROBADO**.



Prof. Enrique Toribio
Jurado



Prof. Mauricio Hernández
Jurado



Prof. Jesús Monsalve
Tutor Académico

DEDICATORIA

A Dios por llevarme siempre de su mano y no dejarme sola jamás.

A mi mami que siempre apostó a mí, este sueño también es tuyo.

A mi hermana y mi sobrina por ser parte de mi motivación a ser mejor cada día.

A mi familia por siempre estar pendiente para apoyarme y ayudarme en lo que fuera necesario.

A mis amigos que siempre estuvieron conmigo, este sueño también es de ustedes.

A mi tío Domingo, gracias por todo el apoyo, hubiese querido que estuvieras en mi graduación, pero sé que desde el cielo me estás viendo con mucho orgullo.

A mi rubio por estar conmigo en las buenas y no tan buenas, *Siempre Juntos*.

¡Insistir, persistir, y nunca desistir!

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias primeramente a Dios por siempre estar conmigo y nunca dejarme sola en los momentos en que más lo he necesitado, como dice en Isaías 41, “No temas porque yo estoy contigo, no tengas miedo porque yo soy tú Dios. Siempre te ayudaré y siempre te sostendré con la diestra de mi justicia”.

Quiero agradecer infinitamente a la Universidad Central de Venezuela por haberme enseñado tantas cosas, no solo a nivel académico sino que también contribuyó a forjar mi personalidad y carácter.

Muchas gracias a mis tutores, el profesor Jesús Monsalve por siempre estar para mí y siempre tener una palabra de aliento en medio de mis crisis existenciales y por siempre corregirme a tiempo, al Ingeniero Victor Barrile por siempre motivarme y enseñarme muchas cosas. Les agradezco enormemente este tiempo compartido.

Gracias a mis profesores del Ciclo Básico, Fredy Pérez y Héctor La Rosa, por su orientación y adiestramiento en mi carrera universitaria y de igual forma muchas gracias a mis profesores de la escuela Toribio, Alezones, Ruthman, Alba, Katerine, María Lorente entre muchos otros que aprecio muchísimo.

Le doy gracias a mi mamá por siempre ayudarme y apoyarme a lo largo de mi vida, me siento muy feliz por verte orgullosa de mí. Este sueño de ser Ingeniero también es tuyo y me complace decir que: Mami lo logré, tu hija ya es INGENIERO, te amo con todo mi ser.

Le doy gracias a mi hermana Albani por ser mi compañera de aventuras desde pequeñas y por siempre apoyarme para lograr este sueño. Aún más gracias te doy por el regalo más bonito que me has dado, mi sobrina Angelina, ella también es mi motivación para ser cada día mejor. Las amo con todo mi corazón.

Le doy gracias a mi papá por darme la vida y por creer en mí. A toda mi familia que siempre estuvo pendiente de mí.

Quiero dar gracias a mi prima Lili por ayudarme a irme de Campo Largo y por mi Canaima. Sin ella muchos trabajos realizados hubiesen sido más difíciles de hacer. Te agradezco por siempre creer en mí. También quiero agradecerle a mi padrino por ayudarme en muchísimas ocasiones y por ayudarme a comprar parte de mi laptop, sin ella hacer la realización de mi tesis hubiese sido más complicada de lo que ya fué.

Gracias a mi Rubio por tu amor incondicional, por siempre estar para mí, por todas tus enseñanzas, apoyo en las noches de traspasos y días de ansiedad. A ti muchísimas gracias. Porque siempre estuviste pendiente de mí, desde Campo Corto siendo mi preparador y por siempre siendo compañeros de Vida. *Siempre Juntos*. De igual forma gracias a tu familia que ahora también es la mía, gracias a Chepinita por todo su amor, apoyo y comprensión, a Madrina a Anto y todos los que siempre tenían para mí una palabra de aliento.

Le agradezco a la hermana que me mandó Dios hace muchos años atrás, mi mejor amiga Jairelis, estuviste conmigo desde el comienzo de mi carrera y viviste en carne propia todos los sacrificios que hice para lograr esta meta tan anhelada. Gracias por ayudarme en muchas materias, gracias por estar en mis crisis existenciales, gracias por llenarme de muchas alegrías. A ti, te amo muchísimo ami de mi corazón y gracias a tu familia hermosa por siempre apoyarme y mantenerme en sus oraciones.

A mi prima hermana Made que también amo mucho, gracias por todo tu amor y por acompañarme y siempre apoyarme en esta travesía.

Le agradezco a mi mejor amigo Jesús Salas por siempre sacar un espacio para mí, por ayudarme, por quererme mucho, por todas las risas juntos, por todas las experiencias vividas, por ser incondicional para mí y a tu familia por ser tan linda conmigo y siempre tenerme presente.

Le agradezco a Dios por haber puesto en mi camino a mi mejor amiga Saira, la mejor compañera de Geomorfo que hubiese podido tener. Gracias por tu amistad incondicional y por todo el apoyo que me has brindado.

A mis amigos de la universidad Bombero, Yelaine, Geilin, Karleidy, Castillo, Ota, Henry, Josmel, Leo, La Gocha y a todos mis amigos de la universidad, por todas las experiencias vividas y por haber hecho de mis días de universidad las mejores.

Gracias a mi amiga Anny y a su familia por haberme apoyado durante varios semestres y tratarme con parte de su familia

Gracias a mi amigo Marlon que siempre creyó en mí y a su familia por quererme mucho.

Gracias a mi súper amiga Vicky por hacer más feliz muchos momentos tristes y siempre tener palabras de aliento. Te Adoro bb.

Gracias a Ingeomin por haberme permitido realizar mi TEG junto a ellos especialmente a la Gerencia de Investigación y a la Gerencia de Información, a mis amigos y compañeros que me regalo este instituto, muchas gracias por el apoyo.

Y finalmente a todas las personas que de una u otra forma siempre me brindaron su apoyo y nunca dejaron de creer en mí.

PIÑERO R. LICELLY K.

**“ANÁLISIS DE LINEAMIENTOS ESTRUCTURALES EN LAS
HOJAS CARTOGRÁFICAS DE TIMOTES (6042) Y LA AZULITA
(5942) COMO HERRAMIENTA EN LA PROSPECCIÓN
MINERA”**

**Tutor Académico: Prof. MSc. Jesús Monsalve. Tutor Industrial: Ing. Geól.
Víctor Barrile. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de
Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2022, p.142**

Palabras Clave: Lineamientos, sensores remotos, Alos Palsar, imágenes de radar
sombreamiento multidireccional, Cordillera de Mérida, La Azulita, Timotes, densidad
de lineamientos, áreas propuestas.

RESUMEN

En la actualidad, la creciente población y el avance de la tecnología conllevan al consumo excesivo de los recursos finitos del planeta, se estima que para finales del siglo XX mas de la mitad de estos recursos ya fueron explotados, es por ello que la búsqueda de nuevos yacimientos se hace cada vez más difícil. Este proyecto nace en el Instituto Nacional de Geología y Minería como parte del Plan Nacional de Geología cuya finalidad es conocer todos los recursos y reservas de la Nación. El mismo consiste en analizar lineamientos estructurales en el área que ocupa las Hojas Cartográficas de La Azulita (5942) y Timotes (6042) como herramienta de prospección minera utilizando herramientas SIG con el objetivo de encontrar zonas de mayor densidad que puede estar asociado a lugares mineralizados. Para la extracción de los lineamientos se utilizaron cinco escenas de imágenes de radar del satélite Alos Palsar con resolución 12,5 m con el que se aplicó técnicas de iluminación multidireccional para resaltar el relieve. En total se extrajeron 1071 lineamientos de forma manual clasificados según

su longitud, intersección y tendencias y por medio de la densidad de lineamientos se delimitaron las zonas de mayor probabilidad para encontrar mineralizaciones. Esta información se analizó con respecto a la geología-estructural y el registro histórico. En base a este análisis se propusieron seis zonas con un área total de 1056 Km². Cabe destacar que algunas de estas zonas son parque nacional y no puede realizarse actividades mineras, por ende este proyecto sirve como aporte académico y es correlacionable con otras zonas de estudio.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| Contenido | |
| CAPÍTULO I | 1 |
| I.1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN | 2 |
| I.1 UBICACIÓN | 2 |
| I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 4 |
| I.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 6 |
| I.3.1 Objetivo general | 6 |
| I.3.2 Objetivos específicos | 6 |
| I.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 7 |
| I.5 ALCANCE Y LIMITACIONES | 7 |
| CAPÍTULO II | 9 |
| FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 9 |
| II.1 ANTECEDENTES | 9 |
| II.1.1 Antecedentes relacionados con la geología | 9 |
| II.1.2 Antecedentes relacionados con sensores remotos | 11 |
| II.1.3 Extracción de lineamientos | 11 |
| II.2 MARCO TEÓRICO | 13 |
| II.2.1 Lineamiento | 13 |
| II.2.2 El Sistema de Teledetección | 13 |
| II.2.3 Aplicaciones de la teledetección | 14 |
| II.2.4 Sensores remotos | 15 |
| II.2.5 Sistema de información geográfica | 15 |
| II.2.6 Componentes de un SIG | 16 |
| II.2.7 Imagen satelital | 16 |
| II.2.8 Imágenes satelitales: Sensor LANDSAT-8 | 18 |
| II.2.9 Misión ALOS PALSAR (Phased Array tipo L-band Synthetic Aperture Radar) | 18 |
| II.2.10 Especificaciones técnicas de PALSAR. Modos de haz | 19 |
| II.2.11 Modelo de Elevación Digital (MED) | 20 |
| II.2.12 Mapa de densidad de lineamientos | 21 |
| II.2.13 Ángulo azimut | 21 |

| | |
|---|-----------|
| II.2.14 Sistemas Transcurrentes. | 21 |
| III.1 MARCO GEOLÓGICO | 24 |
| III.1.1 Geología Regional | 24 |
| III.1.1.1 PRECÁMBRICO | 27 |
| III.1.1.2 PALEOZOICO | 28 |
| III.1.1.3 MESOZOICO | 31 |
| SUCESIÓN MESOZOICO-CENOZOICO | 42 |
| III.1.1.4 CENOZOICO | 42 |
| III.1.2 Geología Estructural | 51 |
| CAPÍTULO III | 55 |
| MARCO METODOLÓGICO | 55 |
| III.1 Etapa 1. Recopilación y validación de información | 55 |
| III.1.1 Descarga de Imágenes de Radar Alos Palsar | 56 |
| III.1.2 Softwares utilizados | 56 |
| III.1.3 Parámetros de proyección | 57 |
| III.1.4 Georeferenciación de mapas | 57 |
| III.1.5 Base de datos minera del área de estudio (registro histórico) | 58 |
| III.2 Etapa 2. Generación de mapas base | 59 |
| III.2.1 Selección del área de estudio | 59 |
| III.2.2 Digitalización y actualización de mapa base | 59 |
| III.3 Etapa 3. Extracción y caracterización de lineamientos | 60 |
| III.3.1 Mapas de Sombras (Hillshade) | 61 |
| III.3.2 Extracción de lineamientos | 63 |
| III.3.3 Mapa de pendientes | 65 |
| III.3.4 Clasificación de lineamientos según su longitud | 65 |
| III.3.5 Clasificación de lineamientos según su intersección | 65 |
| III.4 Etapa 4. Densidad y análisis de orientaciones | 66 |
| III.4.1 Densidad de lineamientos | 66 |
| III.4.2 Orientación de los lineamientos | 66 |
| III.4.3 Clases de orientaciones | 67 |
| III.4.4 Diagramas de frecuencia | 68 |
| III.4.5 Histogramas de frecuencia | 68 |

| | |
|---|------------|
| III.5 Etapa 5. Interpretación de lineamientos e integración de resultados | 68 |
| CAPÍTULO IV | 69 |
| ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS | 69 |
| IV.1 Mapa topográfico y mapas temáticos | 69 |
| IV.1.1 Mapa Topográfico | 69 |
| IV.1.2 Mapa de cuencas | 73 |
| IV.1.3 Mapa de zonas de protección | 76 |
| IV.1.4 Mapas geológicos | 78 |
| IV.2 Registro histórico | 80 |
| IV.2.1 Tabla de registro histórico | 80 |
| IV.2.2 Mapa de registro histórico | 89 |
| IV.3 Generación de lineamientos | 91 |
| IV.3.1 Mapas de sombras | 91 |
| IV.3.3 Mapa de lineamientos generalizado | 100 |
| IV.4 Análisis de lineamientos | 102 |
| IV.4.1 Mapa de lineamientos clasificados según su longitud | 102 |
| IV.4.2 Mapa de intersección | 102 |
| IV.4.3 Mapa de tendencias | 103 |
| IV.4.3 Tabla de orientaciones | 103 |
| IV.4.8 Caracterización de los lineamientos en función de su longitud, tipo de contactos y orientaciones | 105 |
| IV.4.4 Histograma de frecuencia | 111 |
| IV.4.6 Mapa de densidad de lineamientos general y combinada | 112 |
| IV.4.7 Mapas de densidad según su tendencia | 114 |
| IV.5 Posibles zonas prospecto de interés minero | 114 |
| IV.5.1 Análisis de densidad de lineamientos Vs Registro Histórico | 114 |
| IV.5.2 Análisis de densidad de lineamientos con respecto al marco geológico-estructural | 118 |
| IV.6 Zonas prospectivas | 124 |
| CAPÍTULO VI | 130 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 130 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 134 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio. Fuente: Elaboración propia haciendo uso de las Hojas Cartográficas 5942 y 6042 | 3 |
| Figura 2. Modo de haz del satélite Alos Palsar. Tomado de la página oficial de la Nasa | 20 |
| Figura 3. Estructuras asociadas con las fallas rumbo deslizantes y su orientación relativa al sentido de cizalla en la falla. Twiss y Moores, (1992), Tomado de (Luna 2019) | 23 |
| Figura 4. .Secuencias de depósito paleozoicas y mesozoicas-cenozoicas. Tomado de Parnaud <i>et al.</i> 1995..... | 26 |
| Figura 5. Esquema temporal del Paleozoico Temprano-Media de eventos ígneos y metamórficos en el Complejo Iglesias (Andes de Mérida) y ambientes tectónicos del noroeste de Gondwana. CB: Bloque Caparo, MA: Andes Merida, SM: Macizo Santander, AF: Falla Apure. SCLM: Manto atmosférico subcontinental. Tomado de Tazzo <i>et al.</i> , (2018). | 29 |
| Figura 6 . Paleogeografía de la secuencia depositacional Aptiense K1. Leyenda: 1. Napa de Lara, posición actual; 2. Áreas positivas; 3. Clásticos cercanos a la costa; 4. Carbonatos y esquistos de la plataforma interna 5. Carbonatos y lutitas de plataforma intermedia; 6. Contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud <i>et al.</i> 1995..... | 36 |
| Figura 7. Paleogeografía de la secuencia depositacional K2 del Albiense al Cenomaniense inferior. Leyenda: 1. Napa de Lara posición actual; 2. Áreas positiva; 3. Clásticos cercanos a la costa.; 4. Carbonatos y lutitas de plataforma interna a media; 5. Contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud <i>et al.</i> 1995..... | 37 |
| Figura 8. Paleogeografía en la parte superior de la secuencia depositacional K2 del Albiansense al Cenomaniense inferior. Leyenda: 1: Napa de Lara, posición actual; 2. Áreas positivas; 3: clásticos cercanos a la costa; 4. Areniscas y carbonatos de la plataforma inferior; 5. Carbonatos y lutitas de plataforma media. Tomado de Parnaud <i>et al.</i> 1995. | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 9. Paleogeografía de las secuencias depositacionales K3, K4 y K5 del Cenomaniense superior al Campaniense inferior. Leyenda: 1. Napa de Lara posición actual; 2: áreas positivas; 3: clásticos cercanos a la costa; 4: areniscas y carbonatos de plataforma interna a media; 5: plataforma exterior a carbonatos y lutitas batiales superiores; 6: contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud <i>et al.</i> 1995. | 40 |
| Figura 10. Paleogeografía de las secuencias depositacionales K6 del Trichtiano Campaniano Superio- Maas. Leyenda: 1. Napa de Lara posición actual; 2: áreas positivas; 3: clásticos cercanos a la costa inferior a medio; 4: lutitas de la plataforma exterior y areniscas escasas; 5: contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud <i>et al.</i> 1995. | 42 |
| Figura 11. Paleogeografía de las secuencias depositacionales T1 del Paleoceno Superior-Eoceno Inferior. Leyenda: 1. Napa de Lara posición actual; 2: áreas positivas; 3: clásticos continentales a deltaicos; 4: areniscas y lutitas de plataforma interior a exterior; 5: batial con turbiditas, lutitas y areniscas escasas; 6: contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud <i>et al.</i> 1995. | 43 |
| Figura 12. Paleogeografía de las secuencias de depósitos T2 y T3 del Eoceno Medio. Leyenda: 1. Napa de Lara posición actual; 2: áreas positivas; 3: areniscas y pizarras de plataforma interior a media; 4: plataforma exterior a lutitas batiales; 5: contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud <i>et al.</i> 1995. | 45 |
| Figura 13. Paleogeografía de las secuencias depositacionales T4 y T5 del Eoceno Superior-Oligoceno. Leyenda: 1. Napa de Lara, posición actual; 2: áreas positivas 3. Areniscas lacustres a salobres, lutitas y carbón. 4: deltaica con influencia marina, areniscas y lutitas. Tomado de Parnaud <i>et al.</i> 1995. | 47 |
| Figura 14. Paleogeografía de las secuencias depositacionales T7 del Mioceno medio-Pleistoceno relacionada con la orogénesis andina. Leyenda: 1. Napa de Lara, posición actual; 2: áreas positivas; 3.: depocentro molásico 4: deltáica con influencia marina, areniscas y lutitas. Tomado de Parnaud <i>et al.</i> 1995. | 48 |
| Figura 15. Columna de correlación estratigráfica de Los Andes venezolanos. Tomado de Guerrero, O. (2019) | 51 |

| | |
|---|----|
| Figura 16. Principales rasgos Neotectónicos a los largo de Los Andes de Mérida. Tomado de Audemard, F. (2003)..... | 54 |
| Figura 17. Esquema metodológico de la investigación..... | 55 |
| Figura 18. Modelo de Elevación Digital..... | 61 |
| Figura 19. Representación de clases de dirección (Azimut). Tomado de Olivera <i>et al.</i> 2009..... | 67 |
| Figura 20. Mapa base de la zona de estudio correspondiente con La Azulita y Timotes. | 72 |
| Figura 21. Mapa de cuencas de la zona de estudio La Azulita-Timotes. CI: dominado por el Rio Tucaní, Frio y Capaz; CII: dominado por el Rio Santo Domingo; CIII: dominado por el Rio Motatán y CIV: dominado por el Rio Chama..... | 75 |
| Figura 22. Mapa de zonas de protección..... | 77 |
| Figura 23. Mapa Geológico de La Azulita y Timotes..... | 79 |
| Figura 24 Mapa de Registro Histórico. Información obtenida en la Biblioteca Zonia Osorio del INGEOMIN..... | 90 |
| Figura 25. Mapas de sombras con ángulo vertical constante entre 40° y 45° y variación de ángulo azimutal cada 45°..... | 91 |
| Figura 26. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo azimutal 0°-90°-180°-270°..... | 94 |
| Figura 27. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo azimutal 45°-135°-225°-315°..... | 95 |
| Figura 28. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo Azimutal 45°-90°-135°..... | 96 |
| Figura 29. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo azimutal 135°-180°-225°..... | 97 |
| Figura 30. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo azimutal 225°-270°-315°..... | 98 |
| Figura 31. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo azimutal 0°-45°-315°..... | 99 |

| | |
|---|-----|
| Figura 32. Comparación de mapas de sombras de diferentes satélites para extraer los lineamientos que se encuentran en la Cuenca del Lago de Maracaibo. A: Mapa de Sombras SRTM con resolución 30 m y B: Mapa de sombras con lineamientos interpretados para esa zona. | 100 |
| Figura 33. Mapa de lineamientos generalizado. Los lineamientos mostrados son producto de las combinaciones de sombras. | 101 |
| Figura 34. Datos estadísticos del diagrama de rosas de la zona de estudio | 105 |
| Figura 35. Mapa de lineamientos clasificados según su longitud..... | 108 |
| Figura 36. Mapa de intersección de lineamientos..... | 109 |
| Figura 37. Mapa de lineamientos con sus tendencias predominantes..... | 110 |
| Figura 38. Histograma de frecuencias. Se aprecian los picos más altos asociados a las tendencias de la zona de estudio | 111 |
| Figura 39. Mapa de densidad de lineamientos con sus respectivas envolventes | 113 |
| Figura 40. Mapas de densidad según su tendencia | 114 |
| Figura 41. Comparación de deformación entre una roca frágil Vs roca dúctil. Tomado de Vallejo <i>et al.</i> 2004 | 119 |
| Figura 42. Comparación entre diagrama de tendencias de los lineamientos y el modelo de Wilcox. Wilcox <i>et al.</i> , (1973)..... | 122 |
| Figura 43. Mapa de Tendencias de lineamientos Vs Fallas | 123 |
| Figura 44. Propuesta de mapa de prospección..... | 128 |
| Figura 45. Propuesta de zonas prospecto Vs Zonas protegidas | 129 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Ubicación de los límites de la zona de estudio | 3 |
| Tabla 2. Parámetros de los mapas de sombras realizados cada 45°. Los parámetros corresponden con el ángulo azimutal y ángulo vertical con respecto al sol | 62 |
| Tabla 3. Tabla de registro histórico..... | 81 |
| Tabla 4. Relación porcentual en abundancia, orientación y tipos de intersección (X, V y T) según su orden | 106 |

CAPÍTULO I

I.1 INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología y la creciente población conlleva el incremento del consumo de los recursos de nuestro planeta. Se estima que para finales del siglo XX más de la mitad de los grandes yacimientos minerales ya habían sido explotados, es por ello que la búsqueda de nuevos yacimientos para su exploración futura se hace cada vez más difícil, por ende el análisis de lineamientos nace con la finalidad de implementar una técnica de prospección minera innovadora basada en herramientas de teledetección. En 1951, Gross define a los lineamientos como características fisiográficas dispuestas en línea recta o suavemente curvas en la superficie de la tierra y Sonder (1938), la define como direcciones definidas contenidas en la tectónica, la unión y el relieve.

La idea fundamental de esta técnica es detectar los diferentes lineamientos, como expresión de sistemas de fallas, diaclasas, pliegues, fracturas, entre otros, mediante la aplicación de diferentes técnicas de realce en las imágenes satelitales y modelos de elevación digital. La capacidad de interpretación de los lineamientos depende de los efectos de iluminación como el ángulo azimutal del sol, ángulo de declinación y dirección de la vista (Koike, K. *et al*, 1998). Esta técnica también es de utilidad, tanto para la exploración geológica minera y petrolera como para la zonificación de amenazas naturales.

Ahora bien, esta técnica será utilizada en este proyecto específicamente en el área que abarca las hojas cartográficas a escala 1:100.000 de La Azulita (5942) y Timotes (6042) ubicadas en la cordillera andina de Venezuela. Se utilizarán herramientas de teledetección que nos permitan visualizar, identificar y analizar los rasgos morfoestructurales de la superficie de la zona de estudio, utilizando imágenes de radar para obtener modelos de elevación digital (DEM).

Conjuntamente se van a caracterizar los lineamientos mediante el uso de diagramas de frecuencia, tipos de contacto en las intersecciones y las orientaciones principales de los lineamientos, para que toda esta información más el análisis topográfico, estructural y geológico de la zona nos permita vislumbrar zonas con posibilidad de encontrar posibles mineralizaciones y de esta manera proponer lugares previamente delimitados con el objetivo de disminuir costos en las actividades de campo (Valls, R.,2021).

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.1 UBICACIÓN

La zona de estudio se encuentra ubicada en la región Norte de Los Andes en el occidente del país, entre los estados Mérida, Zulia, Barinas y Trujillo. Específicamente ocupa el área de las hojas cartográficas a escala 1:100.000 de La Azulita (5942) y Timotes (6042) según el índice de cartografía nacional. Algunos de los poblados que se encuentran en el área de estudio son: La Azulita, El Valle, Apartaderos, Chachopo y Timotes, distribuidos a lo largo de la troncal 7 como se observa en la Figura 1. La zona de interés ocupa un área de aproximadamente 4.056 Km².

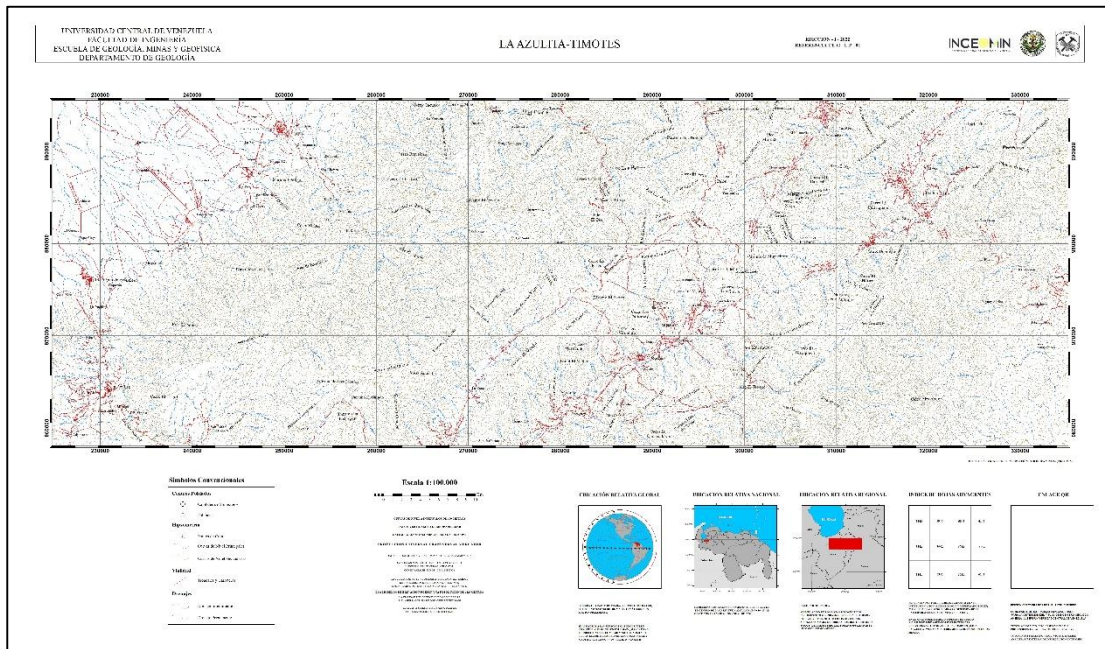


Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio. Fuente: Elaboración propia haciendo uso de las Hojas Cartográficas 5942 y 6042

En la Tabla 1 se anexan las coordenadas UTM de los límites de la zona de estudio, tomando en cuenta que corresponde a la unión de las hojas 5942 y 6042. Los mismos están ordenados de la siguiente manera:

Tabla 1. Ubicación de los límites de la zona de estudio

| Punto | E | N | Pto. de referencia |
|-------|------------|------------|--------------------------|
| 1 | 225131,511 | 995790,714 | Cuenca Lago de Maracaibo |
| 2 | 335110,983 | 995189,881 | Páramo de Motumbo |
| 3 | 224884,204 | 958904,999 | La Azulita |
| 4 | 334962,748 | 958325,725 | Pagüey |

I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años la demanda de materias primas ha aumentado debido al crecimiento demográfico, colocando aún más de manifiesto la necesidad de buscar implementar y optimizar procesos que mejoren la actividad minera. Dicha necesidad abre nuevos campos de investigación para mejorar estas actividades.

Venezuela históricamente ha dependido de la renta petrolera, pero en la actualidad para tratar de revertir esa situación está desarrollando nuevos proyectos mineros que sean innovadores, tales como las herramientas de teledetección y los sensores remotos, que permiten obtener información, tomando y analizando datos sin que los instrumentos utilizados estén en contacto directo con el objeto (Álzate, 2001). Resultan muy importante estas herramientas porque nos permite reducir costos y tiempo, debido a que los proyectos mineros son altamente costosos.

La palabra lineamiento fue definida por Hobbs en 1904 como una representación cartográfica simple o compuesta de una línea en la superficie, cuyas partes están alineadas en una recta o en una curva suave. Los lineamientos se diferencian claramente de características contiguas y puede reflejar un fenómeno de la superficie (O'Leary *et al.*, 1976), se pueden visualizar en mapas, modelos topográficos, fotografías aéreas e imágenes satelitales y pueden tener una longitud de metros a kilómetros. Por lo general, son causados por factores estructurales, estratigráficos, sedimentarios, petrográficos o combinaciones de estos (Baquero, 2012).

Valls, R. (2021) en su conferencia explica el método de búsqueda de depósitos minerales mediante la búsqueda de lineamientos como una herramienta de prospección que sirve para delimitar zonas de posibles mineralizaciones. Esta técnica se utilizó para encontrar diamantes en Canadá entre el 2000 al 2002, Esmeraldas en Boyacá, Colombia en 2013, un campo petrolífero en Tenesse 2003, entre otros trabajos realizado por el autor.

Koike *et al.* (1998) trabajaron en la interpretación de lineamientos a partir de modelos de elevación digital para revelar conjuntos de azimut dominantes y la densidad de distribución de los lineamientos en un área extensa. Este método se aplicó a una mina de Granito del Cretácico, un área de Andesita del Mioceno y un área de rocas volcánicas del Cuaternario en Japón.

Los autores llegaron a la conclusión de que existe una relación entre la mineralización de oro y el movimiento tectónico, debido a que el azimut de las “fracturas” continuas existentes cerca del depósito coincidía con el azimut de la principal veta de oro. También se concluyó que el azimut predominante se deriva de un depósito de skarn en el área del Granito. El método propuesto se puede aplicar a muchos tipos de imágenes digitales y permite la extracción de una red de fracturas tridimensionales que se pueden utilizar en la exploración de recursos y la evaluación de peligros.

Para utilizar este método en la siguiente investigación, se utilizarán herramientas de teledetección para identificar rasgos morfoestructurales superficiales con el fin de ubicar y dimensionar los lineamientos que actúan como canales de transporte y precipitación de minerales formados por controles estructurales, como por ejemplo los fluidos hidrotermales, intrusiones ígneas, entre otros; estos servirán para identificar las zonas de mayor fracturamiento y posibles áreas de mineralización. Para encontrar los lineamientos se van a considerar las formas expresadas en superficie, la geometría basal, la continuidad de las formas topográficas, el análisis de las pendientes y la orientación de las formas del relieve (Valls, R. 2021) como resultado de procesos tectónicos que están directamente relacionados con los lineamientos.

El objetivo de este proyecto es analizar los lineamientos correspondientes al área de las hojas cartográficas 5942 y 6042 a escala 1:100.000 de La Azulita y Timotes, respectivamente; con la finalidad de encontrar posibles zonas de interés minero. La misma se encuentra ubicado en el sistema de fallas de Boconó, el cual la convierte en una zona potencial para la adquisición y procesamiento de lineamientos. Mediante el análisis de la densidad de los lineamientos interpretados en la superficie, y la

integración con la interpretación topografía, estructural y geológica de la zona se obtendrán como resultado mapas prospectivos en donde se propondrán zonas de interés minero. Cabe destacar que es necesario complementar estos mapas con estudios geoquímicos, geofísicos, entre otros, para disminuir el nivel de incertidumbre en los resultados y también es de suma importancia realizar actividades de campo.

Este proyecto se ejecuta en la Gerencia de Investigaciones Geológicas del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), como parte del proyecto llamado Plan Nacional de Geología del Ministerio de Desarrollo Minero Ecológico cuyo propósito es lograr cuantificar y certificar los recursos y reservas de los minerales metálicos y no metálicos presentes en la Nación mediante la integración de varias áreas de estudio geocientíficas como: estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos.

I.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.3.1 Objetivo general

Analizar los lineamientos estructurales en las hojas cartográficas de Timotes (6042) y La Azulita (5942) como herramienta en la prospección minera.

I.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar rasgos morfoestructurales utilizando Modelos de Elevación Digital (MED) e imágenes satelitales para la obtención y ubicación de los lineamientos estructurales.
2. Analizar los diagramas de frecuencia, tipos de contacto y orientaciones de los lineamientos estructurales mediante el uso de herramientas digitales para la caracterización de las zonas de fracturamiento.
3. Evaluar posibles zonas de interés en base a las características de los lineamientos como aporte a la prospección minera.

I.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El avance de la tecnología y el crecimiento demográfico conlleva al incremento del consumo de los recursos finitos de nuestro planeta, en consecuencia, mayor demanda de materiales y recursos que cumplan con las necesidades de la población. Se estima que para finales del siglo XX más de la mitad de los grandes yacimientos minerales ya fueron explotados, es por ello que surge la necesidad de encontrar nuevos métodos de prospección que nos permitan encontrar zonas mineralizadas con interés económico para poder atender la alta demanda de la población actual. El análisis de lineamientos es una poderosa herramienta que beneficia a la comunidad geocientífica como método innovador para la prospección minera, haciendo uso de herramientas tecnológicas actuales como lo es la teledetección, quedando en claro que los métodos convencionales que ofrece la geología de campo para corroborar la información, siempre serán necesarios de aplicar.

Este proyecto además de aportar información para la prospección minera, también puede ser utilizado para múltiples estudios, entre ellos: realizar caracterizaciones estructurales, proponer edades relativas, determinar estructuras circulares, búsqueda de zonas potenciales de riesgos geológicos, construcción de mapas de actividad geodinámica, entre otras ramas que beneficien a múltiples investigadores en distintas ramas de las geociencias.

I.5 ALCANCE Y LIMITACIONES

El alcance de este proyecto es generar mapas topográficos actualizados, utilizando los modelos de elevación digital y la información que ofrece la cartografía nacional, actualizar los mapas geológicos mediante la información obtenida por la Creole Petroleum Corporation, además de presentar mapas prospectivos de posibles zonas de mineralizaciones. Este trabajo también es una guía metodológica para futuros trabajos que se lleven a cabo en otras regiones del territorio nacional. Cabe destacar

que parte de la zona de estudio corresponde a zonas de protección, la zona abarca el Parque Nacional Sierra de La Culata y Parque Nacional Sierra Nevada, por esta razón no se pueden ejecutar desarrollos mineros, solo actividades de investigación con fines mineros, sin embargo la información obtenida será utilizada con fines académicos y de parte de INGEOMIN se necesita conocer cuáles son los recursos y reservas de la Nación ya que este instituto se encarga de manejar esta información.

En cuanto a las limitaciones, debido a la pandemia que afecta a la humanidad desde el año 2020 y los altos costos de las actividades de campo, en estos momentos es difícil ir hasta la zona de estudio, siendo ésta una etapa fundamental en la prospección minera para validar la información obtenida en este proyecto y darle veracidad a los datos suministrados. Además es necesario añadir investigaciones geoquímicas y geofísicas para tener mayor conocimiento de las posibles zonas de mineralización.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

II.1 ANTECEDENTES

A continuación se presentará la revisión bibliográfica relacionada con el tema a desarrollar en este proyecto. Se considerarán los aportes de investigaciones geológicas de interés para este estudio. Existen proyectos nacionales e internacionales que serán de gran utilidad para la realización del mismo

II.1.1 Antecedentes relacionados con la geología

GALAVIA, F. (1951) junto al Ministerio de Minas e Hidrocarburos efectuó una prospección minera a lo largo de los Andes Venezolanos, específicamente a lo largo de la carretera transandina, entre las ciudades de Boconó (Trujillo) y San Cristóbal. En este informe encontrado en la Biblioteca Zonia Osorio de INGEOMIN se especifican los resultados del estudio realizado entre las poblaciones de Valera (Trujillo) y Timotes (Mérida). Se hicieron mediciones de radioactividad utilizando un contador Geiger Mueller Modelo 263-A. Se encontraron contenidas en vetas hidrotermales, alto porcentaje de plomo (80%), el cual se asume que es el mineral Galena. Este trabajo es una contribución para conocer los minerales que se encuentran en la zona de estudio, como lo es el Plomo en este caso.

En el informe técnico titulado RECURSOS MINERALES DEL ESTADO MÉRIDA (S.F.) proporcionado por INGEOMIN, se hace un estudio de los recursos que se encuentran en el Estado Mérida. Los mismos están reportados en este informe y son los siguientes: Sulfuros Masivos: Zinc, Plomo, Cobre y Plata; Aguas Termales; se reporta una veta de galena argentífera en cristales con alto contenido de plata y pequeñas cantidades de sulfuros en concentraciones masivas en cuarzo lechoso. La mineralización es de tipo hidrotermal, emplazada a través de una falla o fractura que

corta una roca de origen volcánico en contacto discordante con la Formación Sierra Nevada. Estos recursos son reportados en las regiones de Bailadores, Las Tapias, Mérida, Zea, Estanques y Lagunillas. Este informe tiene una contribución muy importante en este proyecto ya que confirma las zonas que están mineralizadas y aporta información veraz para el mapa prospectivo generado en este proyecto.

MOYA, E. (1973), junto al Ministerio de Minas e Hidrocarburos realizó este informe técnico proporcionado por INGEOMIN, el cual consiste en la búsqueda de yacimientos tipo stockwork. En la intersección de dos sistemas de fallas Río Chama y Río Motatán con fallas de segundo orden, existe la presencia de pórfidos e indicios de mineralizaciones cupríferas. Estas características se consideran favorables para la formación de yacimientos del tipo cobre porfídico con posibles asociaciones de metales Pb, Zn y Mo. Se encontraron zonas mineralizadas al sur de Chachopo, Sierra Nevada y la quebrada Corcovada. Este trabajo sirve como aporte al conocimiento de las zonas mineralizadas del área de estudio y así contribuir con la información que se genere a través del mapa prospectivo.

AUDEMARD, F.A. (2003). Este artículo habla acerca de la evolución reciente de la Cordillera de los Andes de Mérida e intenta ubicarlo en el tiempo y el espacio. El autor se basa en el entendimiento del entorno geodinámico actual discutiendo varias fuentes para demostrar la tasa de elevación y juventud de esta cadena montañosa. Este trabajo servirá como aporte fundamental en el entendimiento estructural de la zona de estudio.

HERNÁNDEZ, M. (2021). Realiza un análisis de las fracturas en los cinturones de rocas verdes del Arco Minero del Orinoco. En este trabajo se verifica que las fracturas del cinturón de rocas verdes responden a un comportamiento fractal. Estas fracturas fueron caracterizadas, se calcularon sus direcciones preferenciales mediante diagramas de rosas, se clasificaron las intersecciones según su forma, se ubicaron las fracturas aisladas y concentradas y se hizo la interpretación a partir de estos elementos. Este trabajo sirve de aporte en la caracterización de los lineamientos, y será usado como guía para la clasificación de las intersecciones, y lo concerniente a la parte estadística.

II.1.2 Antecedentes relacionados con sensores remotos

ROMERO, E. (2019) realiza su trabajo de investigación el cual consiste en la actualización cartográfica geológica de una zona ubicada al sureste de Falcón Oriental mediante el uso de imágenes satelitales y herramientas SIG correspondiente a la hoja cartográfica 6448 a escala 1:100.000 de la cartografía nacional. Este trabajo sirve como aporte en la actualización cartográfica y geológica realizada para tener la base correcta para dar cumplimiento con el objetivo general de este proyecto.

II.1.3 Extracción de lineamientos

GHAZI, R. (2013) diseña una metodología para el análisis automático y digital de lineamientos mediante el uso de bandas de Landsat ETM +, MPDI y software PCI Geomatic Line, para generar mapas de lineamientos con sus diagramas de rosas y conocer su longitud, densidad y orientación (análisis geoespacial), con el objetivo de comprender la relación tectónica entre los lineamientos y elementos estructurales del área de estudio. Este trabajo sirve como ejemplo en la extracción de los lineamientos así como también, va a permitir comprender como es la relación que existe entre ellos y la tectónica para aplicarlo a este proyecto.

AVELLANEDA, J. (2015) realiza una caracterización estructural y de lineamientos presentando un análisis estructural de la península de Azuero utilizando lineamientos y datos de campo para caracterizar la zona, dando como resultados la identificación de estructuras y sus orientaciones. Se utilizaron imágenes de radar y por medio de éstas se generaron distintos mapas de sombras con diferentes combinación de ángulos azimutal y vertical. Este trabajo será utilizado como guía en la caracterización de los lineamientos.

SUAREZ, C. Y CANDELA L. (2018) en su trabajo, desarrollan una metodología para la cartografía de lineamientos de origen geológico mediante el análisis y aplicación de técnicas de procesamiento digital de imágenes (TPDI) sobre información satelital, con la finalidad de identificar y facilitar la cartografía de

lineamientos geológicos a escala 1:50.000. Se definen las orientaciones y por medio de un mapa de densidad se muestran las zonas de mayor densidad de lineamientos las cuales las relacionan espacialmente con el área de influencia de las principales fallas geológicas.

HERNÁNDEZ, A. (2018) utiliza técnicas de geomática para documentar la presencia de una posible caldera de colapso, como probable fuente emisora de Ignimbritas. Se utilizaron imágenes de radar Sentinel-1, imágenes multiespectrales Sentinel-2, MED Alos Palsar para definir la zona y mediante el programa Pci Geomatics se realizó la morfología para permitir una mejor visualización de las estructuras y lineamientos presentes. El mismo servirá como aporte en la toma de decisiones para escoger las imágenes satelitales más acordes y el uso del software PCI Geomatics para la obtención de los lineamientos de manera automática.

VALLS, R. (2021, a) en su conferencia enseña el método de los lineamientos como un método para la exploración minera económico y efectivo para encontrar depósitos minerales. En su compañía Valls Geoconsultant han aplicado este método en distintos lugares del mundo para hallar depósitos de esmeraldas, zonas gasíferas, yacimientos de diamantes, depósitos de cobre, entre otros. Este trabajo será utilizado como base para encontrar zonas mineralizadas en este proyecto utilizando parte de su metodología.

KOIKE, K. *et al.* (1998) realizan una construcción y análisis de planos de fractura mediante la combinación de lineamientos extraídos de imágenes de satélite y datos de modelo de elevación digital. Estos lineamientos fueron aplicados a la minería, en base a esto hallaron la orientación y el buzamiento y lograron concluir que las orientaciones preferentes en el área donde afloran las rocas cretácicas están dados por muros de depósitos tipo Skarn, con las orientaciones preferentes del Mioceno, y de esta manera se concluye que están relacionadas a vetas de oro y que las fracturas sirven como conducto para fluidos hidrotermales desde zonas de agua caliente hasta la superficie. Este trabajo es fundamental en este proyecto porque permite darle veracidad a los datos que se obtengan.

II.2 MARCO TEÓRICO

Los fundamentos y conceptos teóricos que permitirán cumplir con los objetivos del presente trabajo serán presentados en esta sección, desarrollando los más relevantes para el cumplimiento de los objetivos señalados anteriormente.

II.2.1 Lineamiento

La palabra "lineamiento" fue introducida por Hobbs (1904) para caracterizar las relaciones espaciales de las características del paisaje que incluían, crestas de crestas o límites de áreas elevadas, líneas de drenaje, líneas costeras y líneas limítrofes de formaciones, de tipos de rocas petrográficas o de líneas de afloramientos. "Un lineamiento es nada más que una característica rectilínea general de la tierra".

Sin embargo, en 1912 añadió una fuerte implicación tectónica a su definición al afirmar: "Muchos lineamientos son idénticos a las líneas sismotectónicas y, por tanto, ofrecen en cierta medida, la determinación de las líneas de mayor peligro de un terremoto".

En O'LEARY, *et al.*, 1976 podemos apreciar que Sonder (1938) comenta que el "lineamiento de una región denota una dirección definida que está contenida en la tectónica, la unión y el relieve" y Gross en 1951 comenta que los lineamientos son: "Las características fisiográficas de línea recta o suavemente curvadas en la superficie de la tierra".

II.2.2 El Sistema de Teledetección

En 1995, Chuvieco define la teledetección como una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, es un modo de obtener información tomando y analizando datos sin que los instrumentos empleados estén en contacto directo con el objeto. (Op cit) menciona que el sistema de teledetección espacial está constituido por los siguientes elementos:

- **Fuente de energía**, supone un creador de la energía que el sensor está detectando, puede tratarse de un actor externo en cuyo caso se habla de teledetección pasiva, o si es emitida por el sensor se habla de teledetección activa, la fuente más importante de energía es el sol.
- **Cubierta Terrestre**, formada por la vegetación, agua, construcciones, suelo, las cuales reflejan la energía generada por la fuente, cada una dependiendo de sus características propias.
- **Sistema Sensor**, compuesto por el sensor en sí, y la plataforma que lo conforma. Tiene el trabajo de captar la energía procedente de la cubierta terrestre y enviarla al centro o base de recepción.
- **Sistema de recepción-comercialización**, donde se recibe la información enviada por el sensor, se graba en un formato adecuado y luego se distribuye a los usuarios.
- **Intérprete**, es el encargado de analizar la información, comúnmente en forma de imágenes digitales para determinar su clave temática para la solución de la situación en estudio.
- **Usuario final**, es el encargado de analizar el documento fruto de la interpretación anterior.

II.2.3 Aplicaciones de la teledetección

En 1995, Chuvieco menciona las distintas aplicaciones de la teledetección según la bibliografía que demuestra su aplicabilidad. Las mismas se mencionan a continuación:

- Estudio de la erosión de playas y arenales
- Verificación y control de calidad física del agua, turbidez y contenido de algas
- Control de movimiento de Gulf-Stream y otras corrientes marinas
- Cartografía de la cobertura vegetal del suelo
- Contribución a la cartografía e inventario de la cobertura y uso del suelo, entre otros.

II.2.4 Sensores remotos

De acuerdo al autor Gupta (2017), los instrumentos de teledetección son de dos tipos principales: activo y pasivo. Los sensores activos proporcionan su propia fuente de energía para iluminar los objetos que observan. Un sensor activo emite radiación en la dirección del objetivo a investigar. El sensor luego detecta y mide la radiación que se refleja o retrodispersa del objetivo. Los sensores pasivos, por otro lado, detectan la energía natural (radiación) emitida o reflejada por el objeto o la escena que se observa. La luz solar reflejada es la fuente más común de radiación medida por sensores pasivos.

Los sensores que captan información en diferentes longitudes de onda, construyen una matriz de datos tridimensionales de variación espacial en brillo sobre un área, de tal forma que una imagen satelital nos presentará datos de coordenadas espaciales y un tercer dato que es el valor de la reflectividad de cada unidad de la matriz o pixel. A partir de una esquina, línea por línea y celda por celda, la radiación de cada unidad de área se recoge e integra en el sensor que se atribuye a esa unidad de área. De esta manera, la información espacial se convierte en una señal dependiente del tiempo y del espacio (Gupta (2017)).

II.2.5 Sistema de información geográfica

De acuerdo a Olaya V. (2020) un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos. Otra definición sería, un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. En otras palabras, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos.

El funcionamiento de un SIG pasa por las siguientes fases: Entrada de la información en el sistema, ya sea digital o pendiente de digitalización. Almacenamiento y actualización de las bases de datos geográficamente, es decir, georreferenciar la información mediante coordenadas geográficas de latitud y longitud.

Análisis e interpretación de los datos georreferenciados. Salida de la información en forma de productos diferentes, que dependerán de las necesidades del usuario.

II.2.6 Componentes de un SIG

Según Olaya V. (2020) los elementos básicos que componen a un sistema de información geográfico son los elementos principales que se contemplan tradicionalmente en este aspecto:

- **Datos:** Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.
- **Métodos:** Un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- **Software:** Es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.
- **Hardware:** El equipo necesario para ejecutar el software. Personas. Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG.

II.2.7 Imagen satelital

Una imagen satelital es el producto obtenido por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial mediante la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo celeste, producto que posteriormente se transmite a estaciones terrenas para su visualización, procesamiento y análisis. Esta imagen es una representación de la realidad en la forma de una matriz de datos, donde cada celda o pixel es una porción del área observada con un único valor. Una imagen satelital está compuesta por información proveniente de diferentes longitudes de onda, organizada en diferentes canales o bandas para un sensor determinado. De esta manera se obtiene

información no solo en el espectro visible, sino también en otras longitudes de onda, a las cuales el ojo humano no es sensible. (Méndez, 2002 citado por Romero, 2019)

Chuvieco, E. (1995) señala como características de las imágenes satelitales lo siguiente:

- **Resolución espacial:** Designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen o como la mínima distancia entre dos objetos en el terreno que puede distinguir un sensor y que posteriormente puede ser identificada sobre la imagen.
- **Tamaño de píxel:** Está determinado por la resolución espacial y es el tamaño de la celda de la imagen, la cual cuenta con un único valor (información). Resolución espectral: Describe la habilidad del sensor para registrar diferentes intervalos de longitud de onda. Una imagen con mayor resolución espectral cuenta con más bandas que una imagen con menor resolución espectral, indistintamente de que el rango total de longitud de onda registrado sea el mismo.
- **Resolución espectral:** Describe la habilidad del sensor para registrar diferentes intervalos de longitud de onda. Una imagen con mayor resolución espectral cuenta con más bandas que una imagen con menor resolución espectral, indistintamente de que el rango total de longitud de onda registrado sea el mismo.
- **Resolución radiométrica:** Describe la cantidad de información contenida en la imagen. Está determinado por la capacidad del sensor para registrar pequeñas variaciones de intensidad en la radiación registrada.
- **Resolución temporal:** Se refiere al tiempo que tarda el sensor en completar una órbita y por ende cada cuanto se toma una imagen.
- **Firmas espectrales:** (curvas de reflectancia espectral)

II.2.8 Imágenes satelitales: Sensor LANDSAT-8

La Nasa en su página web oficial explica que el programa LANDSAT, constituye una serie de misiones de observación de la Tierra por satélite gestionadas conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). El programa LANDSAT ha revolucionado la forma de ver y estudiar nuestro planeta. Esta serie de datos, que se inició en 1972, es la más larga de la historia y continúa registrando los cambios en la superficie terrestre desde el espacio. LANDSAT ha sido el único sistema de satélite diseñado y operado para observar repetidas veces la cubierta de la tierra con una resolución moderada; de manera general cada pixel en su imagen tiene un tamaño con el que se podría cubrir un campo de béisbol. Landsat 9 es el último satélite de la serie Landsat; su lanzamiento fue en septiembre de 2021. Para reducir el tiempo de construcción y el riesgo de una brecha en las observaciones, Landsat 9 replica en gran medida a su predecesor Landsat 8.

Landsat 9 lleva dos instrumentos científicos, ambos instrumentos tienen sensores con resolución espacial moderada (15 m (49 pies), 30 m (98 pies) y 100 m (328 pies) dependiendo de la banda espectral, y la capacidad de detectar un rango de intensidad más alto que el Landsat 8 (14 -resolución radiométrica de bits frente a la resolución radiométrica de 12 bits del Landsat 8). Landsat 9 se colocará en una órbita que está ocho días desfasada con Landsat 8 para aumentar la cobertura temporal de las observaciones.

II.2.9 Misión ALOS PALSAR (Phased Array tipo L-band Synthetic Aperture Radar)

Según artículo de la Nasa publicado su página web oficial, desde 2006 al 2011, el radar de apertura sintética (SAR) de la banda L de PALSAR arrojó observaciones detalladas, para todo tipo de clima, de día y de noche, así como también interferometría de repetición de paso. Los datos PALSAR provienen de múltiples modos de observación con polarización variable, resolución, ancho de franja y ángulo fuera de

nadir (ASF, 2017). PALSAR fue uno de los tres instrumentos en el satélite de observación avanzada de la tierra-1 (ALOS), también conocido como DAICHI, desarrollado para contribuir a los campos de mapeo, observación precisa de la cobertura terrestre regional, monitoreo de desastres y levantamiento de recursos.

ALOS era una misión de la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA). Palsar tiene dos modos de haz fino: polarización simple (FBS) y polarización dual (FBD), así como polarización cuádruple, también conocido como modo polarimétrico (PLR). El haz ancho ScanSAR (WB1, WB2) funciona con una pérdida considerable de resolución.

II.2.10 Especificaciones técnicas de PALSAR. Modos de haz

PALSAR tiene dos modos de haz fino: polarización simple (FBS) y polarización dual (FBD), así como polarización cuádruple, también conocida como modo polarimétrico (PLR). El haz ancho de ScanSAR (WB1, WB2) funciona con una pérdida considerable de resolución. Este satélite no puede observar las áreas más allá de los 87,8 grados de latitud norte y los 75,9 grados de latitud sur cuando el ángulo fuera del nadir es de 41,5 grados. (Tomado de la página oficial de la Nasa).

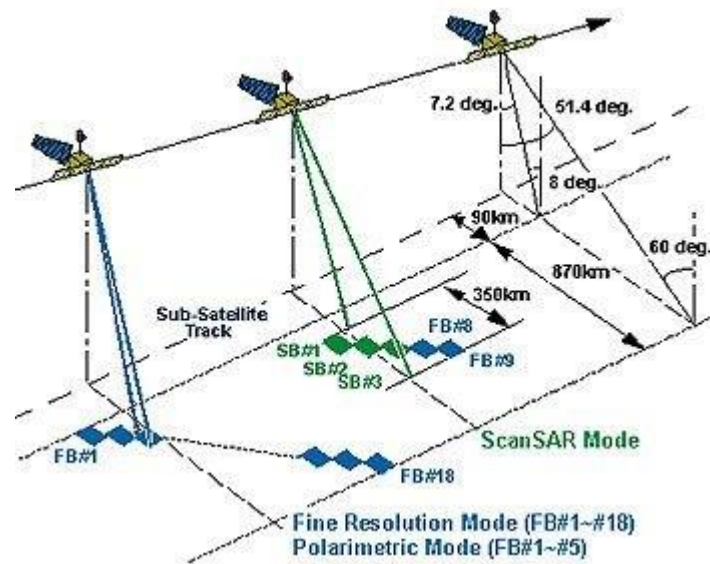


Figura 2. Modo de haz del satélite Alos Palsar. Tomado de la página oficial de la Nasa

II.2.11 Modelo de Elevación Digital (MED)

Un Modelo Digital del Terreno (MDT) es una matriz ordenada de números que representa la distribución espacial de las características del terreno. En el caso más habitual, la distribución espacial está representada por una horizontal XY sistema de coordenadas y la característica del terreno que se registra es la elevación del terreno, Z. Un enfoque alternativo es definir posición por latitud, ϕ , y longitud, λ , y la elevación del terreno por h . La literatura reciente se ha referido a estas distribuciones como Modelos de Elevación Digital (MED) para distinguirlos de otros modelos que describen diferentes características del terreno. Los datos pueden ser organizados como una matriz de triples coordenadas o como ecuaciones de superficie definidas por polinomios o series de Fourier. (Miller y Laflamme, 1958).

En cartografía, las altitudes suelen representarse mediante curvas de nivel y cotas. En función del tamaño de la zona cubierta, la mayoría de los MDT utilizan, para las pequeñas zonas, una red cuadrada regular, mientras que para las zonas grandes

utilizan una red pseudocuadrada cuyos lados son meridianos y paralelos. Los MDT se pueden dividir según el tipo de red utilizado:

- Red cuadrada/rectangular;
- Red hexagonal;
- Red triangular regular;
- Red triangular de otro tipo.

En función del tipo de red, varía la representación informática del MDT. En el caso de redes rectangulares, se pueden utilizar cuadros, pero en el resto de casos, las estructuras de datos son más complejas.

II.2.12 Mapa de densidad de lineamientos

Es una representación estadística de la frecuencia de lineamientos a partir del conteo mediante una grilla vectorial con celdas de 1km^2 (Suarez y Candela, 2018)

II.2.13 Ángulo azimut

Ángulo medido en el sentido de las agujas del reloj a partir del Norte, su valor está comprendido entre 0 y 400 Grados Centesimales. Se denomina Rumbo si se mide con respecto al Norte Magnético, mientras que se emplea el término Azimut Geográfico si se mide con respecto al Norte Geográfico según el Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar.

II.2.14 Sistemas Transcurrentes.

Falla rumbo deslizante: Las fallas rumbo deslizantes son aquellas cuyo vector de desplazamiento es paralelo al rumbo de la falla y por lo tanto, paralelo a la superficie de la Tierra (tomado de Luna, (2019)). Existe una serie de estructuras asociadas a las fallas de rumbo como son: las fracturas de cizalla, pliegues, fallas normales y fallas inversas (Twiss y Moores, (1992)).

Falla de cizalla: corresponden al primer conjunto de estructuras que se originan (tomado de Luna, (2019)). A gran escala, ellas pueden formar una cadena compleja de fallas anastomosada Twiss y Moores, (1992).

Fallas Riedel (R): forman un ángulo estrecho con la falla principal (entre 10° a 20°) y asumen un arreglo escalonado. Las fracturas R son sintéticas a la falla principal, es decir, presentan el mismo sentido de cizalla que la falla principal, y el ángulo agudo que se forma por la traza de la fractura R y la falla principal apunta en dirección del movimiento relativo del bloque que contiene a las fracturas R. Twiss y Moores, (1992).

Fallas P: generalmente se desarrollan después de haberse formado las fracturas R. (tomado de Luna, (2019)). Las fracturas P son sintéticas a la falla principal y se orientan simétricamente con respecto a la orientación de las fracturas R Twiss y Moores, (1992).

Fallas Riedel Conjugadas (R'): son fracturas de cizalla antitéticas que se orientan con un alto ángulo con respecto a la falla principal (entre 70° a 80°) y poseen un sentido de cizalla opuesto al principal. Twiss y Moores, (1992).

Pliegues y fallas inversas: Estas estructuras se forman con un arreglo geométrico escalonado y se encuentran por encima o a un lado de la falla rumbo deslizante principal. Las charnelas de los pliegues y el rumbo de las fallas inversas tienden a orientarse 45° o menos, con respecto a la falla rumbo deslizante principal. El ángulo agudo definido por la intersección de la traza de la falla rumbo deslizante con la charnela del ángulo o la traza de la falla inversa apunta en dirección del movimiento relativo del bloque fallado opuesto al que contiene el pliegue o la falla inversa, estas estructuras registran una componente de compresión oblicua con respecto a la falla rumbo deslizante. Twiss y Moores (1992).

Fallas normales: Presentan un arreglo escalonado a lo largo de la falla rumbo deslizante, se orientan aproximadamente a 45° de la falla principal y son casi perpendiculares a la orientación de las charnelas de los pliegues y a las fallas inversas. El ángulo agudo que se forma por la intersección entre la traza de la falla rumbo deslizante y las fallas normales apunta en dirección del movimiento del bloque que

contiene a la falla normal. Estas estructuras registran un componente de extensión oblicua y es perpendicular tanto a las fallas normales como a la orientación de compresión registrada por los pliegues y las fallas inversas Twiss y Moores, (1992).

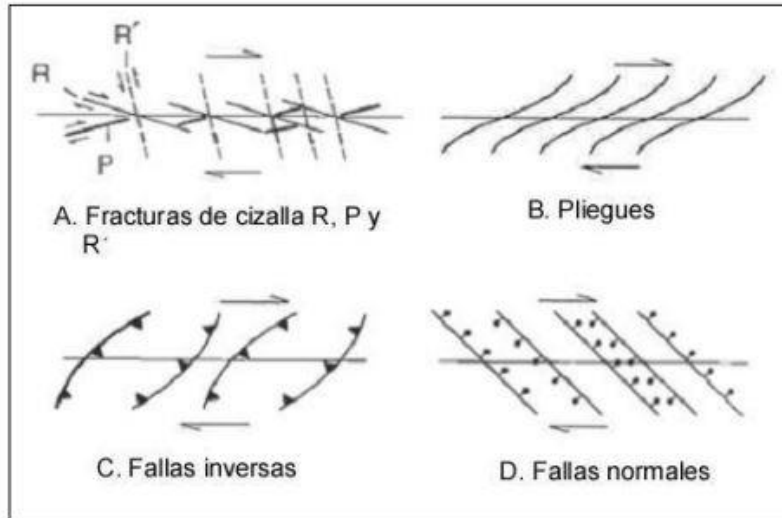


Figura 3. Estructuras asociadas con las fallas rumbo deslizantes y su orientación relativa al sentido de cizalla en la falla. Twiss y Moores, (1992), Tomado de (Luna 2019)

III.1 MARCO GEOLÓGICO

En el siguiente capítulo se define la geología regional de la Cordillera de Los Andes, así como también la historia geológica correspondiente a los Andes de Mérida, tomando en cuenta que dicha historia abarca la zona de La Azulita y Timotes.

III.1.1 Geología Regional

Los Andes Venezolanos, también conocido como Cordillera de Mérida, tiene su comienzo al suroeste en la depresión del Táchira y termina al noreste en la depresión de Barquisimeto, con una longitud aproximada de 425 km y una anchura promedio de 80 km. Bajo el contexto geomorfológico, los Andes venezolanos representan un levantamiento topográfico-tectónico cuya culminación se encuentra en la Sierra Nevada de Mérida, destacado por la presencia del pico Bolívar con 4997 m de altitud, el pico Humboldt con una altura variante entre 4942 m y Pico El Toro con una altura de 4654 m. En ellas afloran las formaciones más antiguas, de edad posiblemente precámbrica (+- 650 millones de años).

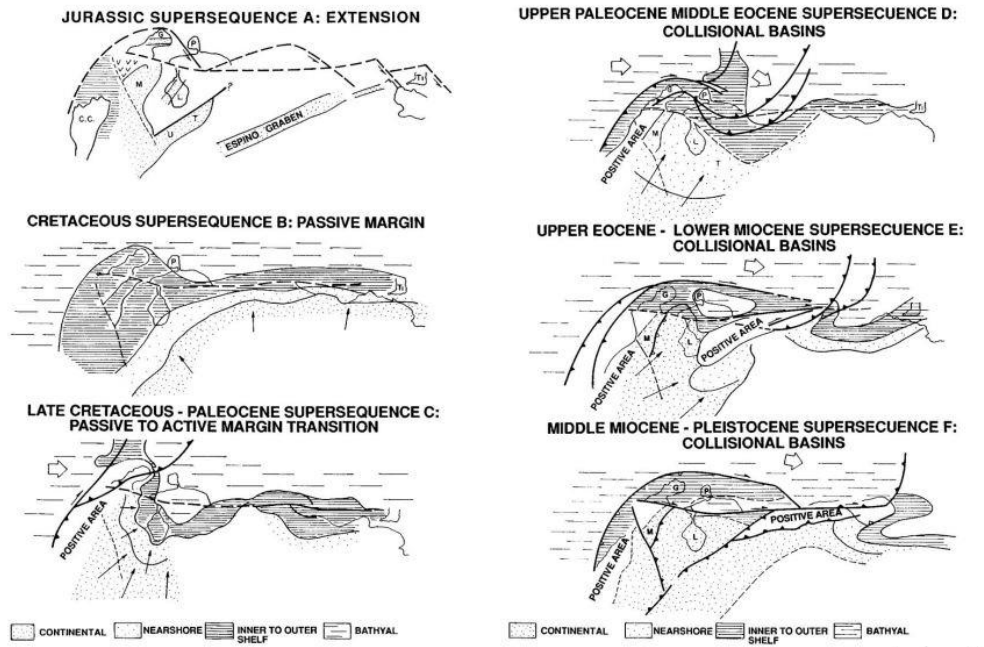
En las zonas de Los Andes sobre una altitud de 3000 m ha sido estudiado los fenómenos de glaciación que principalmente es lo que ha modificado los rasgos fisiográficos de esta zona. Su máxima expresión se encuentra en los macizos montañosos de la Sierra Nevada de Mérida y su prolongación al noreste o Sierra de Santo Domingo, ambas situadas al sureste del curso del Rio Chama y en la Sierra de La Culata al noroeste del mismo rio. En los tres macizos se pueden reconocer dos tipos principales de fisiografía: la zona glacial generalmente por encima de los 4000 m de altitud y la zona de páramos o zona periglacial que se desarrolló durante el pleistoceno entre los 2500 y 3500 m y en tiempos actuales están confinados entre los 3500 y 4700 m de altitud. (González de Juana *et al.*, 1980).

La actual formación de la cadena de los Andes de Mérida es el resultado de la transpresión Plioceno-Cuaternario debida a la convergencia oblicua entre dos bloques continentales: América del Sur y el Bloque Triangular de Maracaibo (Audemard,

2003). Esta cadena es una unidad estructural el cual registra una larga historia de evolución: El episodio más temprano involucró la evolución progresiva de la extensión a un margen pasivo Caribe- Mar de Tethys en el borde de la placa sudamericana. Esta evolución abarcó el Triásico Tardío-Cretácico. Le siguió la colisión de la placa del Pacífico con la placa de Suramericana y la construcción de una cadena montañosa del Cretácico Tardío-Paleoceno con una cuenca de antepaís asociada. La colisión y migración de la placa del Caribe desde el Paleoceno dio como resultado el cinturón de empuje de Lara y la cuenca del antepaís del Eoceno. La posterior Orogenia Andina se atribuye a la colisión del Arco de Panamá. Esta colisión también dividió el margen pasivo del Cretácico en las cuencas del lago Maracaibo y Barinas-Apure del Mioceno Medio posterior (Parnaud *et al.*, 1995).

Esta historia geológica se expresa en una jerarquía de secuencias de depósito mostradas en la Figura 4. A gran escala, la estratigrafía se puede dividir en sucesiones paleozoicas y mesozoicas-cenozoicas. La extensión jurásica registra la separación de América del Norte y del Sur (Pindell y Erikson, 1993; Parnaud *et al.*, 1994 citado en Parnaud *et al.*, 1995). La sucesión mesozoica-cenozoica contiene un conjunto de secuencias limitadas por discordancias que describen la dinámica de la evolución de la cuenca a lo largo de la parte norte de la placa sudamericana de la siguiente manera:

Figura 4. Secuencias de depósito paleozoicas y mesozoicas-cenozoicas. Tomado de Parnaud *et al.* 1995



La supersecuencia A resultó de un episodio de grietas jurásicas.

- La supersecuencia B corresponde con el desarrollo del margen pasivo (Jurásico Temprano-Tardío).
- La supersecuencia C fue una fase de transición del depósito del margen pasivo del Cretácico superior al Paleoceno Inferior detrás del arco compresivo.
- La supersecuencia D se depositó en una cuenca de antepaís durante el Paleoceno Tardío y el Eoceno Medio, cuando la colisión y obducción del arco volcánico del Pacífico anuló la placa sudamericana y emplazó los mantos de Lara.
- Las supersecuencias E y F estaban relacionadas con la fase Eoceno Tardío-Pleistoceno del hundimiento de la cuenca del antepaís causado por la colisión del Arco de Panamá. Este episodio de deformación fue responsable de la separación de las cuencas del Lago de Maracaibo y Barinas-Apure. (Parnaud *et al.* 1995)

A continuación se narrará la historia geológica así como también la descripción de las rocas que conforman a la Cordillera de Mérida a partir de la documentación previa de la zona, haciendo una síntesis geológica. Las mismas serán ordenadas desde la más antigua hasta la más reciente:

III.1.1.1 PRECÁMBRICO

Este periodo es el transcurrido desde la consolidación de la tierra hace unos 4600 ma hasta el cámbrico hace unos 570 ma, lo cual constituye el 88% del tiempo geológico terrestre. En La Cordillera de Mérida las rocas más antiguas corresponden al precámbrico. Estos afloramientos están conformados en su zona central y centro norte por el Complejo Iglesias y en su zona meridional por la Asociación Bella Vista. La evolución de Los Andes septentrionales durante el precámbrico es difícil de reconstruir, debido a la escasez de datos isotópicos y a la presencia de terrenos agregados, aunque han sido considerados como una extensión del escudo de Guayana y no se descarta su posible naturaleza alóctona. (La Marca, E. 1997)

- **Complejo Iglesias (Precámbrico superior, Estado Mérida)**

Esta unidad ocupa el centro de La cordillera de Mérida, constituyendo el basamento tanto de la Serranía del Norte o de La Culata, como el de La Sierra Nevada De Mérida, y se prolonga hacia el noreste hasta Campo Elías (Estado Trujillo) y hacia el suroeste hasta la Grita (Estado Táchira). La litología del complejo corresponde a una secuencia sedimentaria metamorfizada, que incluye principalmente esquistos y gneises cuarzofeldespáticos bandeados, aunque localmente se han indicado ortogneises biotíticos, anfibolitas y gneises anfibolíticos, esquistos cuarzomuscovítico, feldespatos de grano grueso, anfibolitas, metareniscas y cuarcitas. En el Páramo de Los Conejos, se observan ortogneises biotíticos, gneises migmatíticos con inyecciones aplíticas "Lit-

Par-Lit", augengneis pórfido, blásticos biotíticos de grano grueso, gneiss de grano fino, con granate y biotita y micaesquistos granatíferos. En el Macizo de Los Gatos afloran gneises dioríticos y graníticos, escasos paragneises y sills de anfibolita. (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1999).

III.1.1.2 PALEOZOICO

Las rocas del Paleozoico afloran principalmente en el Flanco Surandino específicamente en la región de los pueblos del sur del Estado Mérida (Aricagua, Mucuchachí, El Molino, Guaraque) y en el flanco noreste, en las áreas de La Puerta, Trujillo, Burbusay y Carache. En el Paleozoico hubo eventos de sedimentación entre dos periodos de orogénesis: el primero a finales del Cámbrico y comienzo del Ordovícico denominado Orogénesis Caledoniana y el último a finales del Pérmico y comienzo del Triásico denominado Orogénesis Herciniana. La actividad ígnea durante el paleozoico tuvo magmatismo plutónico y no extrusivo (representado por dioritas, granitos y granodioritas). (La Marca, E. 1997).

El Paleozoico superior en los Andes de Mérida es estratigráficamente diverso. La Formación Mucuchachí registra regresiones marinas, la Formación Sabaneta muestra un episodio de deposición continental y la Formación Palmarito es evidencia de un evento marino final. Un conjunto más joven, que contiene la Formación Palmarito, está compuesto por facies arenosas y calizas marinas cuyo origen está en la plataforma interna. El estilo estructural distingue las rocas paleozoicas de las secuencias jurásicas (Parnaud *et al.* 1995).

Esta sucesión del paleozoico está sujeta a un fuerte evento de compresión que resulto en cabalgamientos y pliegues de falla flexión que fueron subsecuentemente peneplanadas y cubiertas discordantemente por estratos rocosos del Mesozoico. (Parnaud *et al.* 1995). Y Tazzo *et al.* (2018) definen un evento metamórfico en el Silúrico (M3- Figura 5) que conduce a la anatexis y afecta a las rocas del basamento de los Andes de Mérida en ~430–420 Ma.

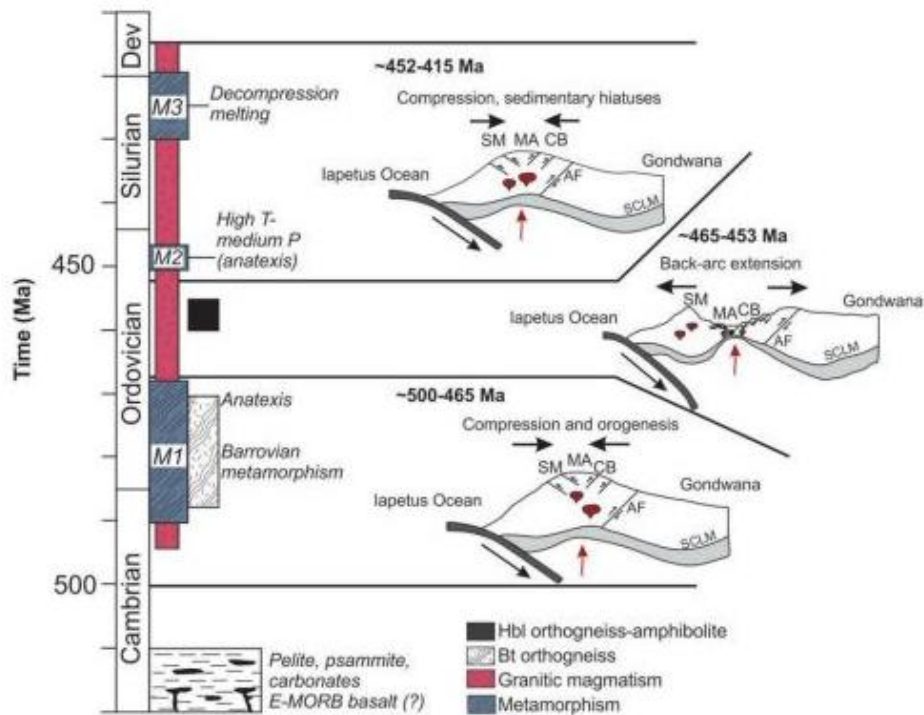


Figura 5. Esquema temporal del Paleozoico Temprano-Media de eventos ígneos y metamórficos en el Complejo Iglesias (Andes de Mérida) y ambientes tectónicos del noroeste de Gondwana. CB: Bloque Caparo, MA: Andes Merida, SM: Macizo Santander, AF: Falla Apure. SCLM: Manto atmosférico subcontinental. Tomado de Tazzo *et al.*, (2018).

Los eventos ígneos y metamórficos del paleozoico temprano en el basamento metamórfico de los Andes de Mérida pueden enmarcarse en el entorno geodinámico propuesto recientemente para el noroeste de Gondwana. De acuerdo con este modelo, los ciclos alternos de avance y retroceso de las placas dentro del arco famatiniano causaron compresión y extensión en la placa superior durante el Cámbrico-Silúrico, lo que resultó en diferentes fases orogénicas, pulsos magmáticos y sobreimpresiones metamórficas (Figura 5).

Un régimen de compresión del Ordovícico Temprano en el arco Famantiniano condujo al apilamiento en una cuña de la corteza y al metamorfismo M1 (Figura 5) de

las rocas sedimentarias del Ediacárico-Cámbrico. Fechas del modelo del manto empobrecido (1.8–1,6 Ga) sugieren principalmente fuentes corticales paleoproterozoicas medias para protolitos ortogneis félsicos sin-tectónicos que invadieron los Andes de Mérida y el Macizo de Santander entre ~487 y 472 Ma (Figura 5). En los Andes de Mérida, el pico metamórfico probablemente se alcanzó hace $466,8 \pm 3,7$ Ma, cuando la anatexia afectó a las rocas.

Esta edad es 10 myr más joven en comparación con las edades metamórficas máximas reportadas en el Macizo de Santander (~477 Ma) y la Cordillera Oriental de Perú (~478 Ma). Por lo tanto, las condiciones metamórficas de alto grado y la anatexis dentro de la orogenia Famatiniana probablemente duraron un período de ~ 10 millones de años. Entre ~ 465 y ~ 453 Ma, los fundidos derivados de la corteza inferior y el manto litosférico subcontinental intruyeron paragneises del Complejo de Iglesias, formando protolitos de hornblenda ortogneis y anfibolitas. (Tomado de Tazzo *et al.* 2018)

- **Formación Mucuchachí (paleozoico-carbonífero) Estado Táchira, Mérida y Trujillo**

La Formación Mucuchachí está formada por secuencias de pizarras y filitas finamente laminadas de color gris oscuro azulado, entre las cuales se intercalan metareniscas. Localmente se presentan metaconglomerados, calizas cristalinas, metaftanitas y rocas volcánicas y piroclásticas félsicas, asociadas a mineralizaciones de Zn, Cu, Pb y Ag en la parte central de la cadena, Región Bailadores, Edo. Mérida. Esta comprende la mayor parte de las rocas de la cordillera de Los Andes Venezolanos y las rocas del subsuelo de la Cuenca de Maracaibo. Se mencionan restos de braquiópodos, briozoarios, bivalvos, corales rugosa solitarios y artejos de crinoideos. La compañía Shell y La Creole (1964, *op cit*) estimaron un espesor promedio de 5000 m. Tomado del L.E.V. (1997).

- **Formación Sabaneta (Paleozoico (carbonífero tardío-pérmico temprano), Estado Mérida)**

La Formación Sabaneta es una secuencia de areniscas gruesas a guijarrosas, que pasan hacia arriba a una intercalación de limolitas y areniscas de color rojo. El miembro inferior consiste de areniscas macizas de grano grueso a guijarrosas de color amarillento a marrón, con cantidades menores de lutitas carbonáceas grises; la mayoría de las areniscas muestran estratificación cruzada de ángulo alto, hacia la parte superior del miembro hay un nivel conglomerático con cantos de granito, cuarcita y cuarzo en capas de hasta 15 metros de espesor. En algunas localidades, la unidad exhibe metamorfismo de bajo grado, con el desarrollo de pizarras en los intervalos de grano fino. Algunos diques de dolerita y diorita cortan la formación en diversos sitios. En la parte superior de la unidad se han mencionado concreciones de algas. Tomado del L.E.V. (1997).

- **Formación Palmarito (Carbonífero Pérmico-Medio) Estado Mérida**

Esta Formación comprende una secuencia de lutitas principalmente marinas, limos, arenas y margas, que gradan hacia arriba a calizas marinas. El léxico estratigráfico de Venezuela, la divide en un miembro inferior clástico y un miembro superior de calizas. El miembro clástico inferior comienza con una secuencia arenosa a limosa, con restos de plantas y lechos delgados de carbón en el tercio inferior; las areniscas se hacen calcáreas hacia arriba y hacia la parte media del miembro. El miembro superior de calizas consiste de calizas duras a veces cristalinas, de color gris oscuro de capas gruesas a medianas (L.E.V., 1997). Esta Formación ha provisto una importante fauna de invertebrados que incluye ejemplares de braquiópodos, bivalvos, crinoideos, briozoarios, corales, gasterópodos, trilobites, foraminíferos y ostrácodos.

III.1.1.3 MESOZOICO

El Mesozoico se desarrolló en Venezuela en dos dominios: uno epicontinental, autóctono (que aflora en La Cordillera de Los Andes, Sierra de Perijá y Serranía del Interior Oriental) y otro sistema de formación regido por sinclinales en terrenos

alóctonos que aflora en La Cordillera de La Costa Central y Oriental, La Serranía del Interior, La Península de Paraguaná, La Isla de Margarita y otras islas de la plataforma continental.

La sedimentación en este periodo en Venezuela tuvo lugar entre la Orogénesis Herciniana y la del Cretácico Superior. La actividad tectónica provocaría una intensa metamorfosis en las unidades del Paleozoico, y dejaría una serie de intrusiones ígneas graníticas, formando un relieve montañoso Preandino, el cual sería erosionado durante el Mesozoico Inferior.

Durante la Orogénesis Herciniana todas las formaciones Paleozoicas en la Región Central Andina fueron plegadas y levantadas por efecto de una tectónica compresiva con actividad ígnea calco-alcalina, ocasionando un intenso metamorfismo regional y una gran deformación tectónica en forma de pliegues, fallas, etc. Durante este periodo orogénico ocurrieron toda una serie de intrusiones graníticas sintectónicas, como la Granodiorita de El Carmen, El Granito de Chachopo, y El Granito de Valera-La Puerta. También como consecuencia de esta orogénesis, se levantó el borde continental al norte del Cratón de Guayana y se retiraron todos los mares hacia el norte, sobre todo en el occidente de Venezuela. Es posible que una consecuencia de esta orogénesis haya sido la elevación de una cadena andina, destacándose dentro de ella el Arco de Mérida con dirección NO-SE que posteriormente influenció el desarrollo de la sedimentación continental del Triásico-Jurásico y el avance de la transgresión marina del Cretácico. (La Marca, E., 1997)

TRIÁSICO-JURÁSICO:

La Orogénesis Herciniana del Permo-Triásico fue una época de intenso vulcanismo que condicionó una ausencia de rocas de edad triásico en toda Venezuela. Este vulcanismo pudo haberse formado durante la ruptura de Pangea hace unos 200 ma con una tectónica distensiva de rifting. La Formación La Quinta refleja sedimentación en ambientes continentales que fueron originados localmente por material volcánico

como cenizas volcánicas (Parnaud *et al.* 1995). En un área positiva del occidente de Venezuela se formaron estructuras de tipo horst y graben en donde se depositaron capas rojas de ambiente continental con episodios lacustres (Formación La Quinta). En Los Andes hay rocas volcánicas escasas en La Formación La Quinta, en forma de lavas diabásicas superficiales y diques intrusivos al oeste de Mérida y al norte de Lagunillas. La sedimentación de gruesos espesores en el miembro superior de La Formación La Quinta en Los Andes prueba la existencia de una fase compresiva. (La Marca, E. 1997)

En los Andes de Mérida, esta supersecuencia jurásica A (Figura A) en la fase de extensión, se identifica como la Formación La Quinta, que también se depositó en un ambiente continental con conspicuas areniscas rojas. (Parnaud *et al.* 1995)

- **Granodiorita de El Carmen (Triásico Superior)**

Es una de las masas graníticas principales en Los Andes nor-centrales de Venezuela, paralela a la directriz andina principal (NE-SO), ubicada al norte del río Chama y se extiende por unos 40 kilómetros desde las cercanías del sector Capilla del Carmen, al noreste de la Ciudad de Mérida, hasta la naciente del río Turmero en las inmediaciones del Pico El Águila. Este es descrito como un granitoide de cuerpo homogéneo, con textura fanerítica de grano grueso a medio, con diques tonalíticos, monzograníticos y pegmatíticos; congénitos de dichos cuerpos, de aproximadamente más de un metro de espesor. Tal masa granítica es de forma lineal, presentando así, contactos intrusivos de carácter gradacional con los esquistos del Complejo Iglesias (Neoproterozoico) y, contacto abrupto por falla tanto con formaciones sedimentarias del Cretácico y Paleógeno, como con el mismo Complejo Iglesias. La asociación mineralógica característica es andalucita, muscovita, biotita, granate 39 y corindón. A este granitoide se le asocia un origen sintectónico o colisional tipo arco volcánico (Tazzo *et al.*, 2012)

- **Granito de La Culata (Triásico Superior)**

Es una roca blanquecina de aspecto moteado, con textura fanerítica de grano grueso. Se encuentra en contacto intrusivo sinuoso con esquistos y gneises del

Complejo Iglesias e infrayacente en inconformidad por rocas sedimentarias de la Formación Río Negro. Es de composición monzogranítica a sienogranítica, con feldespatos como composición principal (Tazzo *et al.*, 2012). Según Tazzo *et al.*, (2012) el Granito de La Culata se trata de una roca de grano fino a grueso con textura moteada por la presencia de biotita y clorita. Está compuesta principalmente por cuarzo, feldespato potásico (microclino), plagioclasa (oligoclasa, andesina), en menor proporción biotita y muscovita, y como minerales accesorios comunes apatito, hematita, zircón, ilmenita y magnetita. Entre los accesorios pocos comunes se encuentran el granate (almandino) y monazita.

- **Formación La Quinta (Mesozoico (Jurásico) Estado Táchira)**

Esta Formación consta de tres intervalos: uno inferior, compuesto por una capa de toba vítrea de color violáceo, de aproximadamente 150 m de espesor; uno medio consistente de una secuencia interestratificada de toba, arenisca gruesa y conglomerática, limolita y algunas capas delgadas de caliza, de color verde blanquecino, gris o violáceo y un intervalo superior, formado por limolita y arenisca, intercaladas con algún material tobáceo de color rojo ladrillo y marrón chocolate. La presencia de coprolitos de peces pertenecientes al género ganoideo *Lepidotus* se han hallado Concostraceos ostrácodos, restos de dientes de peces, palinomorfos y restos de plantas. Tomado del L.E.V. (1997).

CRETÁCICO

Durante el Cretácico continuó la disgregación de Pangea, que repercutiría en Venezuela en la forma de una transgresión marina cretácica del Proto Caribe, que avanzó en sentido oeste-este y norte-sur sobre las áreas positivas de la plataforma epicontinental estable (La Marca, E. 1997). Parnaud *et al.* 1995 definen que una transgresión marina provocó la inundación del escudo de Guayana. Esta transgresión está correlacionada con los cambios eustáticos que ocurrieron en todo el mundo y

duraron hasta el Cenomaniano-Campaniano (Figura 4: Supersecuencia Cretácica B). Esta transgresión está correlacionada con los cambios eustáticos que ocurrieron en todo el mundo y duraron hasta el Cenomaniano-Campaniano (Figura 4). El material volcánico dentro de la Formación La Luna sugiere la presencia de un arco volcánico hacia el oeste, lo que implica la subducción de la placa del Pacífico.

La aparente reducción del hundimiento controlado por fallas, la profundización transgresiva general de la cuenca y la estratigrafía sugieren que la supersecuencia B del Cretácico se depositó como una cuña de terraza de margen pasivo detrás de un arco volcánico. La fase de margen pasivo terminó con la colisión del arco del Pacífico y la placa sudamericana y el hundimiento por flexión de las cuencas de antepaís. Durante este período de desarrollo del margen pasivo, se depositaron varias secuencias. Juntos formaron la cuña de la terraza de la supersecuencia B. El estilo estructural se caracteriza por fallas inversas con buzamiento abrupto de la edad post-Cretácico. (Parnaud *et al.* 1995).

La transgresión cretácica en Venezuela comienza en el Barremiense como consecuencia del hundimiento del borde septentrional del Cratón de Guayana. Durante esta época comienza la transgresión Cretácica que hizo que el Surco de Uribante al igual que los surcos de Barquisimeto y Machiques se rellenara con una secuencia sedimentaria de ambiente predominantemente fluvial, conocida como Formación Río Negro. (La Marca, E. 1997).

La deposición continental de Río Negro terminó con una transgresión marina del Cenomaniano-Campaniano que inundó la plataforma cratónica de Guyana (Figura A). Esta transgresión fue episódica, como lo demuestra un conjunto de secuencias depositacionales retrocediendo, la primera de las cuales tiene una edad Aptiana. La secuencia Aptiense Apón (K1) se caracteriza por sedimentación de plataforma marina poco profunda y muestra cambios de facies laterales. Hacia el este (Andes de Mérida), areniscas litorales forman la parte basal de la Formación Peñas Altas (Figura 6). (Parnaud *et al.* 1995).

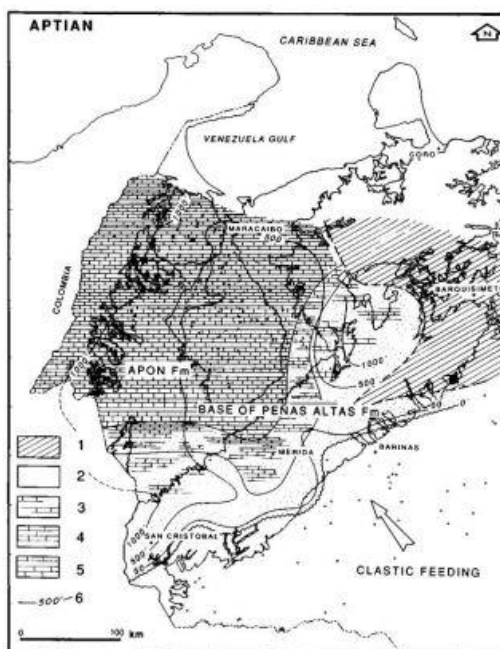


Figura 6 . Paleogeografía de la secuencia depositacional Aptiense K1. Leyenda: 1. Napa de Lara, posición actual; 2. Áreas positivas; 3. Clásticos cercanos a la costa; 4. Carbonatos y esquistos de la plataforma interna 5. Carbonatos y lutitas de plataforma intermedia; 6. Contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud *et al.* 1995

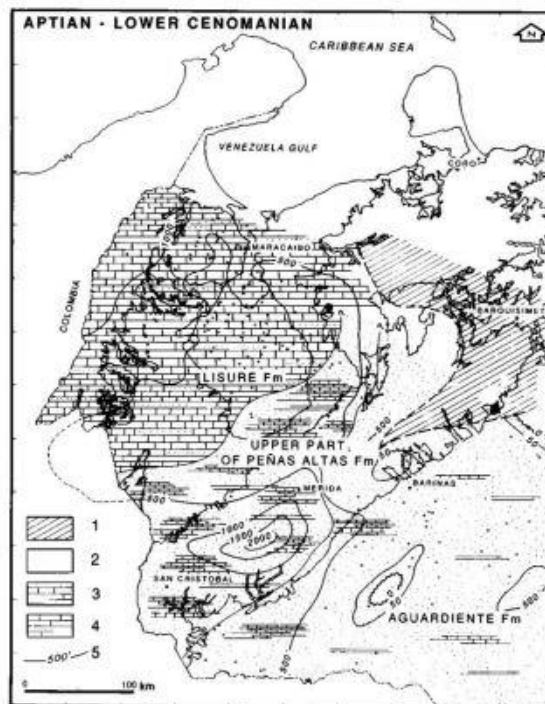


Figura 7. Paleogeografía de la secuencia deposicional K2 del Albiense al Cenomaniense inferior. Leyenda: 1. Napa de Lara posición actual; 2. Áreas positiva; 3. Clásticos cercanos a la costa.; 4. Carbonatos y lutitas de plataforma interna a media; 5. Contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud *et al.* 1995.

- **Formación Río Negro Mesozoico (Cretácico: Barremiense) Estado Zulia**

La Formación Río Negro está constituida por areniscas blancas, generalmente de grano grueso; conglomerados, arcillas y lutitas, típicamente en tonos brillantes de amarillo, rojo y morado. De acuerdo con su fuente sedimentaria, las areniscas varían desde muy cuarzosas (surco de Uribante), a muy feldespáticas (surco de Machiques) En la secuencia lutítica-yesífera-calcáreas de la parte inferior, se presentan diversos niveles fosilíferos, portadores de una fauna de bivalvos. Tomado del L.E.V. (1997).

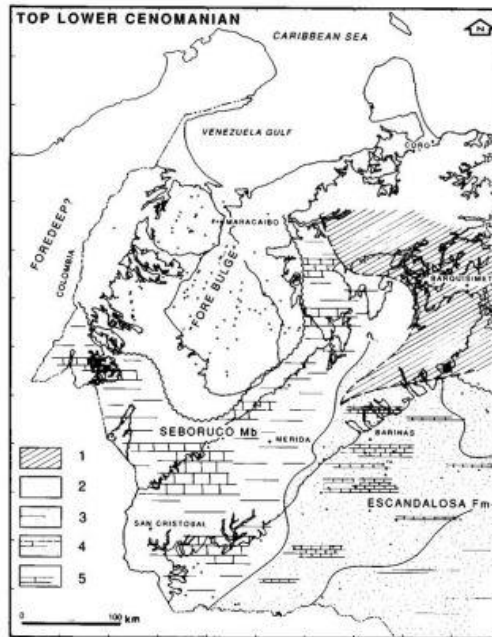


Figura 8. Paleogeografía en la parte superior de la secuencia deposicional K2 del Albiense al Cenomaniense inferior. Leyenda: 1: Napa de Lara, posición actual; 2. Áreas positivas; 3: clásticos cercanos a la costa; 4. Areniscas y carbonatos de la plataforma inferior; 5. Carbonatos y lutitas de plataforma media. Tomado de Parnaud *et al.* 1995.

- **Formación Apón (Mesozoico (Cretácico: Aptiense- Albiense temprano))**

Esta formación tiene una amplia distribución en el occidente de Venezuela y está constituida por capas gruesas de calizas gris- azuladas, fosilíferas con intervalos menores de lutitas calcáreas a arenosas. Los fósiles típicos son Ammonites y Lamelibranquios, el fósil guía es el foraminífero *Choffatella decipiens*. (González de Juana *et al.*, 1980).

La segunda gran transgresión marina tuvo lugar durante el Albiense, invadiendo toda el área de estudio desde la Serranía de Perijá hasta el límite sureste de la cuenca Barinas-Apure y hacia el escudo Guayanés (Figura 6). Esta secuencia deposicional (K2 figura 7 y 8) incluye el Lisure, Maraca, La Puya, Capacho inferior, Aguardiente, y formaciones basales Escandalosa (Parnaud *et al.* 1995).

Transición de margen pasivo a activo en el Tardío-Paleoceno: En el Cretácico superior, una nueva fase en la evolución tectónica estuvo marcada por la colisión del arco volcánico del Pacífico con la placa sudamericana. Esta colisión transformó el margen pasivo en un cinturón activo, creando una cuenca de antepaís con un abismo de proa asociado al oeste (área de Perijá) y un abultamiento en el área de Barinas. Sin embargo, hacia el norte y noreste, el ajuste del margen pasivo persistió hasta el emplazamiento de la faja de empuje y siestas de Lara. Esta historia indica un cierre tipo tijera del antiguo margen pasivo durante el Cretácico superior y el Paleoceno inferior (Figura 4).

- **Formación Aguardiente (Mesozoico (Cretácico: Albiense) Colombia)**

Esta Formación es predominantemente arenosa, con diferentes tipos de rocas carbonatadas. Presenta calizas y lutitas negras en una sucesión alterna de facies arenosas fluviocosteras y de facies marino-costeras. En ella abundan las areniscas bien estratificadas, predominantemente cuarcíferas, a veces intercaladas con lutitas en algunos lugares de Mérida y Táchira. El fósil índice más importante es *Orbitolina* cóncava y además se mencionan *Exogyra* sp. Y el Amonite *engonoceras* sp. (González de Juana *et al.*, 1980).

- **Formación Capacho (Mesozoico (Cretácico: Albiense- Turoniense), Estado Táchira)**

Unidad estratigráfica de Los Andes de Mérida y Táchira donde se acumularon facies de calizas bioclásticas de colores claros, muchas veces fosilíferas, lutitas grises a negras y limolitas ocasionales. La sedimentación de capacho ocurrió en ambientes marinos (González de Juana *et al.*, 1980). Las calizas de la Formación Capacho a menudo emiten un olor fuerte a petróleo en superficies frescas. En la parte superior se señalan foraminíferos planctónicos del grupo *Rotalipora* (*Ticinella*, *Thalmaninella*), y cerca del tope, amonites que incluyen el género *Coilopoceras*. Tomado del L.E.V. (1997).

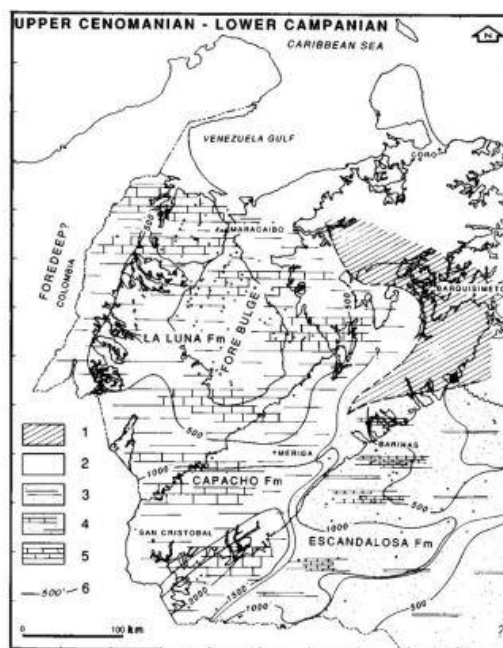


Figura 9. Paleogeografía de las secuencias depositacionales K3, K4 y K5 del Cenomaniense superior al Campaniense inferior. Leyenda: 1. Napa de Lara posición actual; 2: áreas positivas; 3: clásticos cercanos a la costa; 4: areniscas y carbonatos de plataforma interna a media; 5: plataforma exterior a carbonatos y lutitas batiales superiores; 6: contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud *et al.* 1995.

- **Formación La Luna (Mesozoico (Cretácico: cenomaniense-campaniense) Estado Zulia)**

Esta es la unidad litoestratigráfica mas característica de cretácico en el occidente de Venezuela, con una gran potencialidad generadora de hidrocarburos relaciona con la materia organica anóxica que fue acumulada en grandes espesores. Está constituida por calizas laminadas densas, gris, oscuras a negras, intercaladas con lutitas marinas. Una característica distintiva es la presencia de concreciones elipsoidales y discoidales de caliza negra Muchas de las concreciones tienen amonites y otros microfósiles en su interior. La ftanita negra es frecuente en forma de vetas, nódulos y capas delgadas. (González de Juana *et al.*, 1980).

La deformación descendente del antepaís después de la deposición de secuencias del Cretácico temprano dio como resultado una transgresión episódica del Cenomaniano tardío al Campaniano temprano y tres secuencias de depósito de retroceso: K3, K4 y K5 (Figura 9). Estas secuencias están presentes en la cuenca de la Serranía de Perijá y el Lago de Maracaibo como la Formación La Luna y el Miembro Tres Esquinas, en los Andes de Mérida como Capacho (miembros superior del Seboruco y Guayacán) y La Luna y en la cuenca Barinas-Apure como la Escandalosa (miembros P y O) y Navay (La Morita y miembros de Quevedo) (tomado de Parnaud *et al.* 1995).

- **Formación Colón (Mesozoico (Cretácico: Maestrichtiense) Estado Táchira)**

Esta unidad se extiende sobre todo el occidente de Venezuela y está caracterizada por la presencia de lutitas negras microfosilíferas, piríticas, con margas y capas de caliza. La sedimentación Colón, es una sedimentación marina donde la facies de lutitas indicaría región pelágico de salinidad normal y circulación moderada, la facies de limolita y arenisca pudiera representar una sedimentación reducida en momentos de quietud de la transgresión durante el santoniense y tope del maestrichtiense, y la facies de areniscas arcósicas pudiera indicar una barra litoral relacionada posiblemente con el levantamiento del cratón de Guayana. (González de Juana *et al.*, 1980).

La regresión comenzó a principios del Cretácico superior. Simultáneamente, hacia el oeste, la colisión del arco volcánico del Pacífico formó una profundidad de proa dentro de la cual se depositaron facies arcillosas de la Formación Colón (Liddle, 1928). La protuberancia anterior asociada migró desde el depocentro del lago de Maracaibo hasta BarinasApure, donde se depositaron las facies de la costa arenosa de la Formación Burgüita (Renz, 1959) (Figura 12). La sedimentación de esta secuencia (K6) terminó en un tramo de sistemas de altura que se expresa en la Formación Mito Juan (Garner, 1926). Los límites inferior y superior de esta secuencia se asignan al trichtiano del Campaniano tardío y del Maas tardío

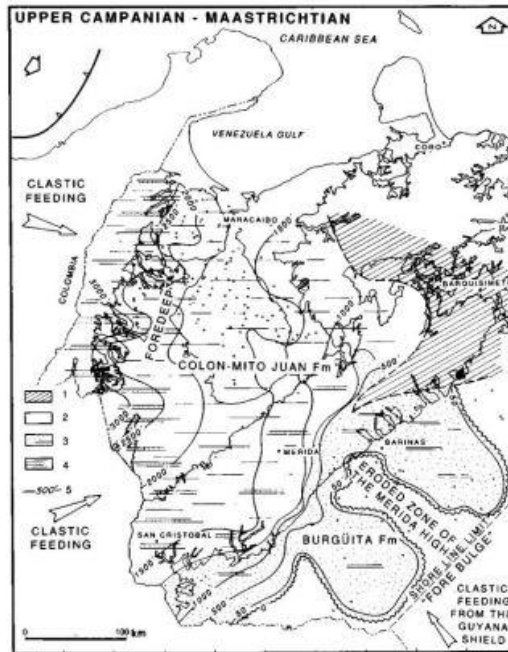


Figura 10. Paleogeografía de las secuencias depositacionales K6 del Trichtiano Campaniano Superio- Maas. Leyenda: 1. Napa de Lara posición actual; 2: áreas positivas; 3: clásticos cercanos ade estante inferior a medio; 4: lutitas de la plataforma exterior y areniscas escasas; 5: contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud *et al.* 1995.

SUCESIÓN MESOZOICO-CENOZOICO

La sucesión Mesozoico-Cenozoico resulta de la fase de Rift Jurásico atribuida a la fragmentación de Pangea y de la fase Cretácico-Terciario de colisión entre las placas del Pacífico y Sudamericana como se muestra en la Figura 4.

III.1.1.4 CENOZOICO

En el territorio de ocupado por la Cordillera de Mérida, luego del retroceso de los mares del Cretácico, emergen nuevas tierras o una nueva plataforma continental, en ellas ocurre una sedimentación tanto en ambientes pantanosos deltaicos representados por el Grupo Orocué como en planicies costeras de aguas someras, tipo plataforma siendo representación de Paleoceno.

Hacia el Eoceno Inferior y Medio Los Andes venezolanos experimentaron un ligero levantamiento epirogénico y un probable crecimiento de las fallas del final del Cretácico. (La Marca, E., 1997).

Durante la fase anterior de descenso del nivel de base en el Paleoceno superior-Eoceno inferior, la erosión fue seguida por la deposición de sedimentos continentales en la parte sur de la cuenca del lago de Maracaibo. Las condiciones marinas profundas en la parte norte de la cuenca resultaron en la sedimentación de turbiditas de nivel bajo de la Formación Trujillo. En la segunda fase, la transgresión relacionada con la flexión de la plataforma frente a la carga de la napa aplicada alcanzó la parte central de la cuenca del lago de Maracaibo. Hacia el sur persistió la deposición continental, como en la Formación Mirador. (Tomado de Parnaud *et al.* 1995).

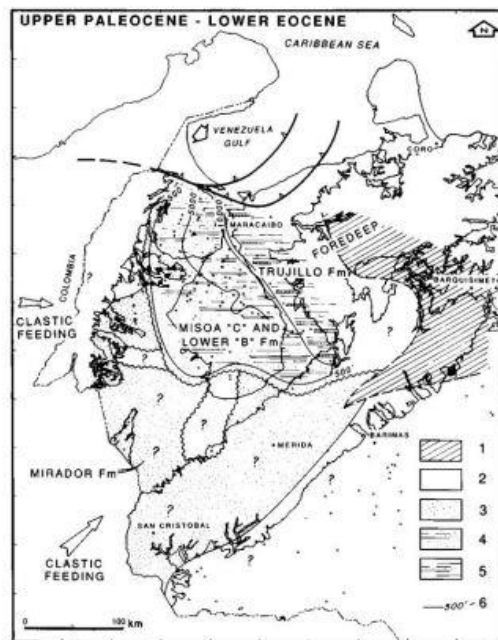


Figura 11. Paleogeografía de las secuencias depositacionales T1 del Paleoceno Superior-Eoceno Inferior. Leyenda: 1. Napa de Lara posición actual; 2: áreas positivas; 3: clásticos continentales a deltaicos; 4: areniscas y lutitas de plataforma interior a exterior; 5: batial con turbiditas, lutitas y areniscas escasas; 6: contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud *et al.* 1995.

- **Formación Mirador (Cenozoico (Terciario: Eoceno) Estado Zulia)**

Esta Formación se caracteriza por areniscas blancas de grano fino a medio con capas delgadas de gránulos o guijarros de cuarzo; toda la sección presenta material carbonáceo, observándose algunas intercalaciones de lutitas en su tercio superior y capas de carbón interestratificadas con las mismas. La formación mirador se desarrolló bajo un ambiente de sedimentación fluvial con gran captación de arenas en barrenas de meandros y canales, cuyo registro palinológico incluye floras de sabana, de pantanos salobres y de llanura deltáica (González de Juana *et al.*, 1980).

- **Formación Misoa (Eoceno)**

Esta unidad es un equivalente a la Formación Mirador, ambas formaciones están constituidas en gran proporción por areniscas de grano fino a conglomeráticas y por lutitas que presentan laminaciones areno-limosas y carbonosas, y concreciones de ferrolita arcillosa. Representa facies de ambientes fluviodeltáicos, presentando una gran proporción de areniscas de origen fluvial hacia el Macizo de Avispa En Mérida septentrional. Las areniscas de esta formación constituyen los yacimientos de petróleo más importante de la cuenca del Lago de Maracaibo. (González de Juana, *et al.*, 1980).

Hacia el final del Eoceno, toda el área cambió. El relieve positivo en el este y noreste separó la cuenca continental del lago de Maracaibo de la cuenca marina ubicada en Falcón (Figura 13). Los levantamientos al oeste y sur de la Serranía de Perijá y la Cordillera Oriental de Colombia alimentaron un sistema de depósito fluvio deltaico. La circulación marina del este continuó afectando la cuenca Barinas-Apure. Esta influencia marina se extendió a la cuenca del lago de Maracaibo a fines del Oligoceno tardío-Mioceno temprano. Se reconocen dos secuencias de depósito. El primero (T4-Figura 13) se depositó durante el Eoceno tardío y el Oligoceno temprano en dos dominios sedimentarios diferentes. Un dominio deltaico en la parte occidental fue alimentado de Colombia (Formación Carbonera) y Formación La Sierra. (Tomado de Parnaud *et al.* 1995).



Figura 12. Paleogeografía de las secuencias de depósitos T2 y T3 del Eoceno Medio. Leyenda: 1. Napa de Lara posición actual; 2: áreas positivas; 3: areniscas y pizarras de plataforma interior a media; 4: plataforma exterior a lutitas batiales; 5: contornos de espesor en pies. Tomado de Parnaud *et al.* 1995

- **Formación Gobernador Cenozoico ((Terciario: Eoceno medio), Estado Barinas)**

Esta es una unidad está conformada por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, intercaladas con limolitas y laminaciones lutíticas carbonosas. El ambiente de sedimentación ha sido considerado como de litoral transgresivo. Los fósiles de la formación son escasos, habiéndose encontrado ocasionalmente tubos de gusanos en las capas de areniscas y foraminíferos bentónicos como *Ambaculites* y *Haplophragmoides*. (González de Juana *et al.*, 1980).

- **Formación Carbonera (Cenozoico (Terciario: Eoceno tardío- Oligoceno) Colombia)**

Esta formación contiene los depósitos de carbón más importantes de Los Andes venezolanos. Está conformada por areniscas de granos finos, lutitas grises, lutitas carbonosas, limolitas y capas de carbón. La formación contiene capas de lignito y algunas calizas con *Hannatoma*. Se extiende a Táchira, Mérida y Zulia meridional; en los alrededores de San Antonio y de Cúcuta y en la región de El Arenal y Pozos Azules, entre otras muchas localidades. En el río Omuquena de Táchira nor-central aflora una buena sección., que podría utilizarse como sección de referencia en Venezuela. (González de Juana, *et al.*, 1980).

La segunda secuencia (T5-Figura 13) se depositó en el Oligoceno tardío-Mioceno temprano durante una inundación marina generalizada (Formación León en la cuenca del lago de Maracaibo, y Miembro Guardulio de la Formación Guafita en la cuenca Barinas-Apure. La base de esta secuencia es discordante y está marcada por truncamientos y superposiciones. (Tomado de Parnaud *et al.*, 1995).

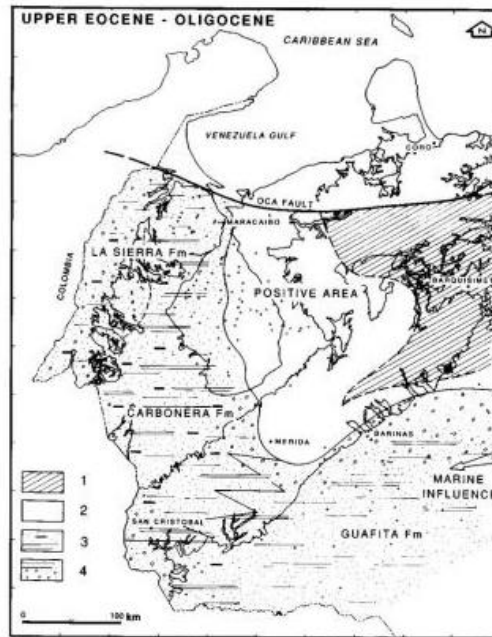


Figura 13. Paleogeografía de las secuencias depositacionales T4 y T5 del Eoceno Superior-Oligoceno. Leyenda: 1. Napa de Lara, posición actual; 2. áreas positivas; 3. Areniscas lacustres a salobres, lutitas y carbón; 4. deltaica con influencia marina, areniscas y lutitas. Tomado de Parnaud *et al.* 1995.

- **Formación León (Cenozoico (Terciario: Oligoceno- Mioceno) Colombia)**

Esta es una unidad de carácter parcialmente marino, caracterizada por un intervalo de lutitas grises con algunos horizontes fosilíferos no indicativos de edad y escasas capas delgadas de areniscas grises con material carbonoso regional, que constituye un cambio litológico contrastante entre las facies más arenosas de las Formaciones Carbonera y Palmar. (González de Juana, *et al.*, 1980)

Durante el Mioceno medio, un tectonismo compresivo a gran escala inició el Macizo de Santander, La orogénesis de los Andes de Mérida culminó en el Eoceno Plio-Pleis. La deformación también resultó en la partición o aislamiento del lago. El levantamiento rápido estuvo acompañado por sedimentación de melaza a lo largo del margen de la cordillera de los Andes de Mérida. Persistió sedimentación marina en la cuenca del lago de Maracaibo, pero gradualmente cambió a una paleogeografía de

aguadulce a medida que el ambiente marino se encogía hacia el norte. En la cuenca del lago de Maracaibo se inició una nueva fase transgresora durante el Mioceno medio y resultó en la deposición de Formación La Rosa. La Formación Betijoque fue depositada a lo largo de la Cordillera de Los Andes al mismo tiempo. (Tomado de Parnaud *et al.*, 1995).

- **Formación Palmar (Mioceno)**

Esta Formación está conformada por areniscas de grano fino con intercalaciones de arcillas y limolitas gris verdosas. Se han observado moluscos marinos contenidos en un intervalo de lutitas y limolitas en la localidad tipo.

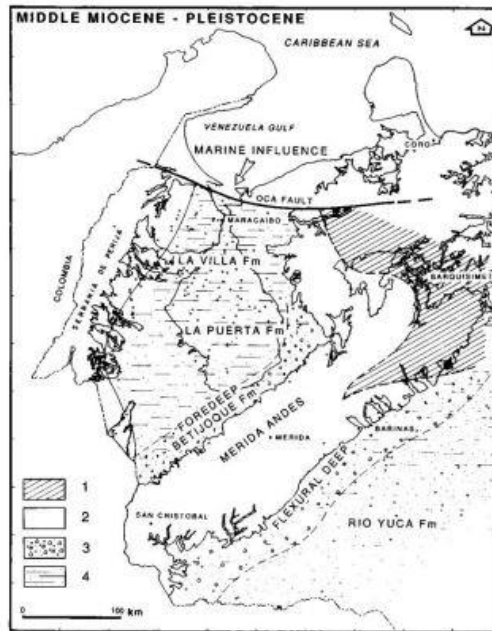


Figura 14. Paleogeografía de las secuencias depositacionales T7 del Mioceno medio-Pleistoceno relacionada con la orogénesis andina. Leyenda: 1. Napa de Lara, posición actual; 2: áreas positivas; 3.: depocentro molásico 4: deltáica con influencia marina, areniscas y lutitas. Tomado de Parnaud *et al.* 1995.

- **Formación Betijoque (Cenozoico (Terciario: Mioceno tardío- Plioceno) Estado Trujillo)**

Esta Formación representa el plioceno en Los Andes de Venezuela. Está caracterizada por arcillas macizas grises a negras, areniscas, limolitas y lutitas de colores grises. Es la última Formación aflorante en el flanco norandino desde Trujillo hasta Táchira. Se encuentra en fuerte discordancia angular con el cuaternario aluvional en casi todo el Flanco Norandino desde Betijoque (Estado Trujillo) hasta Táchira. Esta Formación representa una sedimentación continental, en gran parte fluvial, con coalescencia de conos de torres. (González de Juana, *et al.*, 1980)

- **Formación Carvajal Cenozoico ((Cuaternario: Pleistoceno), Estado Trujillo)**

En Los Andes se depositaron grandes espesores de aluviones, producto de abanicos aluviales y sedimentos de llanuras de inundación en diferentes lugares. En la zona de Valera-Betijoque estos sedimentos conforman las terrazas de Carvajal que corresponden a los sedimentos de terraza. La Formación Carvajal consiste de arenas y gravas macizas, frecuentemente con estratificación cruzada, mal estratificadas, mal cementadas, pardas y micáceas. La región tipo, consiste en gujarros y cantos mal escogidos de rocas ígneas y metamórficas, muy semejantes a las de los conglomerados de la Formación Betijoque infrayacente. Los sedimentos de esta formación representan abanicos aluviales, coladas de barro y sedimentos de llanura de inundación. La unidad bordea las regiones elevadas a lo largo del piedemonte noroccidental de Los Andes venezolanos (estados Táchira, Mérida, Trujillo y Zulia) (González de Juana, *et al.*, 1980)

CUATERNARIO

Para el cuaternario Los Andes de Venezuela habían alcanzado ya sus máximas alturas, aunque experimentaron fuertes cambios producidos por la alternancia de periodos glaciales e interglaciares que afectaron la mayor parte del territorio. En esta época ocurrió una considerable actividad tectónica cuya más dramática evidencia es la amplitud del relieve actual de Los Andes Centrales de Venezuela.

Las mejores evidencias de glaciación en la Cordillera Andina están dadas por rasgos geomorfológicos y sedimentarios producidos por el último avance glacial en la región central, la glaciación de Mérida. Los niveles de morrenas se encuentran tan bajos como 2600 m y tan altos como 3500 m. mientras que por encima de los 3000m ocurren valles glaciales en “U”.

En Los Andes se depositaron grandes espesores de aluviones producto de abanicos aluviales y sedimentos de llanuras de inundación en diferentes lugares. En la zona de Valera- Betijoque estos sedimentos conforman las Terrazas de Carvajal. En el piedemonte Andino-Llanero, entre los ríos Socopó y Santo Domingo conforman la Formación Guanapa mientras que en la zona de Mérida- Estanques están representados por grandes espesores a los lados del Rio Chama.

En la Figura 3 se muestra la columna generalizada de los Andes de Mérida y su correlación estratigráfica, podemos observar las Formaciones presentes en la zona de estudio y como es su comportamiento lateral en las zonas contiguas.

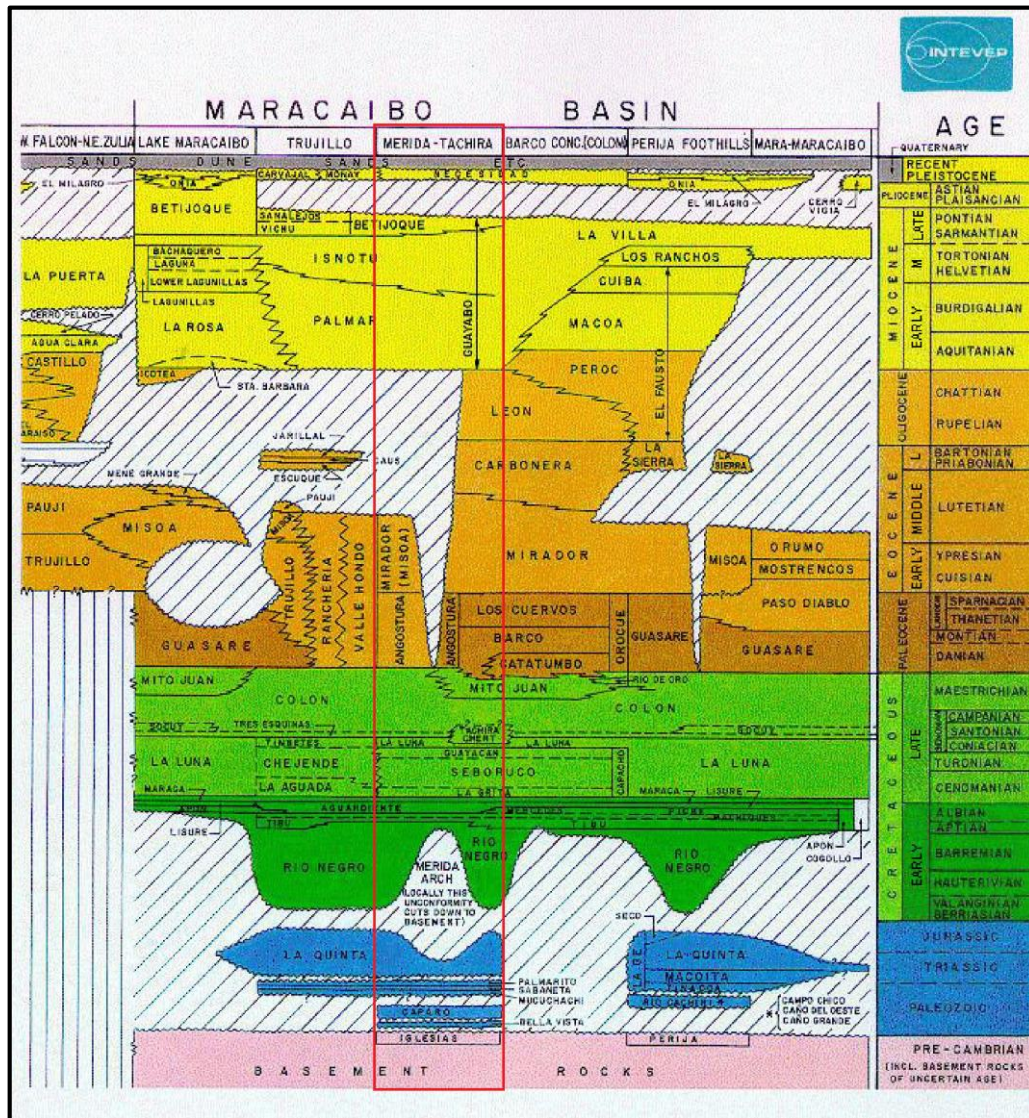


Figura 15. Columna de correlación estratigráfica de Los Andes venezolanos. Tomado de Guerrero, O. (2019)

III.1.2 Geología Estructural

La tectónica activa de Venezuela debe ser relacionada con la interacción entre las placas Caribe, Suramérica y Nazca e igualmente con otros bloques continentales de menores dimensiones atrapados entre las placas antes indicadas, donde esta interacción varía dramáticamente del Este hacia el Oeste (Audemard, F. 2002).

Los Andes de Mérida exhiben cuatro tipos de deformación activa: (1) Deslizamiento de rumbo dextral axial a lo largo de la Falla de Boconó y cuencas transtensionales relacionadas en geometrías de liberación (superposiciones o curvas) o profundos valles erosionales asentados sobre un lecho rocoso fuertemente fracturado. (2) Levantamiento vertical soportado por erosión o terrazas aluviales escalonadas deposicionales, disrupción de cuencas separadas o incisión profunda transversal de la cadena. (3) Acortamiento plio-cuaternalio a lo largo de la cadena, principalmente atestiguado en ambas estribaciones y no en el núcleo debido a la falta de depósitos jóvenes; y (4) sísmicamente activas (deslizamientos, avalanchas/flujo) profundas inestabilidades de la pendiente (es decir, propagación gravitacional) y licuefacción provocada por terremotos/deformación de sedimentos blandos. (Audemard, F. 2003)

La Falla de Boconó es uno de los rasgos neotectónicos más importantes de la parte noroccidental de América del Sur. La traza activa de esta falla, se caracteriza por presentar un movimiento transcurrente dextral, tener una traza superficial más o menos continua de aproximadamente 500 km, y frecuentes fallas que convergen o divergen con la traza principal. Se extiende en el occidente venezolano en dirección SO-NE entre la población de San Cristóbal, ubicada en proximidad de la frontera con Colombia y la población de Morón en la costa caribeña de Golfo Triste (Audemard, 2009). Esta falla genera una zona de fractura que se sitúa casi en posición axial a la Cordillera Andina, aprovechada por grandes ríos para entallar sus valles, lo que hace que sea claramente demarcada (Audemard 2003).

En su extremidad sur, la falla se conecta con el sistema de piedemonte llanero colombiano a través del Sistema de Fallas Chinacota – Bramón, luego de sufrir dos inflexiones en ángulo recto opuesto en la estructura conocida como Punzón de Pamplona. En su extremo norte, la falla tuerce 45° en forma horaria para conectarse al Sistema de Fallas Dextrales de dirección este-oeste que corren al norte de Venezuela continental (Falla de San Sebastián y El Pilar) (Audemard y Audemard, 2002).

La tectónica activa de Venezuela está relacionada con un complejo marco geodinámico que involucra la interacción entre las placas del Caribe, Suramericana y

Nazca, en conjunto con otros bloques continentales de menores dimensiones atrapados entre estas placas (Audemard, 2000). Ampliamente se ha aceptado que la placa del Caribe se mueve aproximadamente hacia el este respecto a la placa Suramérica (Bell, 1972; Pindell and Dewey, 1982; Sykes *et al.*, 1982), generando una zona de deformación transpresional (compresivatrascorrente) de más de 100 km de ancho (Audemard y Singer, 1997) que se extiende hacia el SO a lo largo de los Andes de Mérida, donde ambos piedemontes y la cadena montañosa son acortados transversalmente en dirección NO-SE. Mientras que, la Falla de Boconó acomoda este régimen de esfuerzos a través de un movimiento trascorrente dextral (Audemard *et al.*, 2005).

El régimen compresivo trascorrente es responsable de la formación del cinturón de deformación activo venezolano, caracterizado por la partición de esfuerzos. La deformación al norte de Los Andes está caracterizada por cadenas de montañas asociadas, principalmente, a fallas inversas y rumbo deslizante con direcciones preferenciales N-S a NE-SO (Taboada *et al.*, 2000). Al oeste de Venezuela, la frontera de placas alcanza unos 600 km de ancho y comprende un conjunto de bloques tectónicos que se acomodan y reajustan entre las placas más grandes (Caribe, Suramérica y Nazca), entre los cuales resalta el bloque de Maracaibo (Audemard, 2000)

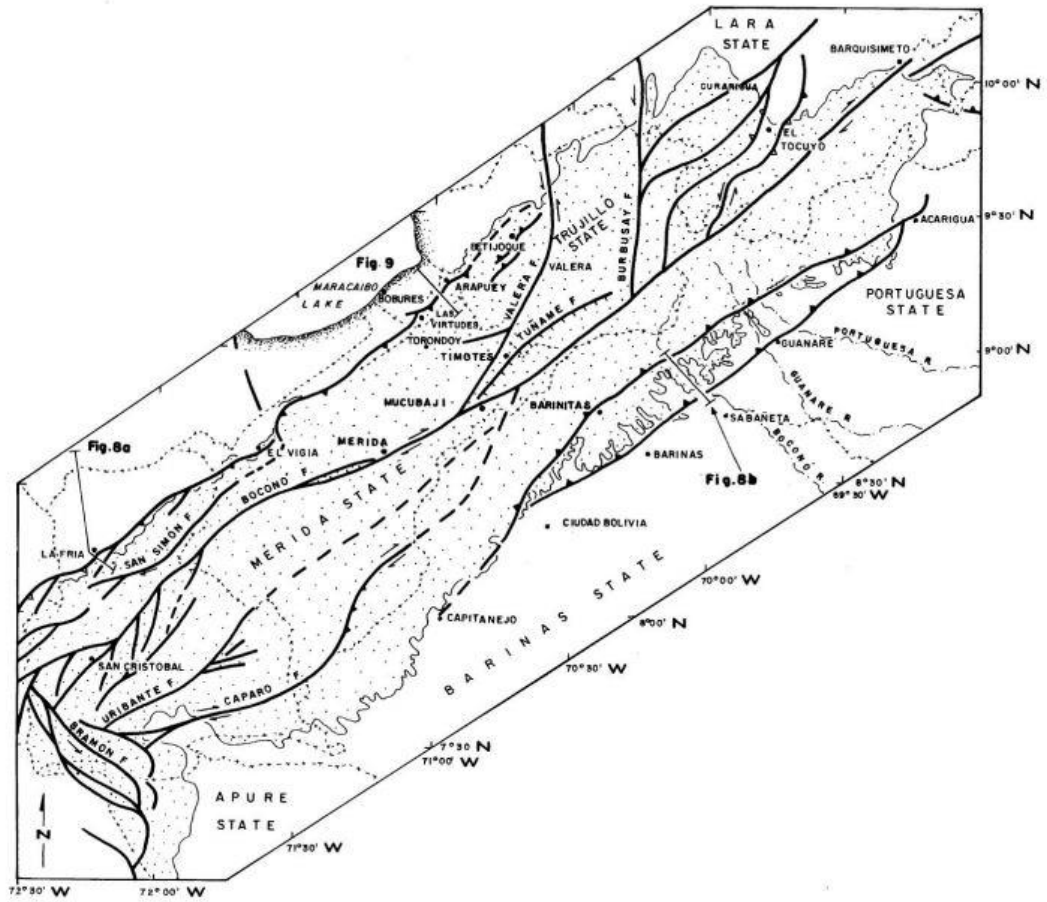


Figura 16. Principales rasgos Neotectónicos a los largo de Los Andes de Mérida. Tomado de Audemard, F. (2003)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La metodología aplicada en el siguiente proyecto es producto de la recopilación de distintas fuentes, el mismo fue dividido en cinco etapas las cuales se muestran en la Figura 17 y se mencionan a continuación:

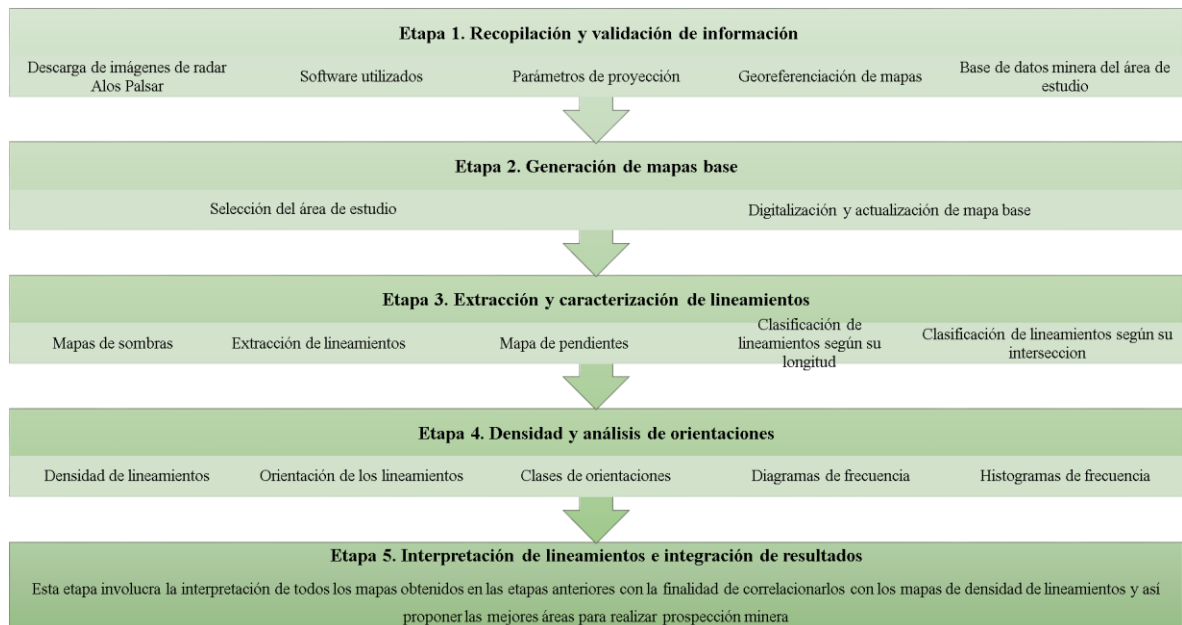


Figura 17. Esquema metodológico de la investigación

III.1 Etapa 1. Recopilación y validación de información

En esta etapa se recopilaron todos los materiales necesarios para la elaboración del proyecto. Los mismos se escogieron para conocer toda la información necesaria para llevar a cabo el mismo. En la recopilación bibliográfica se tomaron en cuenta:

- Tesis, publicaciones, boletines, trabajos e informes técnicos en las distintas áreas de las geociencias como lo son los sensores remotos, teledetección, geología estructural, lineamientos estructurales, estratigrafía, tectónica, yacimientos, entre otros trabajos que contribuyen al trabajo de investigación.

- Dos Hojas Cartográficas N° 5942 y 6042 correspondientes a La Azulita y Timotes respectivamente, a escala 1:100.000 facilitada por INGEOMIN.
- Mapas de la Creole Petroleum Corporation a escala 1:50.000 correspondiente a las hojas F-3 (F-3A, F-3B, F-3C, F-3D) y F-4 (F-4A y F-4C) descargados directamente desde la página oficial del Ministerio del Poder Popular para el Desarrollo Minero Ecológico.

III.1.1 Descarga de Imágenes de Radar Alos Palsar

Estas Imágenes de Radar fueron obtenidas a través del Satélite ALOS de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial, y su sensor PALSAR (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar), con resolución espacial de 12,5m. Estas imágenes fueron descargadas desde la página oficial de la NASA <https://search.asf.alaska.edu/>. Se utilizaron 5 escenas de 50km x 70km con las que se elaboró:

- Mosaico de las imágenes de radar con las escenas
- Modelo Digital de Elevación (DEM).
- Mapa de Sombras
- Mapa de Pendiente
- Procesamiento de curvas de nivel.

III.1.2 Softwares utilizados

El Software Qgis 3.16 fue utilizado para la georeferenciación de los Mapas Cartográficos y los Mapas de La Creole, así mismo para la digitalización y vectorización de las capas (Shapefile), fue utilizado para la extracción de los lineamientos y para la elaboración de todos los mapas temáticos mostrados en este proyecto.

La aplicación Google Earth Pro fue utilizado para mostrar una vista en 3D del área de estudio y así poder verificar que los lineamientos estuvieran trazados siguiendo la alineación de la topografía y de esta manera tener el menor error posible.

Stereonet es una herramienta que se utilizó para obtener las direcciones preferenciales de los lineamientos y así obtener los diagramas de rosas. Excel 2013 fue utilizado para calcular los histogramas de frecuencia.

III.1.3 Parámetros de proyección

Toda la base cartográfica utilizada fue transformada y corregida para el sistema de proyección de coordenadas Sirgas-Regven, Zona 19, Hemisferio Norte. Según el Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB).

III.1.4 Georeferenciación de mapas

Esta etapa es fundamental para la correcta digitalización de las capas base del área de estudio. Se georeferenciaron dos mapas 1:100.000 de las hojas cartográficas 5942 y 6042; y se georeferenciaron seis mapas de La Creole Petroleum Corporation correspondiente a las hojas F-3 (F-3A, F-3B, F-3C, F-3D) y F-4 (F-4A y F-4C).

Los mapas de la Creole están proyectados en un sistema de referencia local antiguo (Catedral de Maracaibo), y los elementos cartográficos están dibujados por métodos aerofotográficos y al no contar con un sistema de proyección formal, varios de estos elementos pueden presentar deformaciones y/o desplazamientos importantes.

Por este motivo la georeferenciación con el software por las vías usuales no ha sido posible. Se utilizó un método alternativo, utilizando puntos de control a través de las cartas de Cartografía Nacional y elementos conocidos y coincidentes dentro de los mapas Creole.

Se utilizó la mayor cantidad de puntos posibles para disminuir los problemas de desplazamiento y deformación para que la Geología se adaptara mejor a la realidad.

Teniendo márgenes de error en algunas zonas de aproximadamente 90 metros y menores en las zonas cercanas a los puntos de control.

Los mapas topográficos están proyectados en el sistema de referencia de La Canoa, se georeferenciaron los dos mapas 1:100.000 y se transformó a las coordenadas Sirgas-Regven, Zona: 19, Hemisferio: Norte. No presentaron ningún problema al ser georeferenciados.

III.1.5 Base de datos minera del área de estudio (registro histórico)

Para darle más veracidad a las posibles zonas de mineralización se tomaron en cuenta trabajos e informes técnicos ubicados en la Biblioteca Zonia Osorio de INGEOMIN con la finalidad de encontrar los lugares donde antiguamente se explotaban minerales y así cotejar esa información con los lugares donde hay mayor densidad de lineamientos.

Esta base de datos fue obtenida en la Gerencia de Información Geológica Minera de INGEOMIN, específicamente en la Coordinación de Informes, cuya biblioteca interna almacena información minera de todo el país.

Algunos de los informes técnicos encontrados corresponden al Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología entre los años 1936 a 1989, los demás corresponden a informes técnicos realizados para empresas mixtas, entre otros. En total se investigaron 16 trabajos en esa biblioteca.

Según toda la información encontrada las mineralizaciones mayormente provienen de diques pegmatíticos intrusivos, fracturas de origen hidrotermal, rocas sedimentarias, entre otros, que contribuyen de manera sustancial al reconocimiento de los tipos de mineralizaciones presentes en el área de estudio. (Ver tabla N°3)

III.2 Etapa 2. Generación de mapas base

En esta etapa se generaron los mapas base de la zona correspondiente a La Azulita y Timotes. Las capas utilizadas fueron digitalizadas de los mapas topográficos y los mapas geológicos y para actualizarlas se utilizaron imágenes de satélite obtenidas a través de Open Street Maps el cual permite tener obtener información de vías de acceso centros poblados, toponimia entre otros datos

III.2.1 Selección del área de estudio

El área de estudio corresponde a las hojas 5942 y 6042 del índice 1:100.000 de las Hojas de la Cartografía Nacional. Se le agregó un buffer de 1 km² en todo su perímetro para evitar problemas de falta de información en los bordes, según Valls, R. (2021). El área se extrajo mediante el uso de Qgis, utilizando el índice cartográfico 1:100.000 y seleccionando únicamente las hojas 5942 y 6042.

III.2.2 Digitalización y actualización de mapa base

A partir de los mapas de la Cartografía Nacional, imágenes satelitales y mapas de sombras se digitalizaron y actualizaron las capas base del área de estudio (Romero E. 2019). Las capas base actualizadas son:

- ❖ Curvas de nivel
- ❖ Drenajes y Cuerpos de agua
- ❖ Vialidad
- ❖ Topónimos (Poblados y Orográficos)
- ❖ Aeropuerto
- ❖ Elevaciones topográficas
- ❖ Cuencas
- ❖ Zonas protegidas

Las curvas de nivel fueron extraídas de manera automática utilizando el modelo de elevación digital (MED) y utilizando el software Qgis Desktop 3.16.10. A estas curvas

se les filtró las longitudes menores a 600 m, y para suavizarlas se utilizó el parámetro de 45 m de error. Las curvas se extrajeron cada 20 m y cada 100 m, previo a ello fue corroborada con los mapas topográficos de la zona.

Los drenajes, cuerpos de agua y los topónimos orográficos fueron digitalizados de los mapas topográficos a escala 1:100.000 con su respectiva tabla de atributos. La vialidad, poblados, aeropuerto, elevaciones topográficas y zonas protegidas fueron extraídos de manera automática a través de Open Street Maps verificadas con imágenes satelitales y las cartas topográficas de la zona y las cuencas fueron delimitadas con ayuda de los drenajes previamente digitalizados a partir de los mapas topográficos.

III.3 Etapa 3. Extracción y caracterización de lineamientos

Esta etapa involucra la extracción de los lineamientos así como también los criterios para caracterizar los mismos. Se utilizaron imágenes de radar obtenidas a través del Satélite ALOS de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial, y su sensor PALSAR (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar), con resolución espacial de 12,5m como lo realiza (Avellaneda, J., 2015) para extraer sus lineamientos con el objetivo de caracterizar la Península de Azuero.

El autor utilizó imágenes SRTM cuya resolución es de 30 m (menor resolución en comparación con el satélite Alos Palsar).

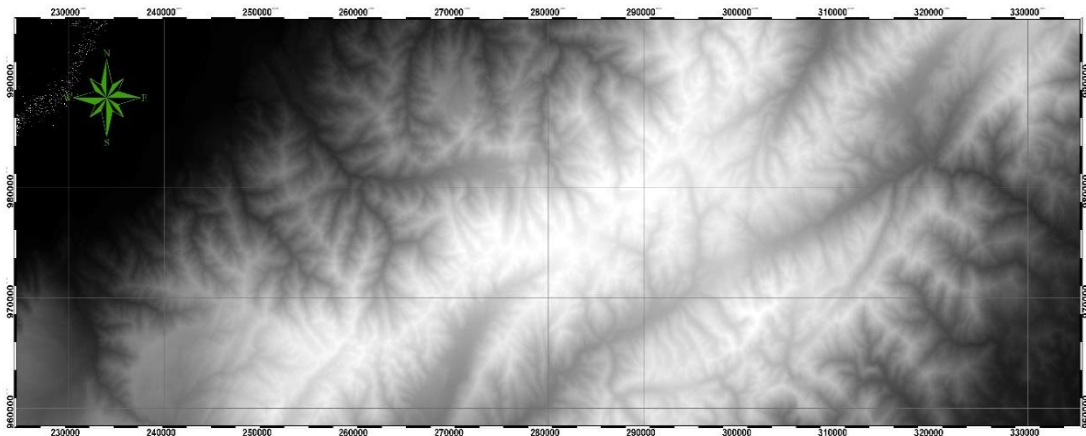


Figura 18. Modelo de Elevación Digital

La Figura 18 muestra el mosaico realizado del modelo de elevación digital (MED) Alos Palsar en donde se observan dos colores predominantes, el color blanco representa los relieves altos y el color negro los relieves bajos.

A partir de este mosaico se extrajo la siguiente información:

III.3.1 Mapas de Sombras (Hillshade)

III.3.1.1 Sombreado con variación de luz cada 45° de 0° a 315°

A partir del Modelo de Elevación Digital (DEM) mostrado en la Figura 18 se extrajeron los mapas de sombras (Hillshade) utilizando la metodología de sombreado con variación de luz cada 45° de 0° a 315°, que consiste en simular un efecto de iluminación desde un punto base con valores de azimuth y altitud de iluminación (Tabla N°2), es por ello que se hacen cambios en el azimuth solar cada 45 grados generándose así 8 imágenes con diferentes ángulos (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° y 315°). Utilizando el software Qgis 3.16.10, caja de herramientas de procesos-análisis de terreno raster- mapas de sombras (cada 45°). (Enríquez, Y. *et al.*, 2021). Los mapas se muestran en la Figura 23.

.Los mapas de sombras se hacen con la finalidad de resaltar el relieve para analizar la topografía tomando en cuenta las formas expresadas en superficie como la geometría basal, la continuidad de las formas topográficas, y la orientación de las crestas. Gross en 1951, explica que los lineamientos son: “Las características fisiográficas en línea recta o suavemente curvas en la superficie de la tierra”. Para complementar también fueron utilizadas las curvas de nivel cada 100m para observar estas características fisiográficas según la metodología propuesta por Valls (2021).

Tabla 2. Parámetros de los mapas de sombras realizados cada 45°. Los parámetros corresponden con el ángulo azimutal y ángulo vertical con respecto al sol

| | Mapa | Ángulo Azimut | Ángulo Vertical (inclinación solar) |
|------------------------|------|---------------|-------------------------------------|
| Combinación de ángulos | 1 | 0 | 45 |
| | 2 | 45 | 40 |
| | 3 | 90 | 45 |
| | 4 | 135 | 40 |
| | 5 | 180 | 40 |
| | 6 | 225 | 40 |
| | 7 | 270 | 40 |
| | 8 | 315 | 45 |

Cabe destacar que los ángulos verticales varían entre 40° y 45° para mejorar la visión de la imagen generada.

III.3.1.2 Sombras combinadas

Las ocho imágenes ráster sombreadas cada 45° como se puede apreciar en la Tabla 2, fueron superpuestas y combinadas utilizando el software Qgis 3.16.10 y aplicando transparencia al 50%, con el objetivo de producir una imagen con direcciones de iluminación múltiple. (Enríquez, Y. *et al.*, 2021) (Radaideh *et al.*, 2016).

Las combinaciones realizadas fueron las siguientes:

Combinación 1: 0°-90°-180°-270° (Figura 26)

Combinación 2: 45°-135°-225°-315° (Figura 27)

Combinación 3: 45°-90°-135° (Figura 28)

Combinación 4: 135°-180°-225° (Figura 29)

Combinación 5: 225°-270°-315° (Figura 30)

Combinación 6: 0°-45°-315° (Figura 31)

La combinación de diferentes ángulos de azimut de iluminación en una sola imagen proporciona información sobre los diferentes patrones espaciales de las características lineales que no serían visibles si solo se usara una sola imagen iluminada.

III.3.2 Extracción de lineamientos

Con ayuda del software Qgis 3.16.10, se creó una capa de líneas para marcar los lineamientos donde su tabla de atributos contiene información sobre: Id, longitud (Km), clasificación y rumbos (orientaciones).

La extracción fue trazada manualmente, considerando las formas expresadas en superficie tales como la geometría basal, la continuidad de las formas topográficas (alineación de crestas), el análisis de las pendientes, la orientación de las formas del relieve, formas de valles y los drenajes, por medio de dos técnicas de realce en Imágenes de Radar, sombreado con variación de la luz cada 45° (Figura 23) y sombreado combinado (Figura 24-29). Siguiendo la metodología de Olivera *et al.* 2009.

También fue tomado en cuenta los criterios fotogeológicos de López, (1971) para el reconocimiento de fracturas en fotogeología donde los define de la siguiente manera:

- Alineación de los arroyos
- Tramo de río o arroyo que corre en línea recta durante un cierto trecho
- Angularidad de la red fluvial
- Alineación de la vegetación
- Alineación de formas de disolución
- Franja estrecha y alargada, con una humedad superior al resto. Se caracteriza por su tono más oscuro
- Línea recta y neta, generalmente de un tono más oscuro que atraviesa la roca.

También se debe tomar en cuenta que la fotogeología tiene limitaciones y López, (1971) las define como:

- Dificultad de apreciación de las fracturas pequeñas
- Dificultad de apreciación de diaclasas
- Imposibilidad, en la mayoría de los casos, de apreciar la inclinación del plano de fractura
- Imposibilidad de apreciar las fracturas cuyo plano es horizontal
- Imposibilidad en varias ocasiones de distinguir una fractura de una falla

Criterios basados en la metodología de Valls, R. (2021)

- Ríos principales: lineamiento principal
- Arroyos: secundarios
- Cañadas y arroyos pequeños: terciarios

Es importante destacar que solo se trabaja en dos dimensiones (no en profundidad) entonces solo se tomara en cuenta datos de longitud y ángulo azimut (rumbo) Hernández, M. (2021).

III.3.3 Mapa de pendientes

Se elaboró un mapa de pendientes (Figura 30) utilizando la caja de herramientas de procesos del software QGIS, haciendo uso del mosaico de las imágenes de radar del Satélite ALOS PALSAR con la finalidad de realzar las pendientes y complementarlo con los mapas de sombras y así poder observar mejor las estructuras presentes. Para las salidas de los mapas se colocó el mapa de pendientes (50% de transparencia), los mapas de sombras (20% de transparencia) y el modelo de elevación digital (MED) (50% de transparencia).

III.3.4 Clasificación de lineamientos según su longitud

La metodología para clasificar los lineamientos es la usada por Valls, R. (2021) como explica en su conferencia. Según este autor los lineamientos se clasifican según su longitud en:

Principales: ≥ 10 Km o más largos

Secundarios: 5-10 Km

Terciarios: ≤ 5 Km

Circulares

Estos lineamientos se muestran en la Figura 35.

III.3.5 Clasificación de lineamientos según su intersección

Para extraer las intersecciones se utilizó el software Qgis en la barra de herramientas Menú- Vectorial- Herramienta de análisis- Intersección de líneas. Una vez obtenidas las intersecciones se clasificaron una a una de manera manual utilizando el criterio mostrado por Hernández (2021) en su trabajo inédito.

Según este autor las intersecciones o tipos de contactos se clasifican según su forma en: X, V y T. Las mismas están asociadas con el ángulo aproximado que se forma entre ellos. Así mismo las intersecciones de tipo T tendrán ángulos aproximados a los 90°, tipo X ángulos aproximados de 45° y finalmente las tipo V con ángulos aproximados de 30°. Estos datos se utilizaron para describir los lineamientos y así darle respuesta al segundo objetivo de este proyecto.

III.4 Etapa 4. Densidad y análisis de orientaciones

III.4.1 Densidad de lineamientos

Para sacar la densidad de los lineamientos se utilizó el software ArcGis- Spatial Analysis Tools- Density-Line Density, cuya función es contar líneas por unidad de área (número/km²). Esta herramienta genera un mapa donde se observa la concentración de los lineamientos. Mediante el software se clasificó la capa y se utilizó la paleta de colores del rojo al amarillo. (Ghazi, R. 2013).

Este análisis se realizó para calcular la frecuencia de los lineamientos con la finalidad de obtener una visión general de la distribución espacial de los lineamientos mostrados en la Figura 38.

III.4.2 Orientación de los lineamientos

Para construir los diagramas de rosa e histogramas se necesita las orientaciones de los lineamientos. Los mismos se calculan con la herramienta CoGo del software ArcGis de la siguiente manera:

En el editor-opciones se configuran las unidades en las que se va a trabajar; el tipo de dirección seleccionado es azimut norte y las unidades de dirección: grados decimales, dejando 4 decimales. Una vez configurada la herramienta, en la tabla de atributo de la capa "Lineamientos" se generan dos campos nuevos: distance tipo texto y direction tipo texto. Una vez hecho esto, en la caja de herramientas se enciende

III.4.4 Diagramas de frecuencia

Mediante el uso de Stereonet 11.3.0 se calculó el diagrama de rosas para toda la zona de estudio. Para realizar esto, la tabla de atributos de los lineamientos se exporta en formato txt y se sube al programa en File- Import file. En las opciones View-Inspector-Analyses-Rose Diagram se configura el tamaño del diagrama, utilizando como valores Bin size: 15° y Value of perimeter: 15%.

Estos diagramas se realizan con la finalidad de visualizar las tendencias generales y compararlo con las estructuras presentes en la zona.

III.4.5 Histogramas de frecuencia

El histograma de frecuencia se realizó mediante Excel 2013. Los datos tomados corresponden a la cantidad de lineamientos que existen cada 10° azimut (eje Y) tomando en cuenta el rumbo geológico (los datos van desde 0° hasta los 180° con respecto a los cuadrantes norte) y el acumulado de los lineamientos por cada intervalo de grados azimut (eje X).

III.5 Etapa 5. Interpretación de lineamientos e integración de resultados

Esta etapa involucra la interpretación de todos los mapas obtenidos en las etapas anteriores con la finalidad de correlacionarlos con los mapas de densidad de lineamientos y así proponer las mejores áreas para realizar prospección minera. Estas interpretaciones serán integradas con la finalidad de reducir el área y así proponer posibles lugares prospectos (Valls, R. (2021)). Las correlaciones que se harán para darle sentido a la interpretación de las zonas prospecto son las siguientes:

- Análisis de las zonas con mayor densidad de lineamientos (envolventes)
- Análisis de mapa de densidad de lineamientos Vs análisis geológico estructural
- Análisis de mapa de densidad de lineamientos Vs mapa de registro histórico

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se muestra los resultados y análisis divididos en seis secciones, se muestra: mapas base, registro histórico, generación de lineamientos, análisis de lineamientos, posibles zonas de interés minero y zonas propuestas. Es importante señalar que se dividió el área de estudio según sus zonas de mayor densidad de lineamientos en siete envolventes con la finalidad de hacer más sencilla la correlación.

IV.1 Mapa topográfico y mapas temáticos

Se generaron los datos vectoriales actualizados para la escala de trabajo 1:100.000 que pueden encontrarse en el proyecto SIG adjunto a este trabajo de investigación. En dicho proyecto están las capas de curvas de nivel, drenajes, vialidad, topónimos (poblados y orográficos), aeropuerto, elevaciones topográficas, cuencas y zonas protegidas con sus respectivos atributos (nombre, tipo, distancia, entre otros). De igual manera en el proyecto adjunto se puede encontrar los datos vectoriales de las unidades y estructuras geológicas.

A continuación se muestra el mapa topográfico, mapa de cuencas, mapa de zonas protegidas y mapa geológico utilizados como base en la interpretación de los lineamientos de la zona de estudio

IV.1.1 Mapa Topográfico

Este mapa es un producto (Figura 20) generado sumamente importante y primordial para la interpretación de los lineamientos, por medio de este, se generaron los mapas temáticos importantes para hacer análisis de diferentes índoles. Además, se realizó una descripción topográfica mediante la interpretación de las curvas de nivel

tomando en cuenta la altura, uniformidad, curvas principales y secundarias y sus tendencias a alinearse en direcciones preferenciales.

La zona que abarca las hojas cartográficas de La Azulita y Timotes, se pueden observar dos zonas diferenciadas principalmente por su altura: una primera zona definida como unidad de relieve alto caracterizado esencialmente por serranías de topes irregulares con dirección preferencial noreste suroeste en su eje principal, esta unidad representa aproximadamente el 95% de la zona de estudio. En su parte más elevada se aprecia abundancia de interconexiones de drenajes, evidenciando valles encajados intraserranos con la misma dirección noreste-suroeste. El patrón de estribaciones se mantiene homogéneo y abundante a lo largo y ancho de toda la unidad de relieve alto.

En la zona Nor-Central se observa una gran unidad de montaña, cuyas cotas oscilan entre 1500m en el poblado de Cacute y 3300m cerca de Mucumamo, se observa un valle intra-montino en forma de V cerca de Los Llanos con dirección este-oeste y en la zona de El Charal tiene una dirección noroeste, en la Zona NO: el drenaje fluye hacia el NO profundizando en el relieve hasta formar un gran cono de deyección explayándose hacia el extremo más NO en una llanura de sedimentación en la zona de Tucaní que se comunica con la cuenca del Lago de Maracaibo.

En la zona Sur-Central el control estructural destaca la geomorfología de esta zona donde se observa un gran valle en forma de U en dirección NE-SO, entallado por el drenaje principal (Rio Mucujún) cuyo patrón es rectilíneo siguiendo la misma dirección del mismo. Al este en el poblado de Cacute se observa otro valle intramontino en forma de V cuya dirección es NE-SO entallado por el Rio Chama y hacia el noreste entallado por el Rio Santo Domingo. En esta zona las cotas oscilan entre los 3800 y 4100 m de altura.

En la Zona NE se observan elevadas filas en dirección NE-SO cuyas cotas oscilan entre 2600m-4000m en los poblados de Chachopo, El Guamo, La Cuchilla y Santo Domingo y cuyos patrones de estribación observados en el SE con cotas 900m-2400m van en dirección NW-SE como se aprecia en la zona del Guayabal y El Maporal

formando parte de una unidad de relieve alto de montaña que predomina en toda el área de estudio.

Se observa un valle en forma de U en la zona NE cuyas cotas oscilan 2900m-3500m en los poblados de El Canutal-La Culata cuya dirección también corresponde con las filas que capitalizan el lugar. Se observan algunos valles en forma de V en la zona norcentral cerca del Páramo de los Granates con dirección NE-SO en toda su extensión y una garganta cerca del poblado de La Mitisus y Las Piedras.

En la Zona NW se observa una transición abrupta con otra unidad de relieve bajo ubicada hacia el noroeste de la carta en los poblados de Tucaní, Rio Frio y Capazón cuyas cotas oscilan entre los 600m-300m, constituyendo un 5% del área total de la zona de estudio. Esta unidad es definida como una planicie detrítica de bajo ángulo comprendida con una abundancia significativa de drenajes de tipo dendrítico a subparalelo con dirección NW. A lo largo de todo el flanco Norandino se observan varios conos de deyección en los poblados Tucaní, El Tesoro y Santa Elena de Arenales.

Se generaron los siguientes mapas temáticos de la zona como parte de los productos del proyecto:

IV.1.2 Mapa de cuencas

Las cuencas están definidas según la dirección de los drenajes principales y ordenados según el tamaño del área que ocupa, en la Figura 21 podemos observar que la zona fue clasificada en cuatro cuencas definidas a continuación:

CI: se encuentra ubicada en el oeste del área de estudio, comprendida de este a oeste desde La Pueblita-El Guamo y de norte a sur desde Pueblo Nuevo-El Chorotal. Esta cuenca representa el 36% del área de estudio. La migración de las aguas tiene tendencia NW siguiendo un patrón dendrítico sub paralelo con mayor densidad hacia el norte en donde la topografía es más baja y corresponde a una planicie aluvial. Y hacia el sur el drenaje es dendrítico paralelo asociado a topografías más altas. Esta cuenca está dominada por el Río Tucaní, Río Frio y Río Capaz.

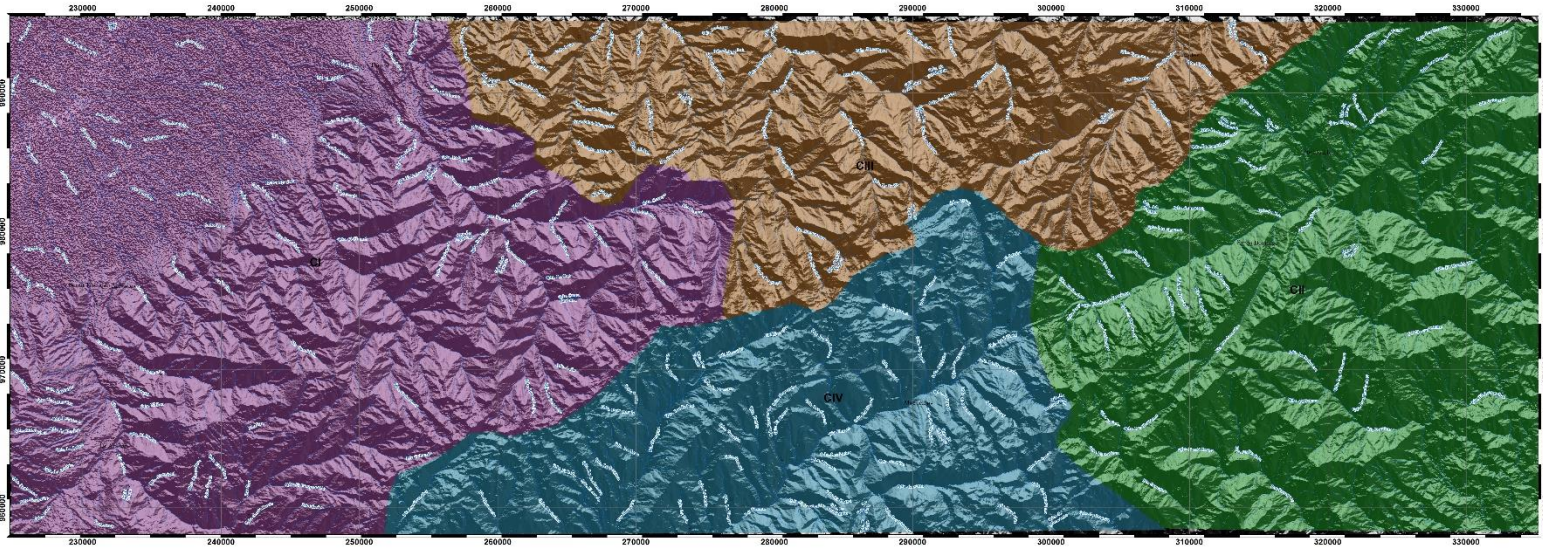
CII: se encuentra ubicada al este de la zona de estudio, comprendida de este a oeste desde Altamira-Peña Colorada y de norte a sur desde Llano Corredor-Guayabal. Esta cuenca representa el 27% del área de estudio. Los drenajes tienen dirección NE y convergen en el poblado de Las Piedras para cambiar su dirección de flujo a NW. Esta cuenca está dominada por el Río Santo Domingo, Río Pueblo Llano, Río Burate y Río Aracay.

CIII: se encuentra ubicada al norte de la zona de estudio, comprendida de este a oeste desde Las Porqueras-La Victoria y de norte a sur desde Mucuyupu-Almorzadero. Esta cuenca representa el 19% del área de estudio. Hacia el oeste se observa una mayor densidad de drenaje con comportamiento dendrítico paralelo cuyo sentido de migración de las aguas es hacia el norte, con tendencia hacia noroeste en la parte central. Hacia el este el drenaje mantiene su comportamiento de tipo dendrítico paralelo con direcciones de migración de las aguas hacia el noreste. En la totalidad de

la cuenca, el drenaje está controlado por topografías elevadas. Esta cuenca está dominada por el Rio Mucumamo y Rio Motatán.

CIV: se encuentra ubicada en la zona sur de la zona de estudio, comprendida de este a oeste desde El Salado-La Cana y de norte a sur desde Peña Colorada-Cacute. Esta cuenca representa el 18% del área de estudio. Los drenajes presentan una dirección preferencial suroeste de tributarios principales sub paralelas entre ellos con tributarios de menor dimensión de tipo dendrítico paralelo. Esta cuenca está dominada por el Rio Chama y Rio Mucujún

Se puede observar que en la mayoría de la zona, los drenajes son dendríticos y se asocia a una estructura rocosa homogénea a lo largo y ancho del área de estudio, los mismos están controlados por las Fallas que controlan el paisaje. Los drenajes principales en su mayoría están controlados por el sistema de fallas presente en el área de estudio, siendo el Rio Chama y el Rio Santo Domingo controlados por la Falla de Boconó, Rio Motatán controlado por la Falla El Águila, Rio Mucujún controlado por la Falla Mucujún y el Rio Tucaní controlado por fallas cuyo rumbo está en dirección hacia la cuenca de Maracaibo.



Legenda

Cuencas Hidrográficas

| |
|------|
| CI |
| CII |
| CIII |
| CIV |

Simbolos Convencionales

Centros Poblados

- Alquerías y Aldeguerías
- Pueblos

Hipometría

- Arroyos de Tiro
- Flujos de Nieve y Periglaciares
- Cuencas de Nieve y Escorrentías

Vegetación

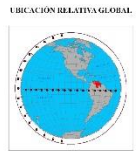
- Turberales y Comarcas

Desarrollos

- Desarrollos Industriales
- Desarrollos Portuarios

Escala 1:100.000

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
 DEL INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES MINERARIAS
 INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES MINERARIAS
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA
 ESCUELA DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA
 UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
 MARACAIBO, VENEZUELA
 2022



INDICE DE HOJAS ADYACENTES

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 84C | 84D | 84E | 84F |
| 84G | 84H | 84I | 84J |
| 84K | 84L | 84M | 84N |

ENLACE QR

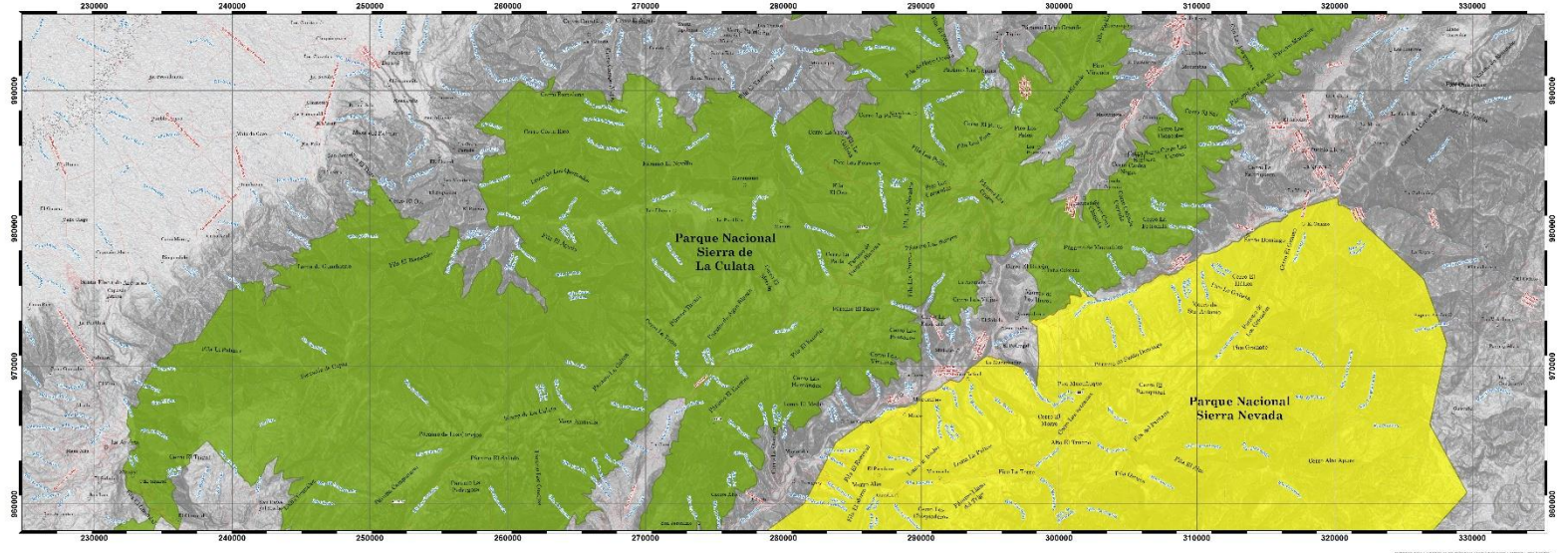
Figura 21. Mapa de cuencas de la zona de estudio La Azulita-Timotes. CI: dominado por el Rio Tucaní, Frio y Capaz; CII: dominado por el Rio Santo Domingo; CIII: dominado por el Rio Motatán y CIV: dominado por el Rio Chama

IV.1.3 Mapa de zonas de protección

En la Figura 21.1 se observa los parques nacionales que ocupan el área de estudio siendo estas el Parque Nacional Sierra de La Culata decretado el 7 de diciembre de 1989 por decreto ejecutivo N° 640 asentado en la Gaceta Oficial 34.439 de fecha 29/03/1990 y el Parque Nacional Sierra Nevada decretado el 2 de mayo de 1952 por decreto ejecutivo N° 393 publicado en la gaceta oficial N° 23.821 de fecha 2/05/1952

Según el Reglamento Parcial de La Ley Orgánica para La Ordenación del Territorio Sobre Administración y Manejo de Parques Nacionales y Monumentos Naturales en el Artículo 11 se dicta los usos prohibidos de un parque nacional o monumento natural entre los cuales está la minería y la explotación de hidrocarburos lo que le da un uso a este proyecto netamente académico y para fines del INGEOMIN le da herramientas para conocer posibles zonas de prospección y además buscar analogías de posibles prospectos en otras zonas de Los Andes.

El Parque Nacional Sierra Nevada ocupa un área de 2.764 Km² y El Parque Nacional Sierra de La Culata ocupa 2.004 Km², ambos ocupan un total de 4768 Km². Siguiendo este mismo orden de ideas la zona de estudio comprende un área de 4.056 Km² el cual corresponde aproximadamente un 85% del área de estos parques.



Leyenda

Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE)

- Parque Nacional Sierra Nevada
- Parque Nacional Sierra de La Culata

Simbolos Convencionales

Centros Poblados

- Capital del Municipio
- Poblado

Higrometría

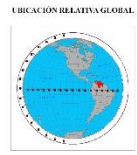
- Cursos de Agua
- Cursos de Nivel Intermedio
- Cursos de Nivel Subsuelo

Vialidad

- Tramados y Carreteras

Drenajes

- Drenaje Intermitente
- Drenaje Permanente



INDICE DE FOJAS ADYACENTES

| FOJA | FOJA | FOJA | FOJA |
|------|------|------|------|
| 94E | 94A | 94G | 94B |
| 94E | 94D | 94C | 94F |
| 94E | 44E | 94A | 94F |

TITULO QR

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
|--|--|--|--|

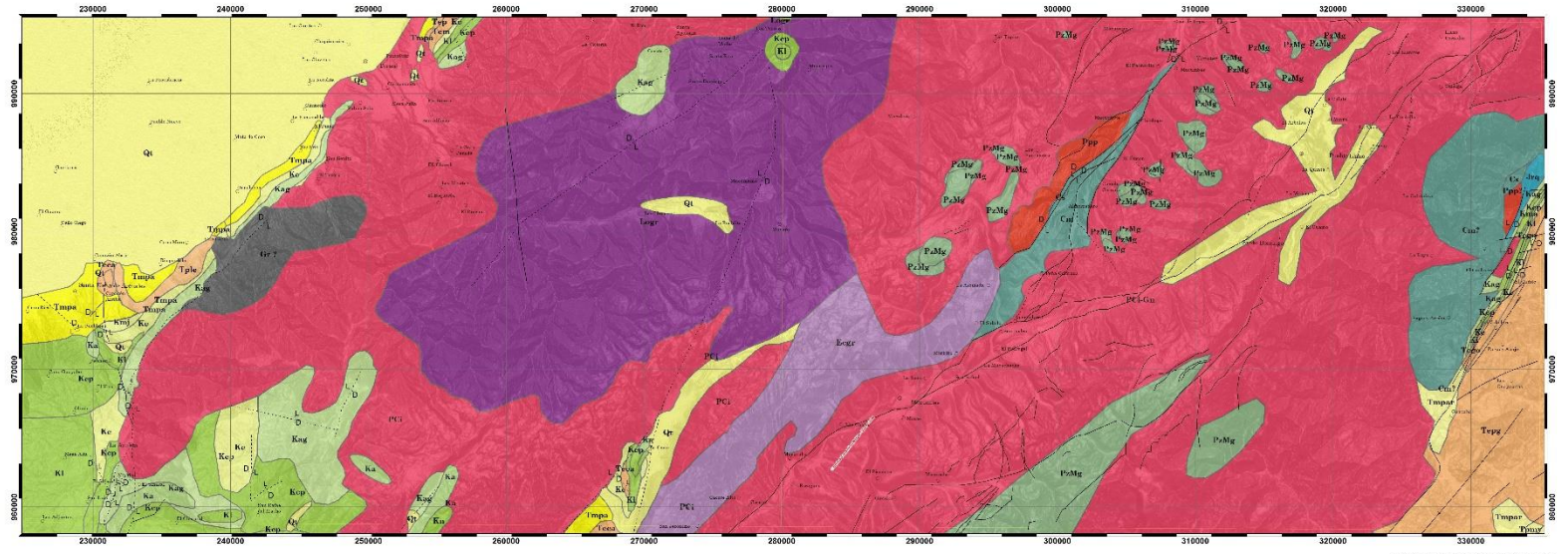
Figura 22. Mapa de zonas de protección

IV.1.4 Mapas geológicos

En la actualidad no existen mapas geológicos actualizados a escala 1:100.000 en la zona de estudio. Por tal razón para la actualización de estos mapas a la escala de trabajo de este proyecto fue necesario utilizar como base seis cartas elaboradas por La Creole entre los años 1956 y 1963 (F3: A, B, C, D y F4: A y C), el Mapa Geológico de Venezuela a escala 1:750.000 de Hackley *et al* (2006), el informe de Useche, A. (1973). Geología de la región de La Azulita, Estado Mérida y modelos de elevación digital. Se actualizaron dos mapas geológicos de las hojas 5942 y 6042 correspondiente a La Azulita y Timotes respectivamente escala 1:100.000. Ver Figura 23.

En rasgos generales en la carta el predominio mayoritario corresponde a terrenos precámbricos compuestos por granitos, gneises, entre otros, que se encuentran en contacto discordante con la Granodiorita del Carmen, Granito de La Culata y otras Formaciones y Asociaciones que se encuentran a su alrededor y su edad corresponde al Mesozoico específicamente estas se encuentran ubicadas en la unidad definida como de relieve alto (Figura 20). Esto se aprecia en la zona de Chachopo ubicada en el noreste en la zona septentrional, Las Mesitas ubicado al noroeste zona septentrional, Serraría del Capaz ubicado al suroeste, entre otros. De igual manera en los flancos de esta unidad de relieve alto (parte sureste y noreste, incluyendo la zona suroeste de la unidad de relieve alto), se aprecian terrenos sedimentarios con edad cretácica asociadas a las Formaciones Colón, La Luna, Capacho, Aguardiente, entre otros.

Respecto a las estructuras, la zona se encuentra capitalizada por la principal fuente deformante (Sistemas de Falla de Boconó), ubicada espacialmente en la zona centro sureste de la carta, abarcando una longitud aproximada de 60 Km en sentido NE-SW. Formando parte de este sistema, se aprecian otras familias de fallas (Falla de Mucujún, Falla de Tuñame, entre otras) paralelas a la falla principal, con longitud aproximada de 25 Km. Por otra parte entre los contactos de unidad de relieve alto y relieve bajo (Flanco norandino y surandino) se aprecian fallas de corrimientos (Corrimiento de las virtudes y Corrimiento del flanco surandino).



Leyenda

| | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Geología | Isoceno - Mi. Gobernador: Igo | Carabobo - Mi. Apacuribo: Kag | Mono-Panorama: Mi. Mamari: Mpp? |
| Edad, Formación, Abreviación | Piscano - Mi. Bolívar: Bop | Carabobo - Mi. Zapicho: Kip | Carbonífero - Mi. Maraboni: Cim |
| | Cocora - Mi. Bolívar: Bco | Carabobo - Mi. Capacho: Kcp | Carbonífero - Mi. Maraboni: Cim? |
| | Chalchaco - Mi. Guayana: Cg | Carabobo - Mi. La Cruz: Kc | Carbonífero - Mi. Bolívar: Cib |
| | MacPicozo - Mi. Teriguá: Tmpg | Carabobo - Mi. Mita: Km | Historiada - Super. Guayana: HSG |
| | Mio-Piscano - Mi. Maraboni: Mpp | Carabobo - Mi. La Cruz: Kc | Panamorica - Concha: Ipan: CCI |
| | Metapiscano - Mi. Bolívar: Bmp | Carabobo - Mi. La Cruz: Kc | Panamorica - Concha: Ipan: CCI-G |
| | Mioceno - Mi. Tachira: Tm | Carabobo - Mi. La Cruz: Kc | Historiada - Super. Guayana: HSG-G |
| | Chalchaco - Mi. Guayana: Cg | Carabobo - Mi. La Cruz: Kc | Historiada - Super. Guayana: HSG-G? |
| | Chalchaco - Mi. Guayana: Cg | Carabobo - Mi. La Cruz: Kc | Historiada - Super. Guayana: HSG-G? |
| | Chalchaco - Mi. Guayana: Cg | Carabobo - Mi. La Cruz: Kc | Historiada - Super. Guayana: HSG-G? |
| | Chalchaco - Mi. Guayana: Cg | Carabobo - Mi. La Cruz: Kc | Historiada - Super. Guayana: HSG-G? |

Simbolos Convencionales

| | | | |
|--|----------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Fallas Geológicas | ----- Fallos Interfas Observadas | Centros Poblados | Hidrografía |
| Tipo | ----- Fallos Observadas | ● Ciudad Municipal | ○ Puerto de Cruz |
| ----- Anclinal | ----- Sindinal | ○ Poblado | ○ Ciénaga de Bolívar |
| ----- Eje Aproximado del Arco de Santa Bárbara | | | ○ Ciénaga de San José |

Escala 1:100.000

UBICACIÓN RELATIVA GLOBAL

UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL

UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL

INDICE DE FOJAS ADYACENTES

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 84E | 84N | 84O | 84P |
| 84E | 84O | 84P | 84Q |
| 84E | 84Q | 84R | 84S |

INACT QR

Figura 23. Mapa Geológico de La Azulita y Timotes

IV.2 Registro histórico

IV.2.1 Tabla de registro histórico

Se generó una tabla con la recopilación de información de antiguos informes técnicos tomados de la Biblioteca Zonia Osorio los cuales contienen información de estudios con fines mineros en el Estado Mérida realizado en la Etapa 1 de recopilación y validación de información. El mismo se realizó con la finalidad de conocer las zonas con potencial minero que se encuentran en la zona de estudio. La información de las cotas de estos trabajos puede encontrarse en el proyecto SIG adjunto a este trabajo de investigación. A continuación se muestra la información recopilada en la Tabla N°3.

Los detalles de la información contenida en el registro se encuentran en el apartado IV.5.1 “Análisis de densidad de lineamientos Vs registro histórico”. Los mismos fueron agrupados por las envolventes que contienen mayor densidad de lineamientos.

En esta tabla se muestra 18 informes que reportan minerales asociados con Uranio, sulfuros, cobre, alteraciones hidrotermales, pegmatitas, granitos, entre otros descritos de manera más detallada en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 3. Tabla de registro histórico.

| AUTOR | AÑO | TÍTULO | APORTES DEL TRABAJO | MINERAL/ROCA/ELEMENTO | DESCRIPCIÓN DEL MINERAL | LUGAR DE MINERALIZACIÓN | UBICACIÓN RELATIVA | USOS DEL MINERAL |
|-------------------|------|---|--|--|--|---|--|--|
| Davey, John | 1944 | Notas sobre algunos minerales radioactivos de Los Andes Venezolanos | Se realizó un estudio de dos muestras en la zona de Timotes. Se probó que las muestras efectivamente son radioactivas y su edad se encuentra en los límites de la geología local | Tyuyamunita o calciocarnita, vanadato hidratado de Uranio y Calcio | Muestra A: 5 gramos de muestra. Fue hallado en forma de polvo amarillo, terroso o incrustado en minerales parecidos al Granate. Alrededor del sitio donde se consiguió el mineral, el Feldespato y el Cuarzo del dique estaban manchados de rosado y amarillo | Centro del Dique Pegmatítico principal | Cerro Santa Ana Lucía, situado al N-O de Timotes Edo. Mérida | Extracción de sales de Uranio y Radio. Las sales de uranio se utilizan para producir los vidriados amarillo-oro en cerámica y vidrios anaranjados y también usados en pequeñas cantidades para añadir lustre e iridiscencia a estos productos. El Radio se usa principalmente en el tratamiento del cáncer, en la preparación de pinturas luminosas y en el descubrimiento de fallas internas en aceros y aleaciones |
| | | | | Pechblendita (autonita torbernita) | Muestra B: 6909 gramos de muestra. Nódulos con cubierta de material radioactivo oxidado, color amarillo o verde y debajo de esa cubierta un mineral negro aterciopelado de fractura irregular. | Estos nódulos se encuentran esporádicamente en una pegmatita-granítica intrusionada en un granito-biotítico de grano fino semejante al de la concesión de Santa Lucía (Timotes) | Cantera "El Carmen" al N-E del Edo. Mérida | |
| Guillermo Zuloaga | 1936 | Informe Geológico sobre los yacimientos de mica de la Región de Timotes y Chachopo, Edo. Mérida | Se realizó un estudio de los Yacimientos de Mica donde la concesión es de la empresa Venezuela mica. Se estudiaron los Diques de Santa Lucía y Chachopo para conocer el potencial minero de la zona. Se concluyó que Santa Lucía es donde existe mayor % de rentabilidad para ser explotado. | Mica, Berilo y Columbita | La mica se encuentra en cristales o libros que en término medio (de la mica explotable tienen un ancho de unos 10 cm. La mayor concentración esta hacia el techo del filón, asociado con Turmalina. Estos yacimientos se encuentran a 2500 y 2800 msnm en Los Andes Merideños. | En Timotes se encuentra en diques 81nálisis81co81 intrusivos, asociada con feldespatos potásicos, cuarzo y turmalina | Santa Lucía Se explotó en una ladera sobre la quebrada "Bailón" | - |
| | | | | | | Dique de Chachopo intrusionado en esquistos metamórficos. Roca regional esquistos y pizarras | Santa Elena. Chachopo, Río Motatán | - |
| Sin autor | - | Recursos minerales del Estado Mérida | Conocer los recursos minerales que se encuentran en el Estado Mérida | Sulfuros Masivos: Zinc, Plomo, Cobre, Plata | La veta consiste de Galena Argentífera en cristales de tamaño medio y con alto contenido de plata y pequeñas cantidades de sulfuros en concentraciones masivas en cuarzo lechoso | De tipo hidrotermal, emplazada a través de una falla o fractura que corta una roca de origen volcánico en contacto discordante con la Formación Sierra Nevada | Bailadores o Las Tapias. Suroeste de la Cordillera de Los Andes al sur de Bailadores | - |

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------|--|--|--|---|
| | | | | Cobre | Depósitos Volcanogénicos | En bailadores yacimiento de polisulfuros, que se constituye por una zona de depósitos Volcanogénicos. El cobre esta alrededor de 1,5% al 2%. | Bailadores, Timotes, Lagunillas, Chachopo, El Volcán, Jají, Pueblo Nuevo | - |
| | | | | Margarita | Filitas y Esquistos cuarzo-micáceos cloríticos. Se presenta en láminas delgadas, blanco perlado | Producto secundario de la alteración del corindón | Al sur de Bailadores | - |
| | | | | Pizarra | - | pertenecen a la Formación Mucuchachí | Tovar, Guaraque, Bailadores, Vía Libertad de Canaguá y El Molino | Esta roca puede reemplazar la teja de cualquier tipo de construcción |
| | | | | Rocas Fosfáticas | Homogéneas, color verde oscuro | Fosforita del Miembro Tres Esquinas | Región de Jají, Chiguará, La Sabana, Ríos Guaruríes-Culegrías, Las Hernández | - |
| | | | | Arcillas Caolínicas | Rocas silíceas duras de grano muy fino, arenisca estratificada gruesa, Lutitas Negras, Calizas Fosfáticas, Fosforitas Silíceas, capas de flarita. Poseen alto contenido de Caolinita | Niveles caolínicos asociados a a intervalos pelíticos del Miembro Quevedo de la Formación Navay | Santa Marta de Caparo | - |
| | | | | Pegmatitas | Reservas de Pegmatitas más importante del país | enomes cuerpos intrusivos acidos asociados con el 82nálisis82co. Formación Sierra Nevada | Region Central de Mérida. Peñas Blancas, San José de Acequias | Reservas probadas de 5*10*6 Tm, pueden producir concentrados de feldespato 82nálisis y muscovita. Industria de la cerámica |
| | | | | Feldespatos | - | Asociación con cuerpos pegmatíticos | Páramo de Mucuchíes | Evalutados 1.500.000 Tm. La producción de feldespato es utilizada en las industrias de la cerámica, sanitarios y porcelanas |

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|------------------|---|---|---|---|
| | | | | Carbonato Sódico | Esta laguna tiene alto contenido en carbonato sódico 27%, Bicarbonato de Sodio y Sal | Laguna | Lagunillas. Laguna de Urao | El carbonato sódico se utiliza en la industria de fabricación de vidrio. Se utiliza en la fabricación de jabones comerciales en polvo y para la industria textilera. Se usa para producir soda caustica a la cal, ablandar aguas duras, flotar minerales, desulfurar hierro y acero. Indispensable en la fabricación de aluminio, la pulpa de madera y en la industria del papel |
| | | | | Arenas y Gravas | Manto aluvional discontinuo de espesor variable, drenado por el Rio Chama y sus tributarios | Graben del Rio Chama | Lagunillas | Tienen gran importancia económica y fueron explotadas por empresas para suministrar agregados para concreto a la industria de la construcción |
| | | | | Granito | Plagioclasa, Cuarzo, Microclino, Biotita y Moscovita. A veces Mimerquita | Granodiorita El Carmen y La Adamelita de La Culata | La granodiorita El Carmen está en el Centro de Muchuchíes y La Adamelita en el noroeste de Muchuchíes | - |
| | | | | Uranio | - | Intrusiones graníticas, Fm. Sierra Nevada, Fm. El Águila y Fm. Sabaneta | Mucuchíes. El Banco, Los Buitres, Piedras Blancas, Los Nevados, Las Cruces y Los Caracoles | - |
| | | | | Calizas | - | Grupo Cogollo, Fm. Capacho, Apón, La Luna Y Colón | Páramo de Los Conejos, Hacienda Bachaquero: Dtto. Andrés Bello | Industria del cemento |
| | | | | Carbón | - | Formación Carbonera | Piedemonte Andino Norte. El Portón hasta La Fria | Puede superar 50 millones de toneladas |

| | | | | | | | | |
|--------------------|------|---|--|--------|---|---|--|---|
| Simón E. Rodríguez | 1974 | Depósitos de minerales metálicos de Venezuela | Contribuye a la localización de zonas con potenciales mineros | Cobre | - | En Timotes: Óxidos de cobre en rocas graníticas alteradas hidrotermalmente. Lagunillas-Bailadores: diques mineralizados, vetas de calcopiritas y óxidos de cobre. Bailadores-Guaraque: vetas con alto porcentaje en calcopirita | Timotes, Lagunillas-Mérida, Bailadores-Guaraque | - |
| | | | | Zinc | Vetas caracterizadas por Sulfuros masivos | Asociada con el plomo. Se encuentra en Esfalerita oscura, variedad marmatita, galena, pirita y calcopirita | Bailadores | - |
| | | | | Plata | - | Depósitos de Pb- Zn | Bailadores y Lagunillas. Lima II | En Bailadores: 77, 68 y 80 gr/ton y en Lagunillas varía entre 1000 y 4000 ppm |
| | | | | Plomo | En Lagunillas está constituida por una Galena Argentífera. En Bailadores existe una intensa mineralización de Plomo en Vetas de Sulfuros Complejos masivos o en Galena en vetas de Cuarzo | Asociados con vetas de cuarzo hidrotermales o con mineralizaciones complejas del tipo Cu-Zn-Pb | Lagunillas y Bailadores | - |
| Manuel Tello B | 1939 | Estado actuales y perspectivas de la minería en Venezuela | El autor expone los hechos resaltantes de la minería y sus perspectivas de desarrollo de los minerales explotados para ese tiempo, como el Oro, Diamante, Hierro y Amianto | Mica | Cristales o libros de un término medio de 10 cm de diámetro con cristales de hasta 20 cm | Diques pegmatíticos intrusivos asociados con Feldespato Potásico, Cuarzo y Turmalina. Las micas están asociadas con Berilo y Columbita | Timotes y Chachopo. Santa Lucia (Timotes), Santa Elena (Chachopo). Quebrada Bailón | - |
| Carlos J. Ponte R. | 1951 | Resumen sobre las investigaciones de minerales de Uranio y otros elementos radioactivos en Venezuela período junio a octubre 1951 | En este trabajo se realizó una recopilación de información de zonas a nivel nacional donde existe presencia de minerales radiactivos | Uranio | - | Pegmatitas | Timotes, El Carmen | - |

| | | | | | | | | |
|--------------------|------|--|---|--------------|--|-------------------------------|--|---|
| Muñoz Isabel Maria | 1981 | Estudio geoquímico regional de Cobre y Zinc en el Estado Mérida | Se analizaron 191 muestras de sedimentos fluviales y los resultados permitieron definir varias anomalías de Zn, Cu y de Zn-Cu. Se llegó a la conclusión de que la correlación de los elementos analizados tiende a ser negativa | Zinc y Cobre | 191 muestras de sedimentos fluviales. Formación Mucuchachí | Sedimentos Fluviales | Bailadores, El Vigía, Timotes, Jají. Bailadores: Quebrada Las Tapias. Jají: Afluente Río Chama | - |
| Eduardo A. Moya R. | 1973 | Estudios geológicos-geoquímicos de la zona de Timotes, Páramo de Mérida, Estado Mérida | Búsqueda de yacimientos Tipo Stockwork. La intersección de dos sistemas de fallas Río Chama y Río Motatán con fallas de segundo orden, la presencia de pórfidos e indicios de mineralizaciones Cupríferas son características que se consideran favorables para la formación de yacimientos del tipo Cobre Porfídico con posibles asociaciones de metales Pb, Zn y Mo. Se encontraron zonas mineralizadas al sur de Chachopo, Sierra Nevada, Quebrada corcovada | Cobre | Rellenos de fracturas de Cuarzo y Calcopirita | Cuerpos graníticos porfídicos | Timotes, Páramo de Miranda. Cuenca del Río Motatán y sus tributarios entre el Pico de Águila y la Ciudad de Valera | - |
| | | | | Mn y Pb | Limonita | Alteración hidrotermal | La Corcovada. Población de Mucutujote | - |
| - | 1944 | Informe preliminar sobre los yacimientos de Mica, Berilo y otros minerales de la Región de los Andes Venezolanos | Añadir datos al Mapa Geológico de Venezuela mediante trabajos de campo en los Andes Venezolanos | Mica | Sin valor comercial para la industria de guerra | Dique pegmatítico | La González, Mérida. Río Chama, localidad San Luis o Chichui | - |
| | | | | Berilo | Cristales muy pequeños, sin valor comercial | Pegmatitas | San Rafael de Mucuchies, Pueblo Llano | - |

| | | | | | | | | |
|---------------------------|------|--|--|--|--|---------------------|--|--|
| Sin autor | | Recursos minerales del Estado Mérida | El siguiente informe resume los recursos minerales que se encuentran en el Edo. Mérida. | Aguas Termales | - | - | Mérida, Bailadores, Zea, Estanques, Lagunillas. Norte Río Chama, al norte de la carretera entre La González y La Punta, norte de la carretera entre Mucurubá y Mucuchíes, Torondoy y San Cristóbal | - |
| | | | | Arcillas | - | - | - | - |
| | | | | Alunita | Sulfato hidratado de Aluminio y Potasio | - | Páramo de Los Conejos, Ejido, Lagunillas y Mucuchíes | Fuente de potasa. En la segunda guerra mundial se utilizó para obtener sulfato potásico y en Europa se usa en tintorería, preparación de pieles y fotografía |
| | | | | Calizas | | | Mérida | |
| Juana Maria I. de Arozena | 1969 | Informe petrológico de rocas aflorantes en el área de Timotes, Estado Mérida | En el informe se analizaron 124 muestras localizadas en la hoja de Timotes, de ese análisis petrográfico se establecieron las siguientes rocas: RI: Granitos, RM: Gneis, esquistos, anfibolitas, cuarcitas, metaareniscas, filitas, metalimolitas, RS: calizas | Granitos, Gneis, Esquistos, Anfibolitas, Cuarcitas, Metaareniscas, Filitas, Metalimolitas, Calizas | - | - | - | - |
| Felix Galavina | 1951 | Informe preliminar de la prospección de minerales radiactivos en los andes venezolanos | El Ministerio de Minas e Hidrocarburos efectuó una prospección minera a lo largo de los Andes Venezolanos, específicamente a lo largo de la carretera trasandina | Plomo | Contenido de Plomo al 80%. Se asume Galena | Vetas Hidrotermales | Boconó, Región del Río Burate. Entre los caseríos de Tostós y Niquitao | - |

| | | | | | | | | |
|-------------------------|------|--|--|--------------------|--|---|---|---|
| | | | entre las ciudades de Boconó (Trujillo) y San Cristóbal. En este informe se especifican los resultados del estudio realizado entre las poblaciones de Valera (Trujillo) y Timotes (Mérida). Se hicieron mediciones de radiactividad utilizando un contador Geiger Mueller Modelo 263-A | Granitos | - | Rocas ígneas ácidas (Granitos), sedimentos del cretácico aluvionales, rocas metamórficas. | Población La Puerta (Timotes) y Valera La Puerta | - |
| | | | | Pegmatitas | - | Pegmatitas micáceas, tumaliniticas | Entre los km 11, 12, 13 y 14 de la carretera nueva entre Las Puerta y Timotes | - |
| Enrique Araujo Quintana | 1956 | Estudios sobre minerales radioactivos en los estados Mérida y Táchira | La Dirección de geología se encargó de localizar fuentes sustanciales de Uranio en el territorio venezolano. En el caso de los andes venezolanos se llegó a la conclusión que dichas capas se extienden a lo largo de la cordillera, probablemente hasta Trujillo. | Calizas Fosfáticas | 0,013% equivalente de Uranio. Formación La Luna | Calizas Fosfáticas | Jaji | - |
| | | | | Calcopirita | Calcopirita. 0.011 y 0.013% equivalente de Uranio. Formación Colón | Arenisca piritosa | - | - |
| | | | | Granito | 0,006% de Uranio | Pertenece al macizo de Capaz | La Azulita | - |
| | | | | Cobre | Yacimientos de Cobre | - | La Grita, El Cobre y Seboruco | - |
| Carlos Carmo | 1954 | Informe Radiométrico: Zonas de radioactividad positiva localizadas en los estados Táchira y Mérida | Realizar una investigación de zonas favorables para obtener minerales radioactivos en los estados Mérida y Táchira. La exploración radiométrica en Mérida cubrió las rutas siguientes: Mérida-La Azulita carretera panamericana, Mérida –Estanques- El Vigía y Bailadores-Mérida | Granito | Contenido de 0,006% de Uranio | - | Caño Hondo. Proximidades de La Azulita, macizo de Capaz | - |
| | | | | Granitos y Gneis | Contenido de 0,003 a 0,004% de Uranio | - | La Azulita | - |
| | | | | Lutita | Formación Palmarito contiene 0,004% de Uranio | - | La Grita y Bailadores.4 Km de Portachuelo | - |

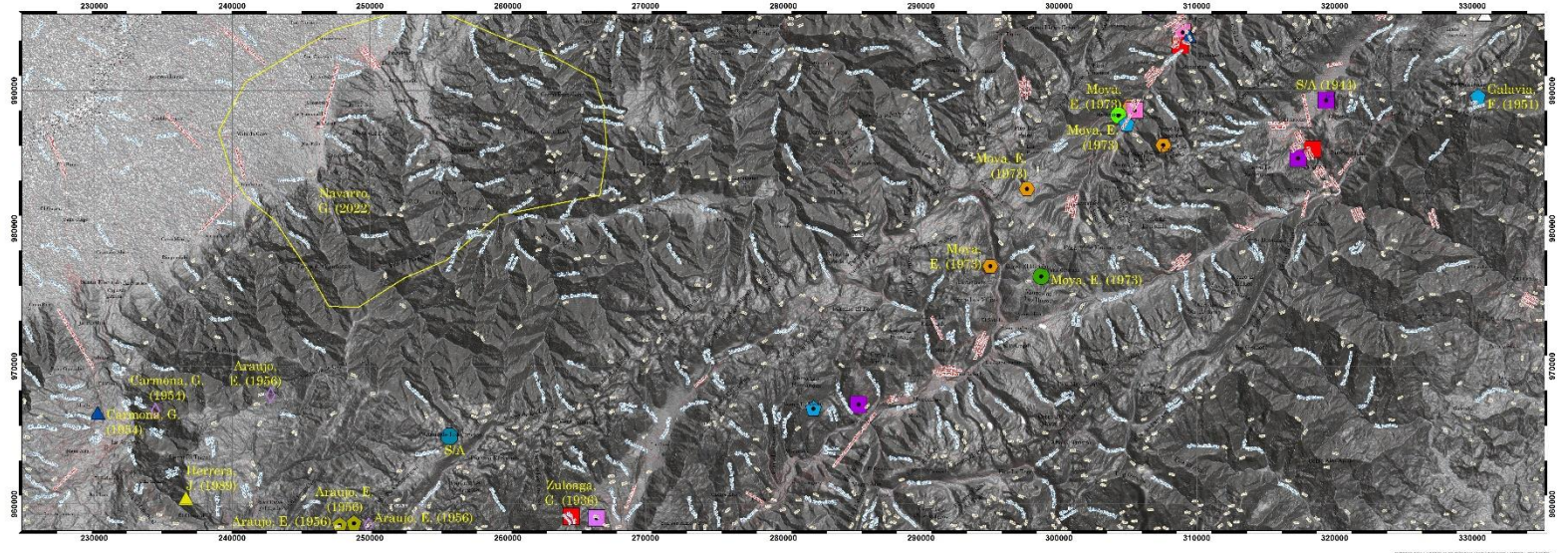
| | | | | | | | | |
|-------------------|------|--|--|--|---|---|---|---|
| Ramon Hernández | 1959 | Yacimientos de Fosforitas Uraniníferas en el Joque, Edo. Mérida | Trabajos de exploración del yacimiento de fosforita uranínifera de "El Joque". Se recopiló información del yacimiento de fosforita uranínifera y en base a esto se hizo una exploración formal del mismo | Uranio | Yacimiento de Fosforita Uraninífera | Roca Fosfática | Mérida-La Azulita. Se encuentra al borde de la carretera Mérida-La Azulita, a unos 40 km de la ciudad de Mérida | - |
| José Herrera | 1989 | Informe Geológico de la Margen Izquierda Río Capaz Aguas Arriba La Azulita, Mérida | Informe de inspección al margen izquierda del Río Capaz por deslizamiento y su relación con la ruptura y colapso de tubería de agua | - | - | Formación Sierra Nevada constituida por Gneis, esquistos, cuarzo feldespáticos, moscovíticos y rocas graníticas | La Azulita | - |
| Navarro, Gabriela | 2022 | Prospección geoquímica en la fracción < 0,177mm de los sedimentos de corriente en La Azulita, estado Mérida, Venezuela | Este trabajo se realizó con la finalidad de localizar y delimitar zonas de posible potencial económico, se realizó un estudio de prospección geoquímica en la fracción <0,177mm de los sedimentos de corriente en la localidad de La Azulita, mediante el análisis estadístico de las variables Al, P, S, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Sr, Y, Mo, Ag, Cd, In, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb y Bi. | Al, P, S, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Sr, Y, Mo, Ag, Tl, Pb y Bi. | Sedimentos de corriente en la localidad de La Azulita | | La Azulita | |

IV.2.2 Mapa de registro histórico

A través de la Tabla N°3 de registro histórico, se generó un mapa utilizando las ubicaciones relativas descritas en los informes técnicos. También se tomó la zona propuesta en el trabajo de investigación de Navarro (2022) por tener anomalías geoquímicas positivas para los distintos elementos mostrados en la Figura 24.

Según la información obtenida se puede observar que existen varios trabajos en los alrededores de Timotes y al este del mismo (noreste del mapa), así mismo podemos encontrar información en la zona del pueblo de Mucuchíes ubicado en la región sur central y al suroeste podemos encontrar información en los alrededores del pueblo de La Azulita. En el registro histórico no se encontró información en la zona de Tucaní ubicado al noroeste del mapa, la zona fue cubierta con el trabajo de Navarro 2022. Este mapa se definirá a detalle en el apartado IV.5.1 (Pág. 117) (análisis de densidad de lineamientos Vs registro histórico).

Cabe destacar que en el mapa se ubicaron 31 zonas relativas (sin coordenadas asociadas) donde se muestran las mineralizaciones correspondientes a asociaciones Litológicas, Complejos y Formaciones definidas por los autores en cuestión con diferentes procesos genéticos.



Legenda

- Aguas Termales
- Albita
- Sierro
- Sierro, Columbita y Miras
- Calizas Fosfáticas
- Cobre con asociaciones de metales de Pb, Zn y Mo
- Diques Pegmatíticos
- Fracturas hidrotermales
- Plomo-Caena
- Granitos
- Mn y Pb (zonales)
- Pb, Zn y Mo
- Granit. escuderos y Cuerpos Graníticos
- Envolverte
- Zonas de anomalías Ag, Mo, W, Ti, Bi, B, Pt y Zn
- Uranio Granito

Simbolos Convencionales

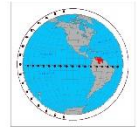
- Centros Públicos**
 - Capitanes de Municipio
 - Poblados
- Hipometría**
 - Estrada de Tierra
 - Camino de Nivel Intercomunal
 - Camino de Nivel Intra-Comunal
- Vialidad**
 - Carretera y Carretera
- Energía**
 - Energía Trasmisión
 - Energía Distribución

Escala 1:100.000

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ESTADO DE LA UNIÓN FEDERAL DE REPÚBLICA DE VENEZUELA
 MINISTERIO DEL PODER EJECUTIVO
 MINISTERIO DEL PUEBLO Y DE LA FAMILIA
 INSTITUTO VENEZOLANO DE GEOLOGÍA Y MINAS
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS
 LA AZULITA-TIMOTES
 BOLETÍN N.º 1022
 INSTITUTO VENEZOLANO DE GEOLOGÍA Y MINAS

UBICACIÓN RELATIVA GLOBAL



El territorio de la República Bolivariana de Venezuela se encuentra situado en el continente americano, entre los meridianos 72° y 82° longitudinales y los paralelos 8° y 10° latitudinales.

UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



El territorio de la República Bolivariana de Venezuela se encuentra situado en el continente americano, entre los meridianos 72° y 82° longitudinales y los paralelos 8° y 10° latitudinales.

UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



El territorio de la República Bolivariana de Venezuela se encuentra situado en el continente americano, entre los meridianos 72° y 82° longitudinales y los paralelos 8° y 10° latitudinales.

INDICE DE FOJAS ADYACENTES

| N.º | FOJA | INDIC. | INDIC. |
|-----|------|--------|--------|
| 102 | 102 | 102 | 102 |
| 103 | 103 | 103 | 103 |
| 104 | 104 | 104 | 104 |

Este índice de fojas adyacentes indica el número de fojas que componen el presente boletín y el número de fojas que le preceden y le suceden.

INCLAY QR

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
|--|--|--|--|

Este índice de fojas adyacentes indica el número de fojas que componen el presente boletín y el número de fojas que le preceden y le suceden.

Figura 24 Mapa de Registro Histórico. Información obtenida en la Biblioteca Zonia Osorio del INGEOMIN

IV.3 Generación de lineamientos

En este apartado se mostraran los productos generados para la generación de los lineamientos como fruto principal de este proyecto. El Modelo de Elevación Digital (DEM) utilizado es el mostrado en la Figura 18.

IV.3.1 Mapas de sombras

Para generar los lineamientos se utilizaron dos técnicas de sombreados mostrados a continuación:

IV.3.1.1 Sombreado con variación de luz cada 45° de 0° a 315°

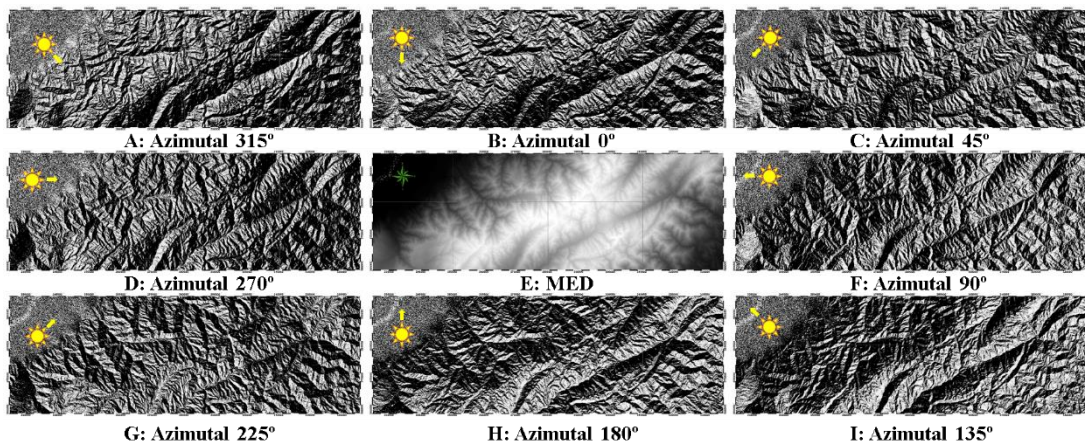


Figura 25. Mapas de sombras con ángulo vertical constante entre 40° y 45° y variación de ángulo azimutal cada 45°

En este mapa se muestra los distintos ángulos de iluminación utilizados para resaltar el relieve y aplicar criterios fotogeológicos con la finalidad de marcar lineamientos manualmente. En rasgos generales se observan las estructuras que capitalizan la zona; con el ángulo 315°, 0°, 180° y 135° se puede detallar las fallas principales (Falla de Boconó) cuya dirección es noreste, mientras que los otros mapas resaltan las estructuras que se encuentran al norte de la Falla. Por esta razón es necesario realizar combinaciones con los mapas de sombras para resaltar varias

estructuras en una sola imagen y sea más sencillo de interpretar las zonas con lineamientos. Los mismos serán mostrados a continuación:

IV.3.1.2 Sombras combinadas

Para la extracción de los lineamientos se hicieron las siguientes combinaciones de mapas de sombras, colocando cada mapa con transparencia al 20% para observar el solape entre ellos. En estos podremos observar el Sistema de Fallas que le da forma al área de estudio de una manera más clara.

Combinación 1: Para esta combinación se utilizaron los mapas de sombras con los siguientes parámetros: $0^{\circ}\text{Az}-45^{\circ}\text{V}$, $90^{\circ}\text{Az}-45^{\circ}\text{V}$, $180^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$ y $270^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$ (Figura 26)

Combinación 2: Para esta combinación se utilizaron los mapas de sombras con los siguientes parámetros: $45^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$, $135^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$, $225^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$, $315^{\circ}\text{Az}-45^{\circ}\text{V}$ (Figura 27)

Combinación 3: Para esta combinación se utilizaron los mapas de sombras con los siguientes parámetros: $45^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$, $90^{\circ}\text{Az}-45^{\circ}\text{V}$ y $135^{\circ}\text{Az}-45^{\circ}\text{V}$ (Figura 28)

Combinación 4: Para esta combinación se utilizaron los mapas de sombras con los siguientes parámetros: $135^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$, $180^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$ y $225^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$ (Figura 29)

Combinación 5: Para esta combinación se utilizaron los mapas de sombras con los siguientes parámetros: $225^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$, $270^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$ y $315^{\circ}\text{Az}-45^{\circ}\text{V}$ (Figura 30)

Combinación 6: Para esta combinación se utilizaron los mapas de sombras con los siguientes parámetros: $0^{\circ}\text{Az}-45^{\circ}\text{V}$, $45^{\circ}\text{Az}-40^{\circ}\text{V}$ y $315^{\circ}\text{Az}-45^{\circ}\text{V}$ (Figura 31)

A partir del DEM se obtuvieron mapas de sombras con distintos ángulo de iluminación el cual destacan las distintas características fisiográficas que se encuentran en el área. Por medio de estas imágenes podemos observar la respuesta de que tiene el terreno a los agentes endógenos y exógenos que actúan en la zona de estudio y producen lineamientos. Estos mapas fueron combinados para poder extraer con mayor asertividad los lineamientos.

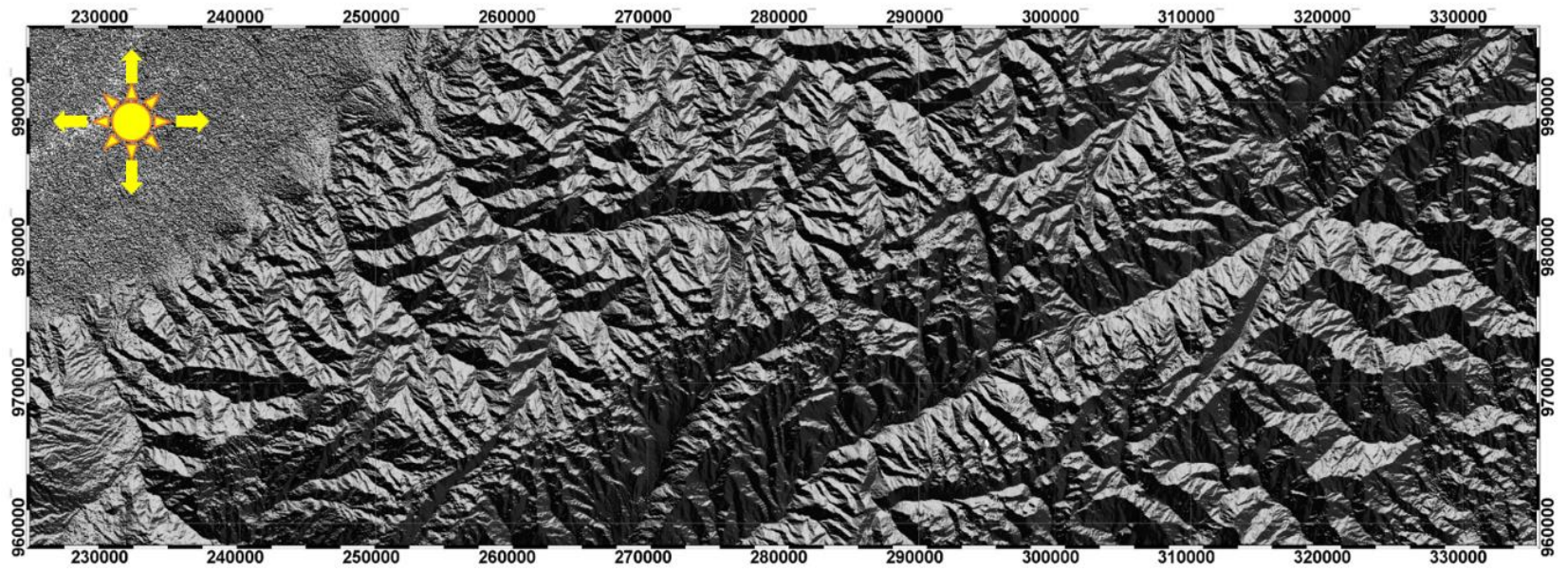


Figura 26. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo azimutal 0°-90°-180°-270°

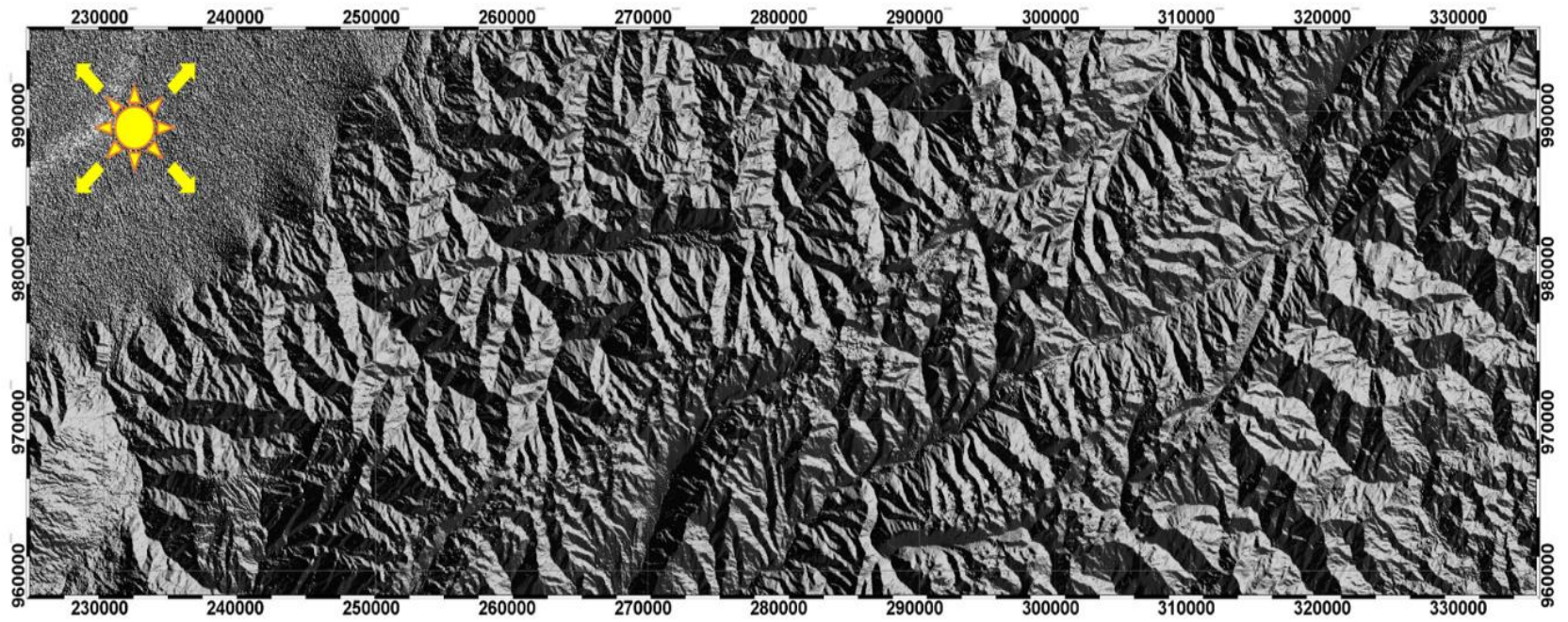


Figura 27. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo azimutal 45°-135°-225°-315°

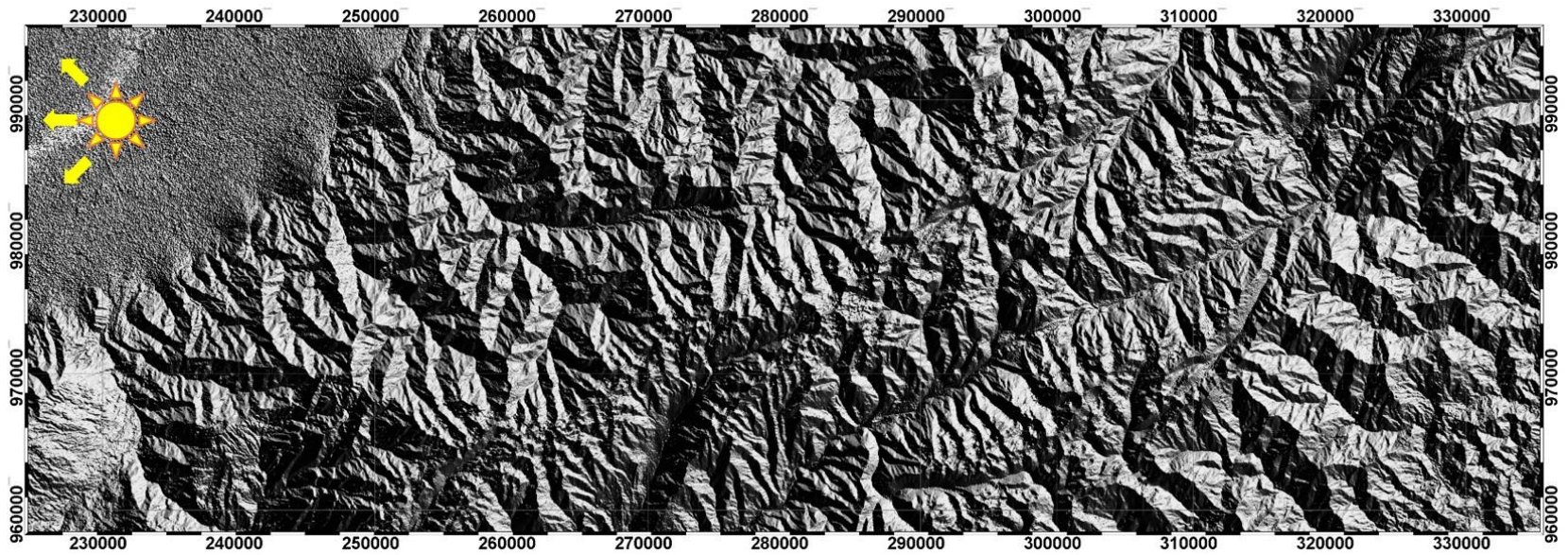


Figura 28. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo Azimutal 45°-90°-135°

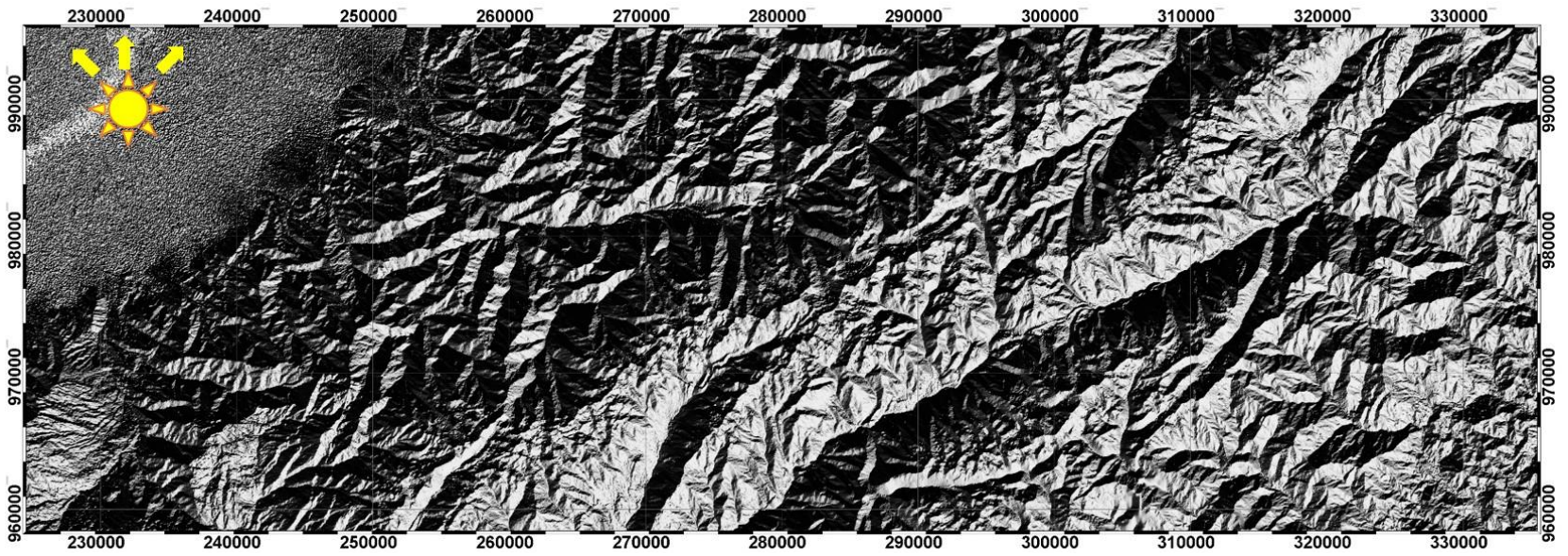


Figura 29. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo azimutal 135°-180°-225°

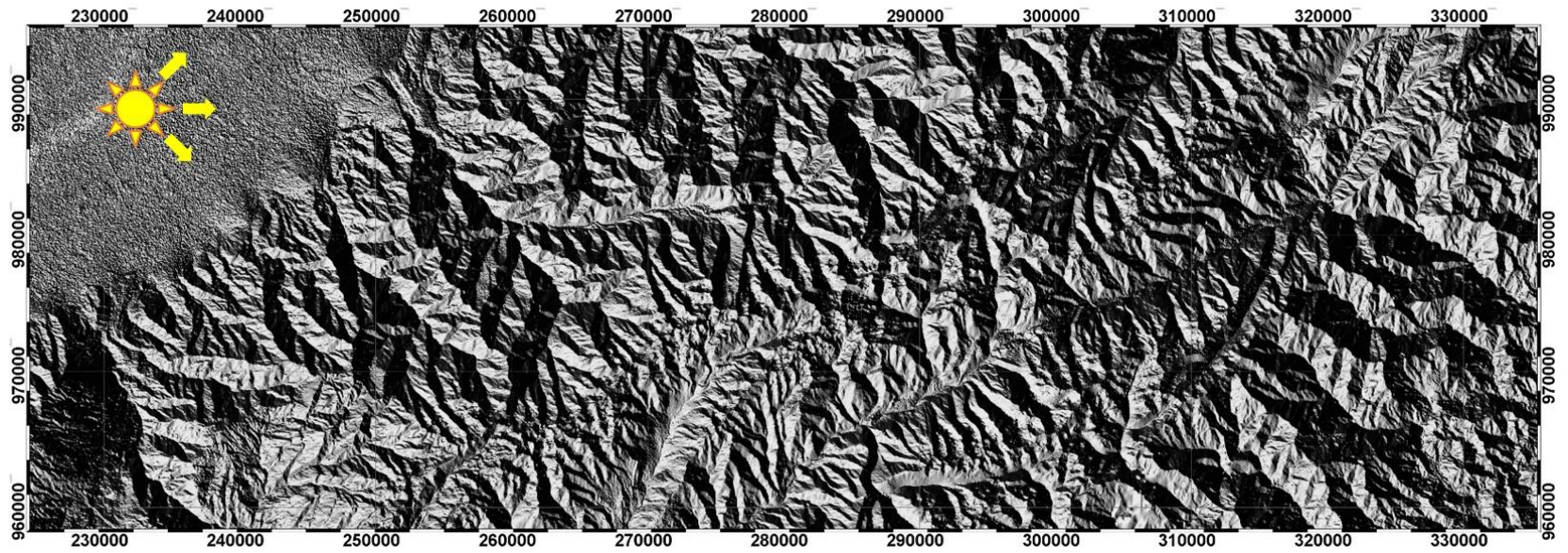


Figura 30. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo azimutal 225°-270°-315°

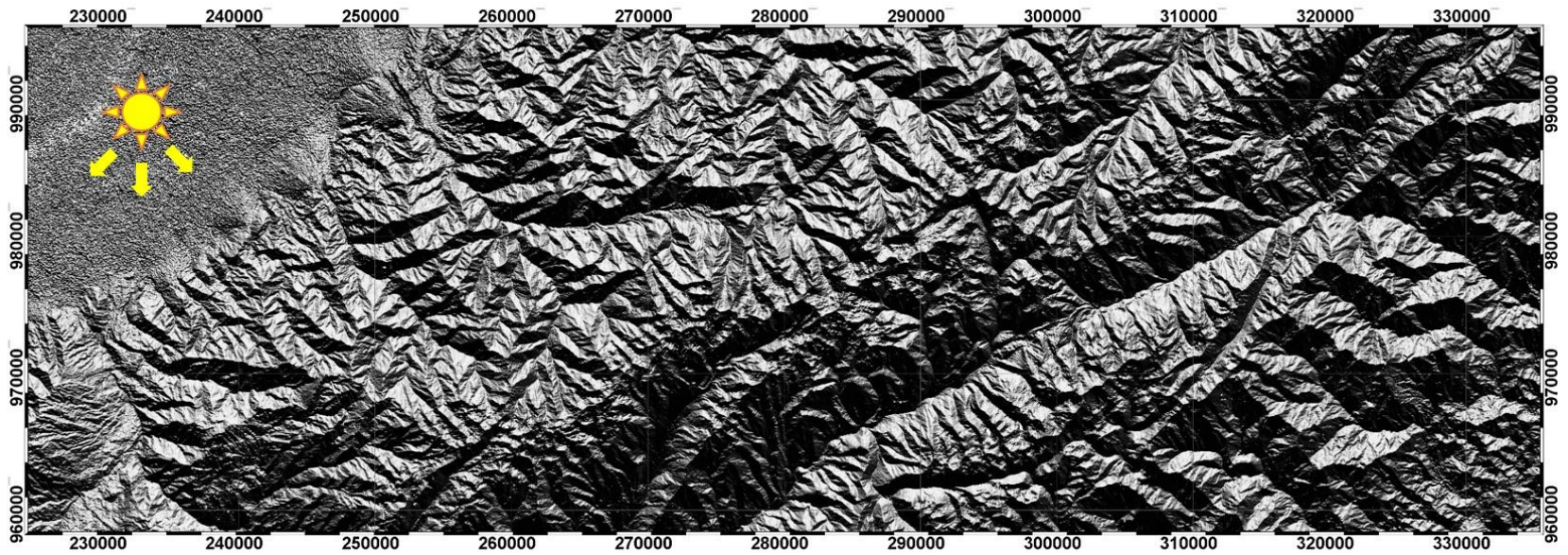


Figura 31. Combinación de mapa de sombras (Hillshade). Ángulo azimutal 0°-45°-315

Estas distintas combinaciones son parte fundamental del proyecto, ya que permitieron resaltar el relieve en los distintos ángulos y mediante la interpretación, dibujar con sentido geológico los lineamientos que se muestran a continuación:

IV.3.3 Mapa de lineamientos generalizado

En la zona mas baja (Cuenca del Lago de Maracaibo ubicada al noroeste del mapa) fué interpretada utilizando un mapa de sombras SRTM con resolución de 30 m mostrados en la Figura 32 ya que se logra visualizar con mas claridad alineaciones en el terreno.

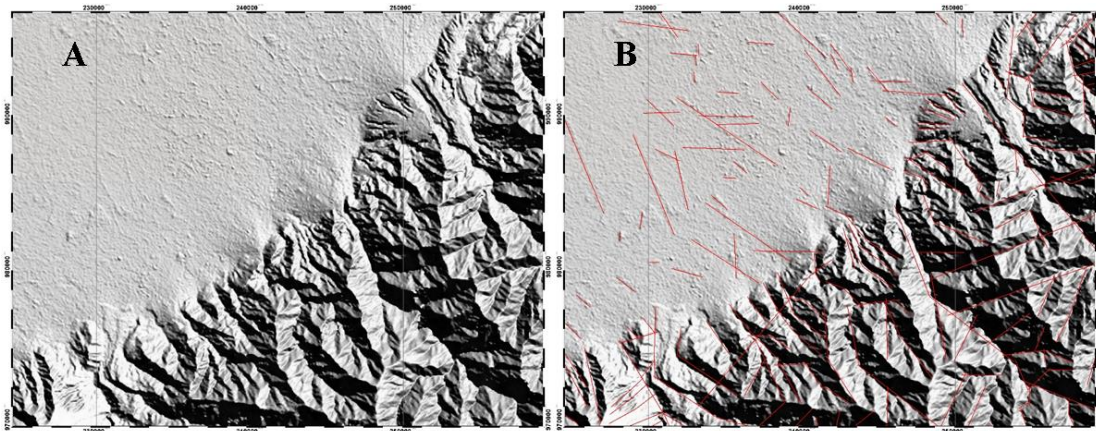
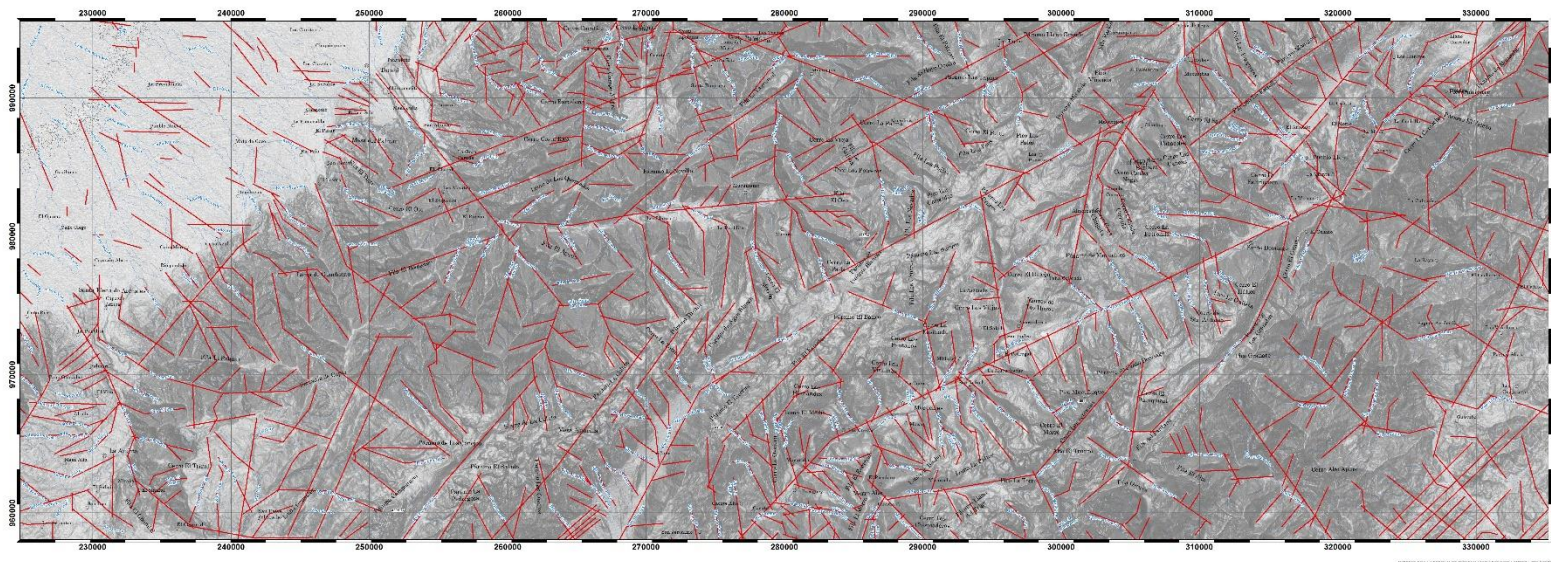


Figura 32. Comparación de mapas de sombras de diferentes satélites para extraer los lineamientos que se encuentran en la Cuenca del Lago de Maracaibo. **A:** Mapa de Sombras SRTM con resolución 30 m y **B:** Mapa de sombras con lineamientos interpretados para esa zona.



Leyenda

| Lineamientos generalizado |
|---------------------------|
| — Lineamientos |

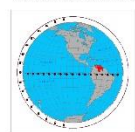
Simbolos Convencionales

| |
|------------------------------|
| Centros Poblados |
| Organos de Municipalidad |
| Poblados |
| Hidrografia |
| Cursos de Agua |
| Cursos de Miel-Intermitente |
| Cursos de Miel-Intermittente |
| Viabilidad |
| Caminos y Carreteras |
| Demarcaciones |
| Demarc. Municipales |
| Demarc. Paroquiales |

Escala 1:100.000



UBICACIÓN RELATIVA GLOBAL



Este mapa muestra la ubicación geográfica del área de estudio en el continente de Sudamérica, específicamente en el estado de Lara, Venezuela.

UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



Este mapa muestra la ubicación del área de estudio dentro del territorio nacional venezolano, ubicada en el estado de Lara, en la zona noroccidental del país.

UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



Este mapa muestra la ubicación del área de estudio dentro del estado de Lara, ubicada en la zona noroccidental del estado.

INDICE DE FOJAS ADYACENTES

| | | | |
|------|------|------|------|
| N-40 | N-41 | N-42 | N-43 |
| N-44 | N-45 | N-46 | N-47 |
| N-48 | N-49 | N-50 | N-51 |

Este índice indica las hojas adyacentes al presente mapa, permitiendo continuar la consulta de la información geológica en las áreas vecinas.

INSTRUCIONES

| |
|--|
| |
|--|

Las instrucciones detalladas para el uso del mapa se encuentran en el anexo correspondiente.

Figura 33. Mapa de lineamientos generalizado. Los lineamientos mostrados son producto de las combinaciones de sombras.

A partir de las combinaciones de mapas de sombras, se generaron en total 1171 lineamientos mostrados en la Figura 33. Estos se interpretaron tomando en cuenta la forma del relieve que permite apreciar los mapas de sombras y las curvas de nivel junto con los criterios para el reconocimiento de fracturas en fotogeología, como lo es la alineación de los ríos y quebradas, angularidad de la red fluvial, alineación de la vegetación, líneas recta, entre otros, según López (1971).

Es de suma importancia acotar que los lineamientos se trabajan en dos dimensiones (no se trabaja en profundidad), solo se toman en cuenta la longitud y las orientaciones de los mismos. Una vez generados los lineamientos, los mismos fueron analizados según las características mismas que los definen y se muestra a continuación:

IV.4 Análisis de lineamientos

En este apartado se analizarán los lineamientos generados según las características propias que los definen, tales como su longitud, sus orientaciones, su frecuencia, densidad y sus tipos de intersecciones. Para ello se generaron los siguientes mapas que permitieron analizar cada aspecto.

IV.4.1 Mapa de lineamientos clasificados según su longitud

Una vez extraído los lineamientos estos fueron clasificados según su longitud (Valls (2021)) de los cuales 34 son principales, 91 secundarios y 1047 terciarios. Los mismos se muestran en la Figura 34.

IV.4.2 Mapa de intersección

En la intersección de los lineamientos se encontraron 1017 intersecciones el cual tiene tres tipos de contactos: T: 159 equivalente al 15,63%; V: 619 equivalente al 60,86% y X: 239 equivalente al 23,50% como se muestra en la Figura 35.

Estas intersecciones pueden estar asociadas a tres tipos de ángulos formados entre ellos. Los tipo T tienen un ángulo aproximado de 90° , los tipo X tienen un ángulo aproximado de 45° y los tipo V tienen un ángulo aproximado de 30° . Según este análisis la mayoría de las intersecciones entre los lineamientos corresponden al tipo V. Los mismos se encuentran ubicados mayormente en las zonas de Fallas. Respectivamente en la zona este (correspondiente a la Hoja de Timotes) estas intersecciones se ubican en el eje de la Falla de Boconó, específicamente su mayor concentración la podemos encontrar entre los poblados de Cacute hasta Apartaderos y desde Santo Domingo hasta el norte de Los Llanitos, otra concentración visible es en la Falla de Tuñame desde Timotes hasta el sur del pueblo de Almorzadero, sin embargo al oeste de la Hoja de La Azulita estas intersecciones se encuentran distribuidas en la zona centro occidental y al noroeste. Es interesante observar que estas intersecciones tipo V no obedecen a una litología en particular por lo tanto este parámetro es descartado como posible generador de las mismas, es posible entonces que estas se formen debido al movimiento generado por la deformación presente en esta zona de estudio.

IV.4.3 Mapa de tendencias

En la Figura 36 se observan los lineamientos con sus diferentes tendencias mostradas en distintos colores. En la figura 37 se detallan las cantidades de lineamientos que existen por tendencia.

IV.4.3 Tabla de orientaciones

En la Figura 34 se muestra un diagrama de rosas generado para toda el área de estudio, que muestra cuatro tendencias preferenciales definidas como T1, T2, T3 y T4. Éstas están establecidas por orden de abundancia, dicho diagrama se generó tomando en cuenta la orientación espacial de cada una de los lineamientos a lo largo y ancho de toda la zona de estudio.

Se contabilizó un total de 1171 lineamientos, distribuidos de la siguiente manera:

- Con dirección noroeste (NW), encontramos 422 lineamientos. Correspondiente a la tendencia (T1).
- Con dirección noreste (NE), encontramos 263 lineamientos. Correspondiente a la tendencia (T2).
- Con dirección nor-noroeste (NNW), encontramos 137 lineamientos. Correspondiente a la tendencia (T3).
- Con dirección este-oeste (EW), se identificaron 262 lineamientos. Correspondiente a la tendencia (T4).
- Una quinta orientación nor-noreste (NNE), con 88 lineamientos, la cual no se toma en cuenta en base a la jerarquización de abundancia.

En este mismo orden de ideas, los valores de orientación (azimutal) asociados a estas tendencias corresponden a:

- **133°** para la tendencia mayoritaria T1.
- **97°** para la tendencia T2.
- **173°** para la tendencia T3.
- **233°** para la tendencia T4.

| Lineamientos | |
|---|--|
| Estadísticas | Vector medio = 147.0° +- 04.8° correspondiente |
| | Valor máximo = 5,29% entre 141° y 150° |
| | La incertidumbre es 1 error estandar para un nivel de confianza del 95% multiplicado por 1,96 |
| | T1 =133° azimuth T2 = 97° azimuth T3 =173° azimuth T4 =233° azimuth |
| Número de mediciones por orientación | NW =422; NE =263; NNW =137; EW =262; NNE =88 |
| Diagramas de Rosas | |

Figura 34. Datos estadísticos del diagrama de rosas de la zona de estudio

IV.4.8 Caracterización de los lineamientos en función de su longitud, tipo de contactos y orientaciones

La información mostrada a continuación (Tabla 4), fue tomada de los datos generados a partir de los diagramas de rosas e histogramas y de los mapas de lineamientos y de intersección explicadas de la siguiente manera:

- En la columna 1 se observa la clasificación de los lineamientos, según sus longitudes (principal, secundario y terciario).
- En la columna 2 se aprecia la relación porcentual de la abundancia del total de los lineamientos (1171), con respecto al tipo de lineamiento por orden

(principal, secundario y terciario). Para tal fin, se utilizó la tabla de atributos de la capa “Lineamientos” con la que se cuantificó las cantidades existentes. (Figura 34)

- Por otra parte, la columna 3 muestra la cantidad de lineamientos por orientación (seis clases de azimut), extraídos de los diagramas de rosas (Figura 37), y las cuatro tendencias predominantes (T1, T2, T3 y T4), extraídos de los histogramas de frecuencias (ver Figura 38).
- Por último, la columna 4 representa la relación porcentual entre el tipo de contactos de las intersecciones tipo (X, V y T), con respecto al orden de los lineamientos según su longitud. Estos datos fueron generados mediante el mapa de intersección de lineamientos (ver Figura 35).

| Relación porcentual en abundancia , orientación y tipos de intersección (X,V y T) según su orden | | | | | | | | | | |
|---|---|---|------------|------------|------------|------------|---|---------------|--------------|-------------|
| Clasificación según su longitud (orden) | Abundancia de los lineamientos (1170 lin.) | Cantidad de lineamientos por orientación | | | | | Tipo de contacto en las intersecciones (1017 int.) | | | |
| | | T1 | T2 | - | T3 | T4 | 60,86% | 15,63% | 23,5% | 100% |
| | | NW | EW | NNE | NNW | NE | V | T | X | |
| Principal | 2,9% | 8 | 4 | 2 | 1 | 19 | 60% | 25% | 15% | 100% |
| Secundario | 7,7% | 26 | 15 | 5 | 11 | 34 | 70% | 20% | 10% | |
| Terciario | 89,48% | 388 | 243 | 81 | 125 | 210 | 65% | 15% | 20% | |
| Total | 100% | 422 | 262 | 88 | 137 | 263 | | | | |

Tabla 4. Relación porcentual en abundancia, orientación y tipos de intersección (X, V y T) según su orden

Esta tabla fue construida a partir de los datos de longitud, orientación y tipos de intersecciones generados en los mapas. Para extraer los porcentajes de lineamientos por orden se contabilizo cuantos existen en la capa “Lineamientos” dando 2,9%

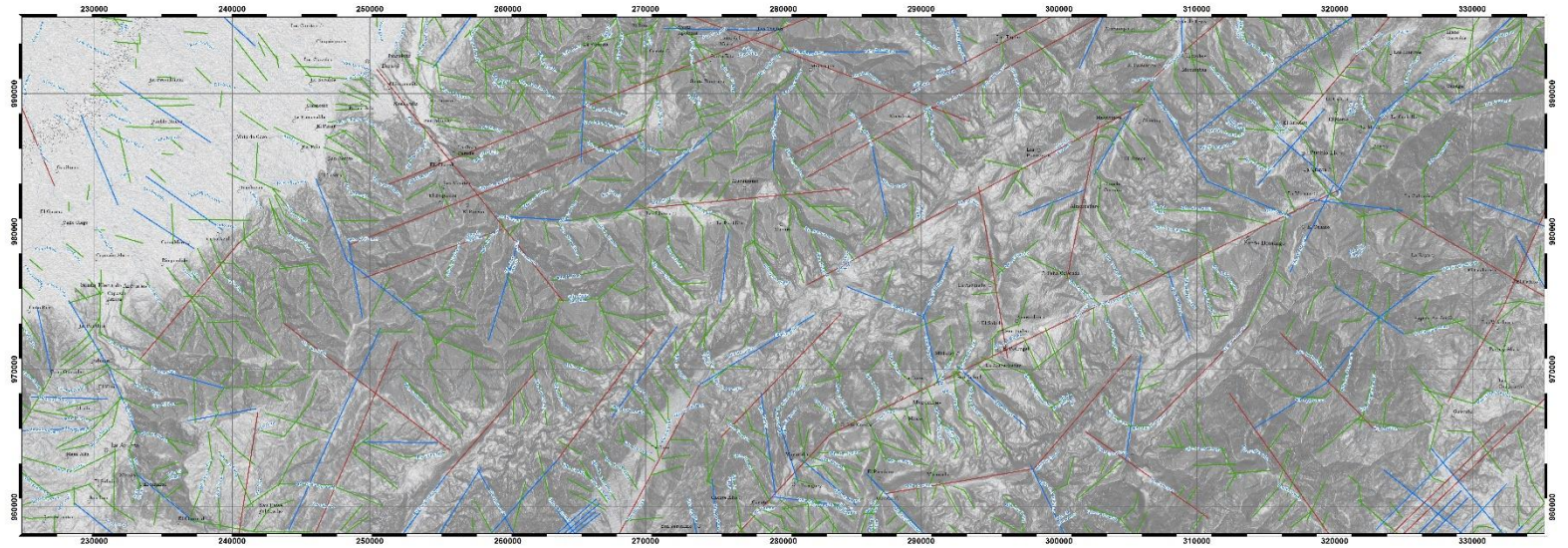
primarios, 7,7% secundarios y 89,48% terciarios. Así mismo en la tabla de atributos se definió las orientaciones por clases y las mismas fueron contabilizadas NW: 262, NE: 263; NNE: 88 y NNW: 137. Del mapa de intersecciones fueron contabilizados la cantidad de intersecciones siendo estas 1017 en total del cual las mismas fueron contabilizadas según su forma dando 60,86% tipo V, 15,63 % tipo T y 23,5 % tipo X. estos tipos de intersecciones a su vez fueron clasificados y cuantificados según la longitud de los lineamientos.

En función de la clasificación según el orden tenemos lo siguiente:

Los lineamientos principales son equivalentes a la minoría de ellos, pero corresponden a los que tienen mayor longitud (mayor a 10 Km), se puede observar que la mayoría tienen tendencia NE el cual se puede asociar con las estructuras principales tales como el sistema de Fallas de Boconó.

Los lineamientos secundarios corresponde a la media con longitudes que oscilan entre los 5-10 Km, se observa que estos tienden a tener orientaciones NE el cual puede asociarse con las fallas conjugadas del modelo de Wilcox analizadas más adelante. Y finalmente los lineamientos terciarios corresponden con la mayoría (menores a 5 Km), tienden a ser NW el cual puede asociarse también con las fallas conjugadas del Modelo de Wilcox.

Se observa que la mayoría de las intersecciones tipo V se encuentran en los tres órdenes y corresponde con la mayoría de las formas de intersección. A continuación se mostraran los mapas clasificados según su longitud, tendencias e intersección.



Leyenda

Lineamientos según su Longitud

| | |
|--|--------------------------|
| | Lineamientos Principales |
| | Lineamientos Secundarios |
| | Lineamientos Terciarios |

Simbolos Convencionales

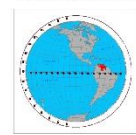
| | |
|--|-------------------------------|
| | Centros Poblados |
| | Depositos de Aluviales |
| | Diablos |
| | Canchales de Faja |
| | Canchales de Nivel Intermedio |
| | Canchales de Nivel Subsuelo |
| | Troncales y Caminos |
| | Canchales |
| | Canchales Intermedios |
| | Canchales Perimetrales |

Escala 1:100.000



Este mapa fue elaborado a partir de los datos de campo y de gabinete, con el fin de representar la información geológica y estructural de la zona estudiada. El mapa fue elaborado en el año 2022, por el personal de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. El mapa fue elaborado en el año 2022, por el personal de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela.

UBICACIÓN RELATIVA GLOBAL



Este mapa muestra la ubicación global del área de estudio, destacada en rojo, dentro del territorio nacional de Venezuela.

UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



Este mapa muestra la ubicación nacional del área de estudio, destacada en rojo, dentro del territorio nacional de Venezuela.

UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



Este mapa muestra la ubicación regional del área de estudio, destacada en rojo, dentro del territorio regional de Venezuela.

INDICE DE FOJAS AVANZANTES

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| N4E | N4S | N4O | N4D |
| N4E | N4S | N4O | N4D |
| N4E | N4S | N4O | N4D |

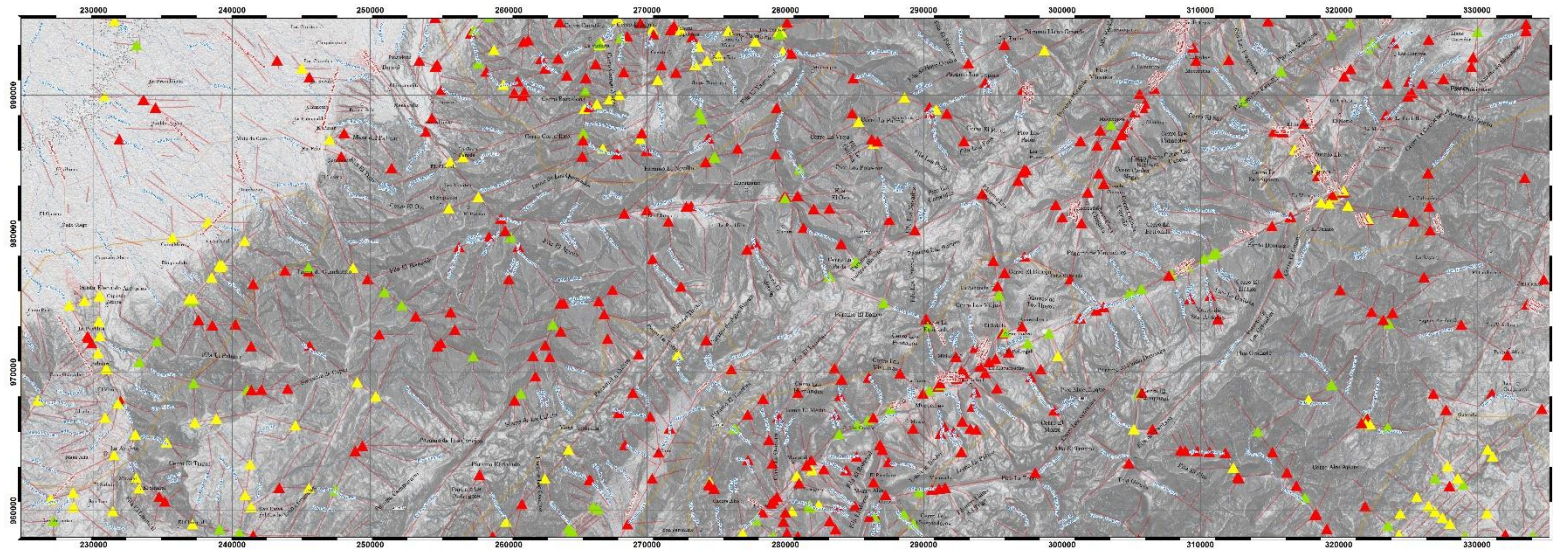
Este índice muestra el avance de las hojas de la zona estudiada, con los números de las hojas que se encuentran en el estado de avance.

INSTRUCIONES

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Este cuadro muestra las instrucciones para el uso del mapa, con los datos necesarios para la interpretación de la información geológica y estructural.

Figura 35. Mapa de lineamientos clasificados según su longitud



Legenda

Tipos de Intersecciones

- ▲ T
- ▲ V
- ▲ X

— Lineamiento

□ Intersección

Simbolos Convencionales

Centros Poblados

- ⊙ Lugar de Cabecera
- Poblado

Topografía

- ⊕ Vertice de Triangulo
- ⊖ Cumbre de Monte Principales
- ⊘ Cumbre de Monte Secundarias

Vías

- Troncal y Carretera

Divisoria

- Divisoria Nacional
- Divisoria Regional



PROYECTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO POR DESASTRES NATURALES EN VENEZUELA
 SUBPROYECTO REGIONAL: LAZULITA-TIMOTES
 PROYECTO TÉCNICO: LINEAMIENTOS Y ANÁLISIS DE RIESGO EN LAZULITA-TIMOTES
 ELABORADO POR: INSTITUTO VENEZOLANO DE CARBÓN (INCEMIN)
 AUTORES: DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ, DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ, DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ
 COORDINADOR GENERAL: DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ
 COORDINADOR REGIONAL: DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ
 COORDINADOR TÉCNICO: DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ
 COLABORADORES: DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ, DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ, DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ
 FECHA DE ELABORACIÓN: MARZO 2022



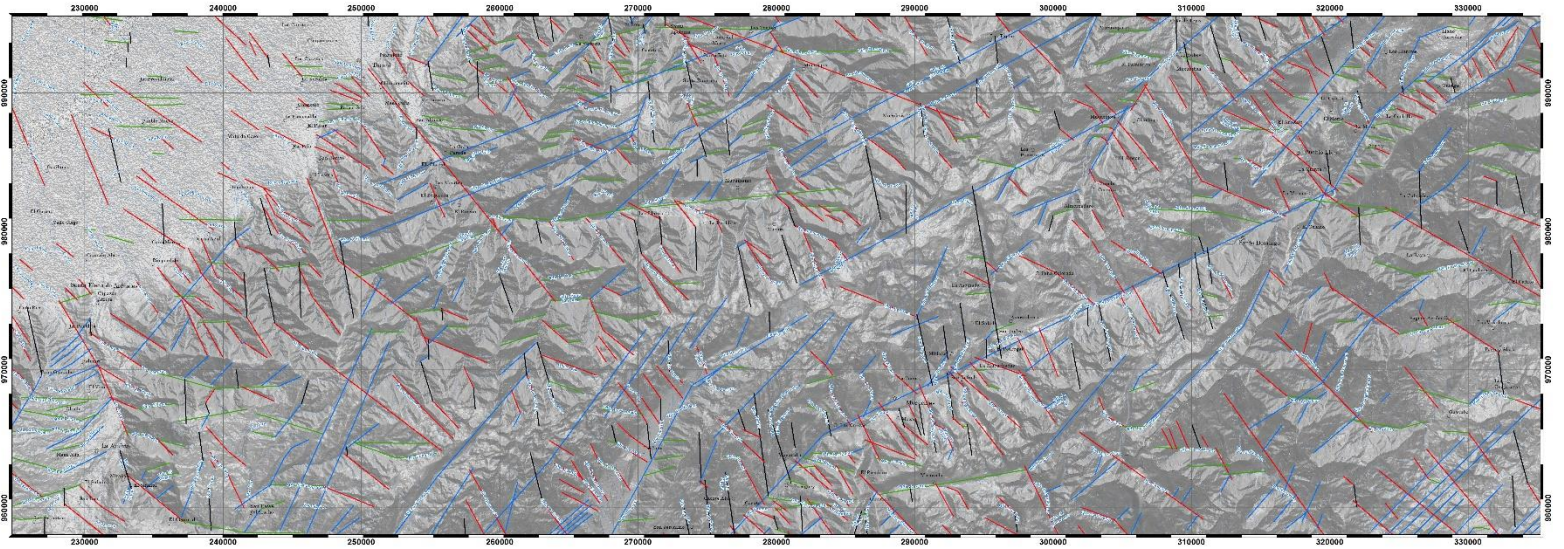
INDICE DE RIESGOS ADVERTENTES

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| REG | TRG | REG | TRG |
| REG | TRG | REG | TRG |
| REG | TRG | REG | TRG |

INDICE QR

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Figura 36. Mapa de intersección de lineamientos



Leyenda

Lineamientos según sus tendencias predominantes

| | |
|--|--------------|
| | T1: 132° NW |
| | T2: 07° EW |
| | T3: 173° NNW |
| | T4: 233° NE |

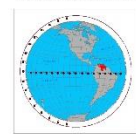
Simbolos Convencionales

| | |
|--|-------------------------------|
| | Centros Poblados |
| | Depedentes de Municipios |
| | Pueblos |
| | Ciudades de Eje |
| | Ciudades de Nivel Intermedio |
| | Ciudades de Nivel Fundamental |
| | Turismos y Centros |
| | Distritos Turísticos |
| | Distritos Portuarios |

Escala 1:100.000



UBICACIÓN RELATIVA GLOBAL



UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL

UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL

UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



INDICE DE FOJAS ADYACENTES

| FOJA | NRA | NRA | NRA | NRA |
|------|-----|-----|-----|-----|
| NRA | NRA | NRA | NRA | NRA |
| NRA | NRA | NRA | NRA | NRA |
| NRA | NRA | NRA | NRA | NRA |

INSTRUCIONES

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Figura 37. Mapa de lineamientos con sus tendencias predominantes

IV.4.4 Histograma de frecuencia

En el histograma mostrado en la Figura 38 se observan diferentes barras que representan la frecuencia de los valores de lineamientos representados en el eje “Y” y los rangos de valores en grados representados en el eje “X”. Se observa que existen varias tendencias en determinadas regiones del histograma, específicamente cuatro tendencias son observadas. El rango de valores de 10°-20° corresponde a la dirección NNE cuya frecuencia no es representativa para definirla como una tendencia. En el rango de 30°-70° cuya dirección es NE se observa una barra cuya frecuencia es representativa y es definida como tendencia (T4).

En el rango 70°-110° existe una tendencia en la orientación EW (T2). En el rango de 110°-170° se observa la barra con mayor valor de frecuencia y es definido como la tendencia principal (T1) cuya orientación corresponde con el NW y por último en el rango 170°-180° también se encuentra otra barra representativa cuya tendencia es T3 y va en dirección NNW. Es importante destacar que para ordenar estas tendencias fue tomado en cuenta la frecuencia de valores de lineamientos desde la mayor a la menor como se muestra en la Figura. Geológicamente hablando estas tendencias están asociadas a los esfuerzos tectónicos de la zona de estudio cuyas tendencias pueden estar vinculadas con modelos de fallas transcurrentes los cuales capitalizan el área.

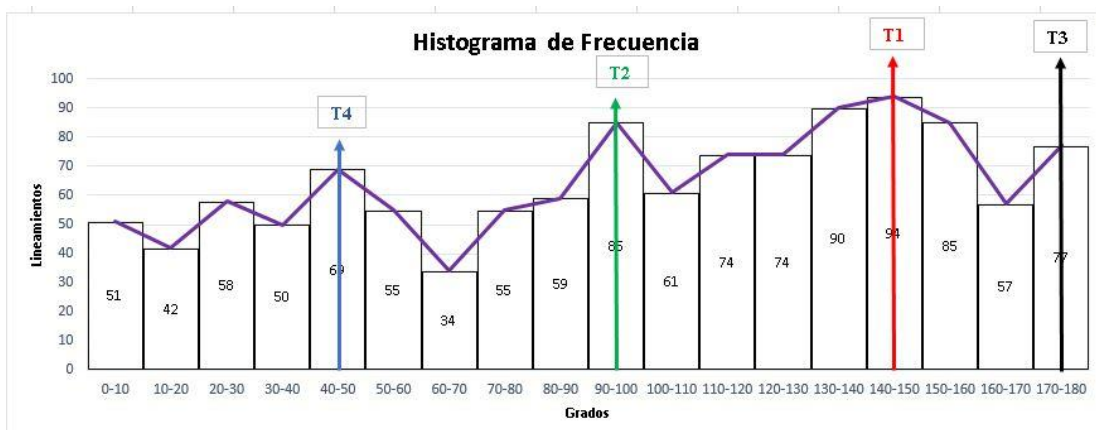


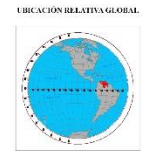
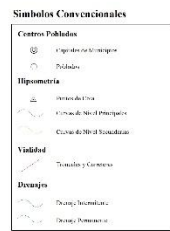
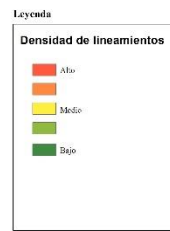
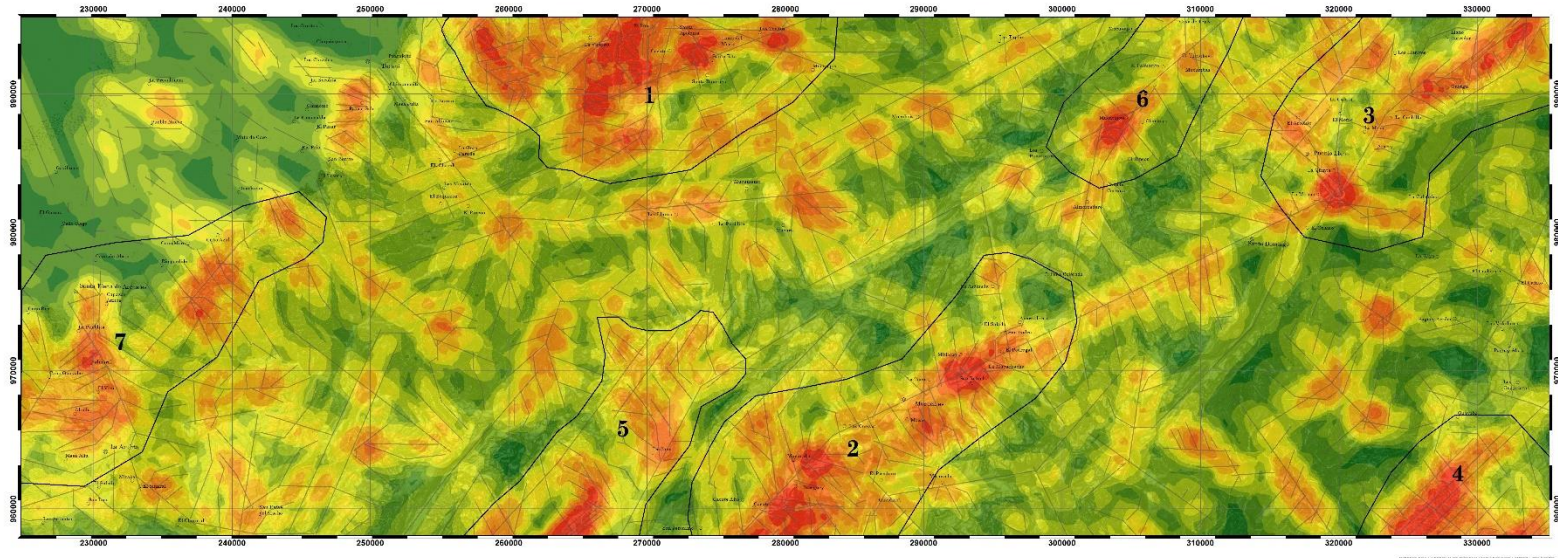
Figura 38. Histograma de frecuencias. Se aprecian los picos más altos asociados a las tendencias de la zona de estudio

IV.4.6 Mapa de densidad de lineamientos general y combinada

En el mapa (Figura 39) se muestra la distribución de densidades de lineamientos a lo largo y ancho del área de estudio. Es importante mencionar que el criterio tomado para el cálculo de las densidades fue contar líneas por unidad de área (número/km²).

Las zonas de color rojo corresponden a la mayor concentración de lineamientos (representando un 10% del área total de la carta), la densidad media está representada con el color amarillo (aproximadamente 40%) y la coloración verde representa aquellas zonas donde hay baja densidad (aproximadamente 50%). En total se definieron siete envolventes, enumeradas del 1 al 7; siendo 1 la de mayor concentración de lineamientos por unidad de área y 7 la de menor densidad de las mismas.

Si observamos a detalle a todas las envolventes como un sistema único, es notorio que guardan una relación geométrica entre sí, es decir, su geometría es alargada con una orientación NE-SW como tendencia principal. Esa dirección se amolda a la principal fuente de deformación de la zona de estudio (Falla de Boconó) y su conjunto de fallas asociadas de menor magnitud (Falla de Tuñame, Falla de Mucujún, entre otras) por lo que también es lógico que guarda una relación con las topofomas presentes.



INDICE DE FOJAS ADYACENTES

| FOJA | FOJA | FOJA | FOJA |
|------|------|------|------|
| 84E | 84E | 84E | 84E |
| 84E | 84E | 84E | 84E |
| 84E | 84E | 84E | 84E |

INFLUJO DE

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

UBICACIÓN RELATIVA GLOBAL

Este mapa muestra la ubicación del área de estudio en el continente de América del Sur, específicamente en el estado de Táchira, Venezuela.

UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL

Este mapa muestra la ubicación del área de estudio dentro del territorio nacional de Venezuela, en el estado de Táchira.

UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL

Este mapa muestra la ubicación del área de estudio dentro del estado de Táchira, Venezuela.

INDICE DE FOJAS ADYACENTES

Este índice indica las fojas adyacentes que rodean al área de estudio, permitiendo consultar el mapa completo.

INFLUJO DE

Este índice indica el flujo de información o datos que afectan al área de estudio.

Figura 39. Mapa de densidad de lineamientos con sus respectivas envolventes

IV.4.7 Mapas de densidad según su tendencia

En la Figura 40 podemos observar la densidad de lineamientos por cada tendencia. Se observa que la tendencia NW y NE son las que tienen mayor densidad y la tendencia NNW es la menor. Además se puede resaltar que estas tendencias son paralelas y/o perpendiculares a las estructuras geológicas principales como se mencionó anteriormente.

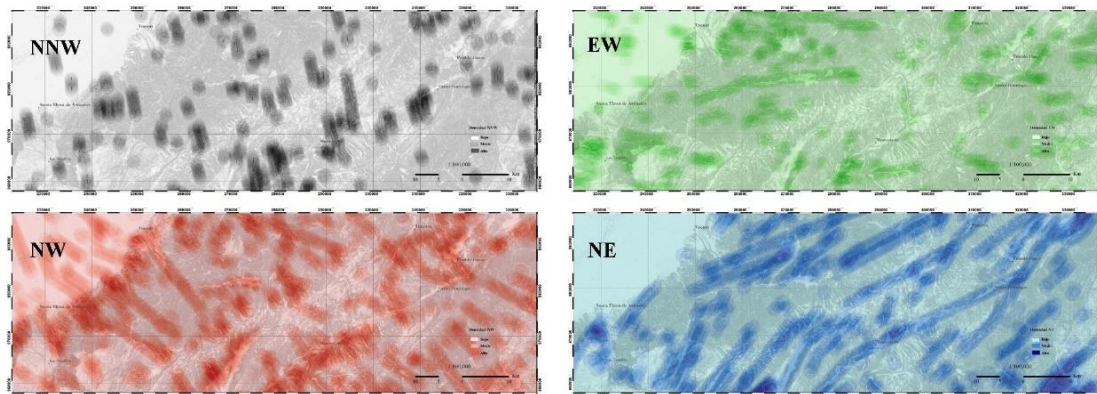


Figura 40. Mapas de densidad según su tendencia

IV.5 Posibles zonas prospecto de interés minero

IV.5.1 Análisis de densidad de lineamientos Vs Registro Histórico

Según la información obtenida a través del registro histórico se puede observar una distribución de zonas mineras a lo largo de toda el área de estudio. Estas zonas fueron delimitadas en siete envolventes representadas en el mapa de densidad (Envolvente 1: mayor concentración de densidad y Envolvente 7: menor concentración) con la finalidad de correlacionar el registro preexistente con la información generada en los mapas de densidad y establecer la relación que existe entre ellos. A continuación se establecerá la relación que existe entre el mapa de densidad de lineamientos con el mapa de registro histórico

Envolvente 1:

En la zona NO, en los alrededores de la localidad de Tucaní se realizaron estudios geoquímicos en los sedimentos de corriente, los cuales permitieron la definición de una zona anómala con potencial para albergar posibles mineralizaciones de origen calcófilo. Los resultados fueron plasmados en mapas geoquímicos que se generaron a partir de la transformación de los datos de concentración de los elementos en la fracción menor a 0,177 mm. En dicha zona se encontraron anomalías de los elementos Ag, Mo, W, Tl, Bi, S, Pb y Zn según Navarro, G., 2022.

Envolvente 2:

En la intersección de los sistemas de fallas del Rio Chama y Rio Motatán se encontraron pórfidos e indicios de mineralizaciones cupríferas características de formaciones de yacimientos del tipo Cobre porfídico con posibles asociaciones de metales de Pb, Zn y Mo. (Moya, E. 1973).

En la zona de San Rafael de Mucuchíes se encontraron cristales pequeños de Berilo al igual que en Pueblo Llano , también se reportaron aguas termales y Sulfato Hidratado de Aluminio y Potasio (Alunita) S/A?.. En este pueblo se encuentra la Granodiorita del Carmen y la Adamelita de la Culata reportando intrusiones graníticas con presencia de Uranio. Hacia el oeste del pueblo, en el páramo de Los Conejos se encontró Alunita al igual que el pueblo de Mucuchíes. Así mismo en el norte de Santa Elena ubicado al sur del páramo, se observaron diques pegmatíticos intrusivos. (Zuloaga, G. 1956)

En 1944 en el informe “Añadir datos al mapa geológico de Venezuela mediante trabajos de campo en los Andes Venezolanos” reportaron diques pegmatíticos en el Rio Chama hacia la localidad de San Luis o Chichui.

Envolvente 3:

En la región del Río Burate ubicado al este de Pueblo Llano se reportaron vetas hidrotermales con contenido de Plomo al 80%, asumiendo que el mineral es Galena según Galavia, F. (1951). En la población de Pueblo Llano ubicado al SE de Timotes cerca de los poblados de Mitisús y La Mesa, se observaron cristales muy pequeños de Berilo ubicados en pegmatitas (S/A, 1944)

Envolvente 4

Esta envolvente se encuentra ubicada al SE de la zona de estudio específicamente en la localidad de Guayabal cercano al Río Bumbum, en ella se encuentra el anticlinal de Pagüey el cual está constituido por lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Pagüey. Según el Léxico Estratigráfico, las lutitas de la Formación Pagüey constituyen el sello principal de los yacimientos petrolíferos de la cuenca de Barinas. En el campo Mingo, en donde las lutitas están desplazadas por areniscas del litotipo Gobernador, algunas areniscas basales de la Formación Pagüey producen cantidades comerciales de petróleo.

Envolvente 5:

Hacia el SO del mapa se encuentra ubicado el Pueblo de La Azulita, donde se encontraron fuentes de Uranio asociados a Calcopirita. Araujo, E. (1956) reportó 0,011% y 0,013% equivalente de Uranio presente en la Formación Colón y Carmona, C. (1954) encontró 0,006% de Uranio presente en el granito que se encuentra en las proximidades de La Azulita. En el sur de La Azulita, Herrera (1989) observó gneis, esquistos y rocas graníticas y hacia el este de Chorrotal, Araujo (1956) reportó calizas fosfáticas con 0,013% de Uranio en la Formación La Luna.

Envolvente 6:

En el Pueblo de Timotes ubicado entre el Páramo Miranda y el Páramo La Estrella al oeste de Pueblo Llano se encontraron óxidos de Cobre en rocas graníticas alteradas hidrotermalmente según Rodríguez, S. 1974. En La zona de El Carmen

también se reportaron Pegmatitas con presencia de Uranio (Ponte, C. 1973) y Moya, E. (1973) observó cuerpos graníticos porfídicos rellenos de fractura de Cuarzo y Calcopirita asociadas con cobre.

Al NO de Timotes en el Cerro de Santa Ana Lucia se realizó un estudio de radiactividad encontrando Vanadato Hidratado de Uranio y Calcio en el centro del dique pegmatítico principal y en el pueblo de Timotes se encontraron nódulos esporádicos en una pegmatita granítica intrusionada (Davey, J., 1944). En el Pueblo de Mucujote, ubicado al sur de Timotes cercano a Chachopo se reportaron limonitas con presencia de elementos de Mn y Pb y alteraciones hidrotermales según Moya (1973).

Hacia el sur de Chachopo ubicado al NE de Santo Domingo, Zuloaga (1936) reporta diques pegmatíticos intrusionados en esquistos y pizarras encontrando micas de hasta 10 cm de ancho, cabe destacar que este informe realizó un estudio de yacimientos de mica para conocer el potencial minero de la zona, donde se concluyó que la zona de Santa Lucia es donde existe mayor % de rentabilidad para ser explotado. En la zona de Timotes y Chachopo se encontraron diques pegmatíticos asociados con feldespato potásico, cuarzo y turmalina. Las micas se asocian con Berilo y Columbita según Tello (1939).

En las cercanías de la envolvente 6, específicamente en la Serranía de Capaz ubicado al SE de Santa Elena de Arenales se encuentran cuerpos graníticos con presencia de 0,006% de Uranio (Araujo, E., 1956) y en la carretera Mérida-La Azulita, a unos 40 km de la ciudad de Mérida se reportó un Yacimiento de Fosforita Uraninífera “El Joque” Hernández, R. (1959).

Envolvente 7:

En el Páramo de Los Conejos al este de La Azulita también se reportó el mineral Alunita, mientras que al sur del páramo se encuentran diques pegmatíticos intrusivos con presencia de Berilo, Columbita y Micas (Zuloaga, G., 1936)

Tomando en cuenta la ubicación espacial de las envolventes definidas en la Figura 38 se puede decir lo siguiente:

Observando las envolventes en su totalidad podemos concluir que efectivamente la mayoría de los trabajos que se encontraron de zonas mineralizadas corresponden en su gran mayoría con la densidad generada en este trabajo es decir, que este método de extracción de lineamientos se amolda bastante con las zonas mineralizadas.

IV.5.2 Análisis de densidad de lineamientos con respecto al marco geológico-estructural

IV.5.2.1 Análisis geológico

En este análisis se va a relacionar la asociación que existe entre las envolventes y la litología presente en el área de estudio. En el mapa geológico mostrado en la Figura 22.1 se puede observar que existe una relación entre las zonas de mayor densidad de lineamientos con las litologías de roca dura que corresponden con Gneis, granitos, anfibolitas, entre otros. Las envolventes asociadas a estos tipos de rocas son las que corresponden a los números 1,2 y 3.

López, M. (1971) comenta que el grado de fracturación de una roca nos puede servir como guía para su identificación fotogeológica. La densidad de fracturas y la visibilidad y claridad de estas en la fotografía son un índice de la rigidez de la roca, cohesión, dureza, plasticidad y elasticidad de la misma. Así, el granito presentará un alto grado de fracturamiento en la fotografía igual que ocurre con el gneis, cuarcitas, etc. Mientras que en las arcillas, arenas, yesos, etc el grado de fracturamiento es mucho más bajo. Siguiendo el mismo orden de ideas se puede deducir que las envolventes 1,2 y 3 presentan mayor densidad de lineamientos ya que los mismos están comprendidos por terrenos ígneos y metamórficos (Complejo Iglesias, Granito de La Culata, Granodiorita de El Carmen) concordando con lo establecido por López 1971.

Por otra parte aquellas envolventes cuya densidad es menor están asociadas en su mayoría con Formaciones sedimentarias (Fm. Colón, Fm. La luna, Fm. Capacho,

entre otros), estas pudieran presentar comportamientos más dúctiles por tener mayor contenido de arcillas y otros minerales permiten mitigar los esfuerzos sin fracturarse.

En la Figura 41 se observa como un granito tiene comportamiento frágil mientras que las lutitas tienen comportamiento dúctil, lo cual puede asociarse a las rocas que se encuentran en estos espacios, se puede pensar que estos tienen un comportamiento más dúctil y por ello no se forman tantas fracturas en comparación con los granitos.

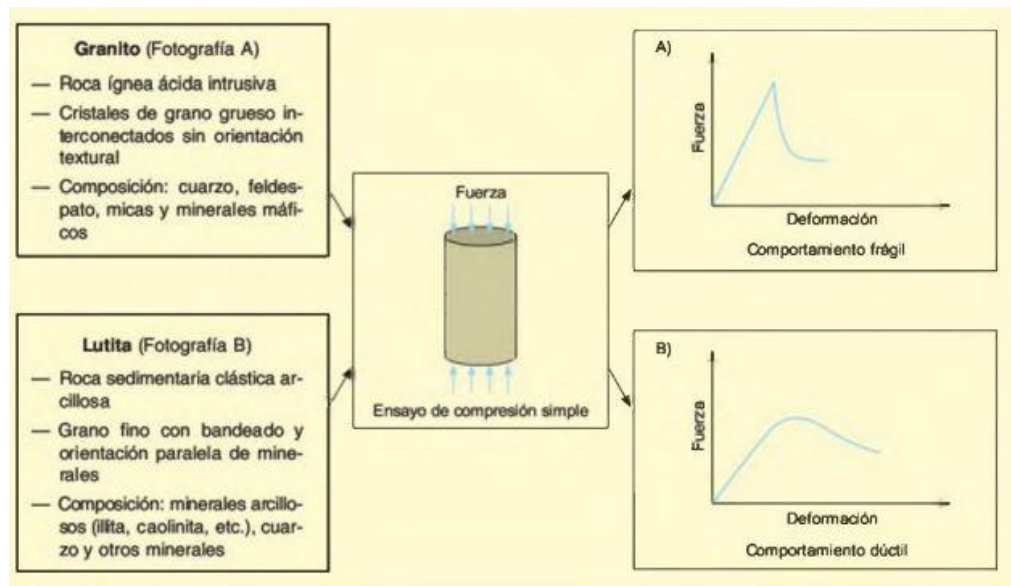


Figura 41. Comparación de deformación entre una roca frágil Vs roca dúctil. Tomado de Vallejo *et al.* 2004

IV.5.2.2 Análisis estructural:

A continuación se realizará una comparación teórica-visual entre el modelo de Wilcox con el diagrama de rosas generado (Figura 42) en los resultados de la interpretación de las orientaciones de los lineamientos de este proyecto. Es importante mencionar que las características propias tanto del modelo de Wilcox como el de la generación de las rosetas son distintos, es decir, el modelo de Wilcox define sus

orientaciones en base a sus estados de esfuerzos bajo un sistema transcurrente (tipo dextral o sinistral) y el diagrama de rosas fue generado tomando en cuenta como criterio de análisis la orientación espacial de los lineamientos, sin importar su génesis de formación (foliación, diaclasa, pliegues, planos de estratificación, trazas, fallas, estribaciones, tributarios, divisorias de agua, entre otros).

También es importante tomar en cuenta en este punto que la zona de estudio estuvo sometida a lo largo del tiempo geológico a esfuerzos por deformaciones tectónicas distintas a la que se rigen actualmente. Por esta razón se hace notorio y a la misma vez se puede sugerir que existe dos tendencias (T2 y T3) de las cuatro generadas en la roseta que no guardan una relación angular con el modelo. Dicho esto, a continuación cada una de las cuatro tendencias serán descritas a detalle.

Existen cuatro tendencias preferenciales evidenciadas en los diagramas de rosas, el cual fue generado con todas aquellas direcciones de lineamientos de primer orden hasta tercer orden, descritos a lo largo de toda la zona de estudio. La tendencia principal (T1) obedece a la dirección noroeste (NW), la segunda tendencia (T4) con dirección noreste (NE), una tercera tendencia (T2) con orientación (EW) y una última tendencia (T3) con dirección NNW.

Sabiendo que los lineamientos que forman parte del diagrama de rosas están asociados a un sistema tectónico transcurrente de tipo dextral (Sistema de Falla de Boconó), es significativo establecer la relación y/o comparación con los procesos teóricos visuales postulados por el modelo de Wilcox. Como se mencionó anteriormente, la tendencia principal T1 obedece a una dirección noroeste. Esto lleva a inferir lo siguiente:

El valor angular de cada tendencia con respecto a la dirección principal de desplazamiento (T4) (sabiendo que T4-T1 es igual 80° , T4-T2 es igual a 44° y T4-T3 es igual a 60°) corresponde a:

La dirección T1 (NW) aparentemente guarda una estrecha relación con el tipo de falla conjugada R' riedel antitético postulado en el modelo de Wilcox., esto hace

pensar que esta dirección principal T1 pudiese estar asociado con un tipo de fallamiento R' con un ángulo de 80° y a su vez con todas sus características genéticas y mecánicas que la definen. Por otro lado la segunda dirección mayoritaria T4 con orientación NE corresponde con la dirección principal del sistema de fallas de Boconó, y haciendo la comparación con el modelo de Wilcox, esta corresponde de igual manera con la dirección principal de desplazamiento con comportamiento de rumbo deslizante de tipo dextral.

Por consiguiente, en base a las otras tendencias T2 y T3 descritas en el diagrama de rosas, podemos sugerir lo siguiente:

La T2 y T3 no corresponden al modelo de Wilcox por la razón antes explicada, es decir, los lineamientos se definieron bajo un criterio netamente visual sin importar las direcciones de deformación como lo hace el modelo de Wilcox. Esto nos lleva a pensar que posiblemente estas tendencias T2 y T3 obedecen a procesos genéticos previos, asociados a los estados iniciales antes de la formación del orógeno (Andes de Mérida) como tal.

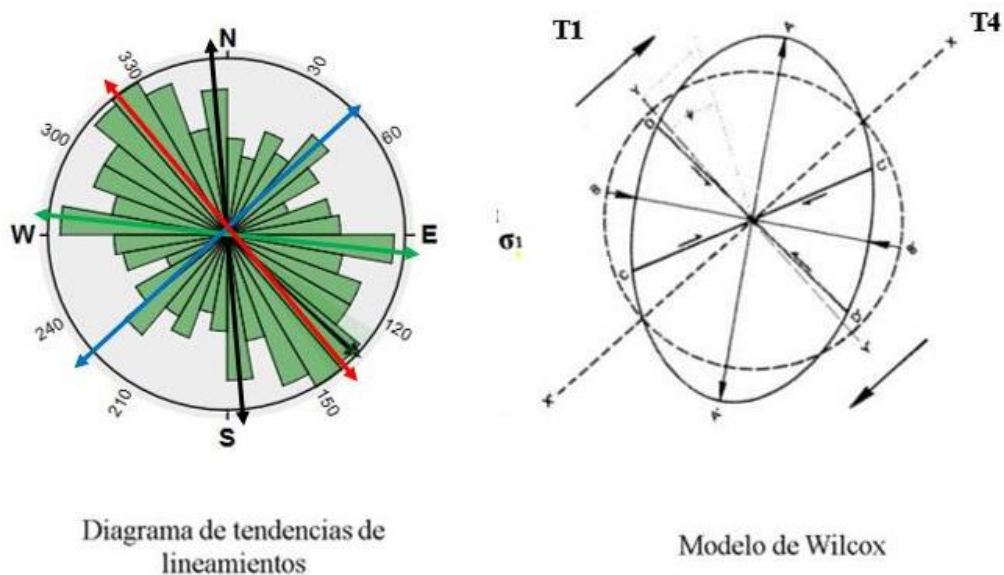
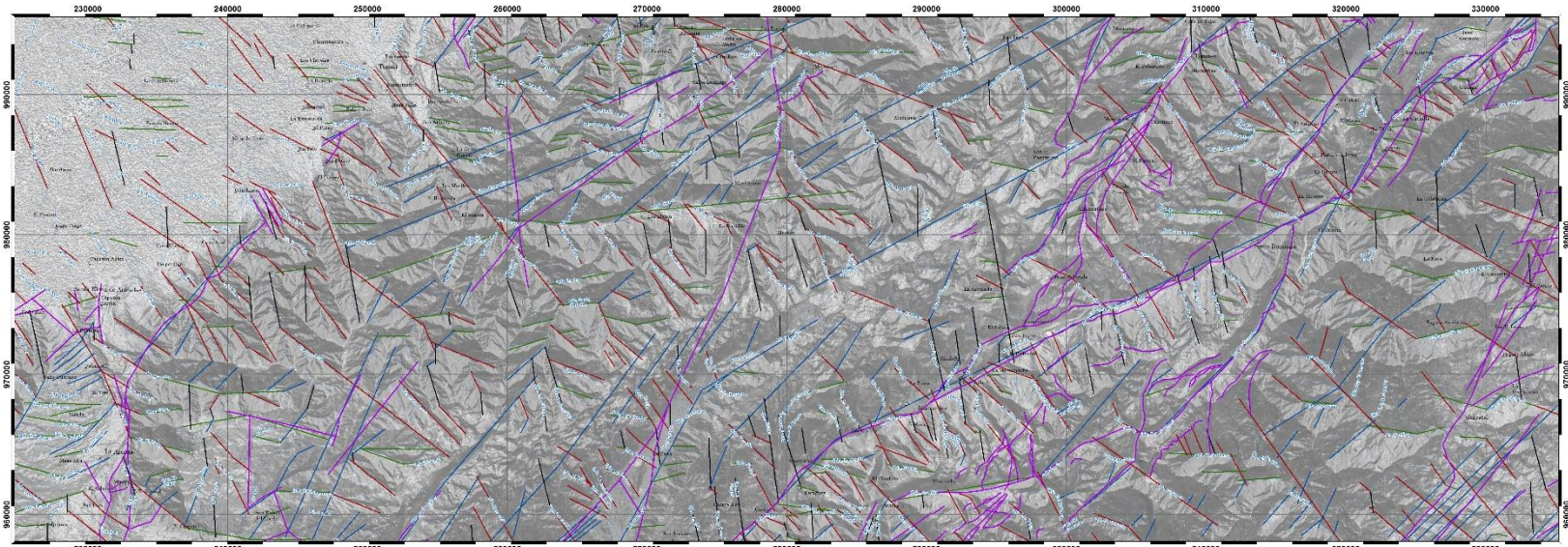


Figura 42. Comparación entre diagrama de tendencias de los lineamientos y el modelo de Wilcox. Wilcox *et al.*, (1973).

En la Figura 43 se puede observar una comparación entre las tendencias de los lineamientos con las fallas del área de estudio (según los mapas de La Creole para esta zona). En el mismo se observa que la T4 sigue el mismo patrón que las fallas mostradas por La Creole y las mismas equivalen a la mayoría. También se observa que las fallas van en la dirección T1 se encuentran mayormente ubicadas hacia el Flanco Norandino siendo estas minoría en comparación a la anterior.



Legenda

Lineamientos según sus tendencias predominantes

- T1: 133° NW
- T2: 97° EW
- T3: 173° NNW
- T4: 233° NE
- Fallas

Símbolos Convencionales

Centros Poblados

- Capital/Gran Municipio
- Poblados

Hidrografía

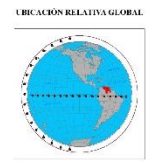
- Ríos de Cuenca
- Ciénagas, Nivel Primario
- OZONOS DE BANDA SUBCOSTALES

Vegetación

- Bosques y Cárabos

Drenajes

- Drenaje superficial
- Drenaje subterráneo



INDICE DE FOLIOS ADYACENTES

| | | | |
|------|------|------|------|
| 9847 | 9853 | 9862 | 9868 |
| 9857 | 9862 | 9871 | 9878 |
| 9867 | 9873 | 9882 | 9888 |

EMPLAZ. QR

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
|--|--|--|--|

Figura 43. Mapa de Tendencias de lineamientos Vs Fallas

IV.6 Zonas prospectivas

En principio todas las zonas en donde se observa alta densidad de lineamientos pueden ser postulados como zonas prospectivas según Valls 2021, a estos se les aplicará varios criterios para definir las zonas con mayor potencial prospectivo. La propuesta se observa en la Figura 44.

Las zonas propuestas en este proyecto son:

- 1. Envolvente 1:** esta envolvente se postula como zona prospectiva ya que es la que contiene mayor densidad de lineamientos que pueden implicar áreas deformadas y fracturadas en algunos casos, además Navarro (2022) propone una zona que coincide con esta envolvente donde se encontraron anomalías positivas para Ag, Mo, W, Tl, Bi, S, Pb y Zn asociadas con sulfuros y concluye que existe la posibilidad de la existencia de mineralizaciones de tipo hidrotermal en la zona. El análogo del origen de estos sulfuros puede corresponder con la Asociación El Águila ya que está asociado con la Fm. Mucuchachí según el LEV. El posible origen de estos sulfuros puede estar asociados a pequeños cuerpos no cartografiados que pueden pertenecer a La Asociación El Águila por ello es importante realizar actividades de campo para delimitarlo y caracterizar la fuente de estos cuerpos. Estos criterios dan indicios del origen de las mineralizaciones de la zona.
- 2. Envolvente 2 y 3:** estas zonas también se proponen por razones tectónicas (controlados por la Falla de Boconó), tienen bastante densidad de lineamientos en todas sus áreas y por el registro histórico la envolvente 2 según el informe de recursos minerales del Edo. Mérida en la zona se reportan alteraciones hidrotermales y según Moya (1973) se encontró Cu, Pb, Zn y Mo asociados a esa zona. La envolvente 2 también comparte una zona de la Asociación El Águila cuya importancia económica fue mencionada en la envolvente 6. En la

envolvente 3 se reportó por S/A (1944) Berilo y Galavia 1951 reportó fracturas hidrotermales Pb y Galena.

- 3. Envolvente 4:** esta zona se propone ya que es controlada por estructuras plegadas asociadas a la tectónica. Se ubica en el flanco sur andino en una zona de corrimiento controlado por anticlinales (Anticlinal de Pagüey). En cuanto a la litología está compuesto por material sedimentario perteneciente a la Formación Pagüey (lutitas, limolitas, areniscas) y por la Formación Parángula (conglomerados). Esta zona es potencial para yacimientos de hidrocarburo, por su geometría estructural (anticlinal) y por su litología, según el LEV la Formación Parángula tiene importancia económica porque de ella se extrae material de construcción (arenas y conglomerados) y la Formación Pagüey porque las lutitas constituyen el sello principal del yacimiento petrolífero de la Cuenca de Barinas.
- 4. Envolvente 5:** en esta envolvente solo se va a proponer la zona sur ya que en esa zona se encuentra focalizado la densidad de los lineamientos. Esta zona es elegida por las siguientes razones: El registro histórico está asociado a la zona, según Zuloaga (1936) reportó diques pegmatíticos, Be, Columbita y micas. La zona sur tiene una gran focalización de densidad de lineamientos y por la tectónica ya que dicha zona se encuentra controlado por una Falla de Mucujún que prácticamente bisecta a la envolvente.
- 5. Envolvente 6:** A pesar de que la densidad se encuentra focalizada en un punto (Pueblo de Chachopo) esta envolvente es postulada en su totalidad por concentrar muchos lineamientos. En cuanto a la litología por su importancia económica (según el LEV) presenta importantes concentraciones de sulfuros masivos con mineralizaciones de Cu, Pb, Zn y Hg las cuales son económicamente rentables. Otro factor de interés es la tectónica asociada en el área comprendida por El Complejo Iglesias, Asociación El Aguila, Fm.

Palmarito y Fm. Sabaneta (Mapa de La Creole). Otra razón para proponer esta zona es la información encontrada en los registros históricos, es decir, según Moya 1973 en la zona se encontró Cu, Micas, Be, Columbita y Mn, Pb asociado a limonitas. Zuloaga 1936 reportó diques pegmatíticos y alteraciones hidrotermales y por último Galavia 1951 reporta Be, micas, columbitas y fracturas hidrotermales.

Es importante resaltar que de estas zonas propuestas solo en ciertos lugares se puede realizar actividades mineras, los mismos se muestran en la Figura 45. No obstante se debe tomar en cuenta esta información para futuros trabajos de prospección y tomar en consideración las zonas que se encuentran fuera de los Parques Nacionales.

En función de este mapa existen áreas dentro de la zona de estudio que no corresponden a zonas de protección por lo tanto se establecerá una relación entre estas áreas con las envolventes:

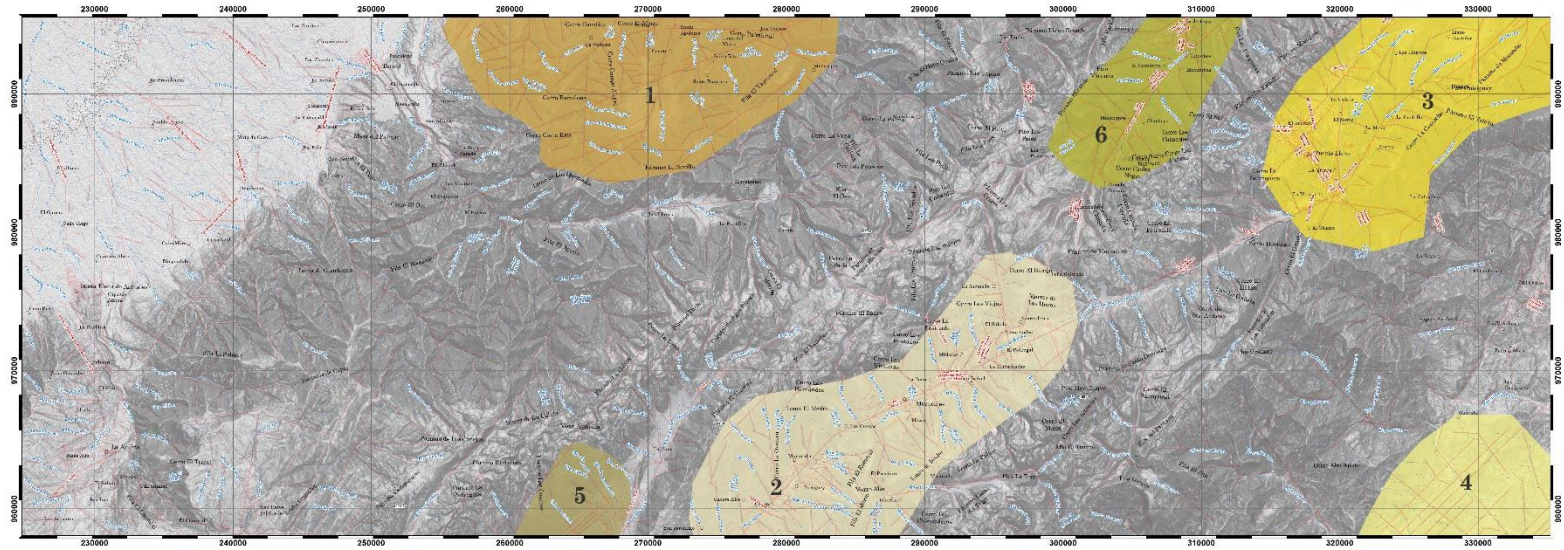
- Envoltente 1: se podría prospectar un 60% del total del área de la misma, específicamente toda la parte norte.
- Envoltente 2: se podría prospectar a lo largo del eje longitudinal con un 30% del total del área de la misma.
- Envoltente 3: se podría prospectar el 90% de toda el área siendo una pequeña área ubicada al sur no prospectiva.
- Envoltente 4: se podría prospectar el 60% de toda el área.
- Envoltente 5: se podría prospectar el 30% de toda el área ubicada en la Falla de Mucujún.
- Envoltente 6: se podría prospectar a lo largo del eje longitudinal con un 70% del total del área de la misma.

En las mismas predominan según los registros históricos las mineralizaciones contenidas en yacimientos de tipo:

- Sulfuros Masivos en yacimientos de origen hidrotermal, emplazados a través de una falla o fractura.

- Cobre en Depósitos Volcanogénicos
- Óxidos de cobre en yacimientos de origen hidrotermal
- yacimientos de cobre porfídico tipo Stockwork
- Yacimiento de Fosforita Uranífera

Tomando en cuenta que el origen de las mineralizaciones en todas las zonas propuestas está relacionados entre sí y a su vez con las mencionadas.



Leyenda

Zonas Propuestas

| | |
|---------------|-----------------------------|
| [Orange] | Zona 1: 249 Km ² |
| [Yellow] | Zona 2: 292 Km ² |
| [Light Green] | Zona 3: 237 Km ² |
| [Yellow] | Zona 4: 88 Km ² |
| [Orange] | Zona 5: 50 Km ² |
| [Yellow] | Zona 6: 103 Km ² |

— Lineamientos

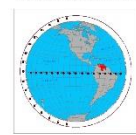
Simbolos Convencionales

| | |
|--|--------------------------------|
| | Centros Poblados |
| | Urbanos de Menor Grado |
| | Poblados |
| | Hipsometria |
| | Contorno de 10m |
| | Contorno de 50m (Interpolado) |
| | Contorno de 100m (Interpolado) |
| | Viabilidad |
| | Trazado y Construido |
| | Drainajes |
| | Drainaje Intermitente |
| | Drainaje Permanente |

Escala 1:100.000



UBICACIÓN RELATIVA GLOBAL



UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL

UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL

UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



INDICE DE FOJAS ADYACENTES

INDICE DE FOJAS ADYACENTES

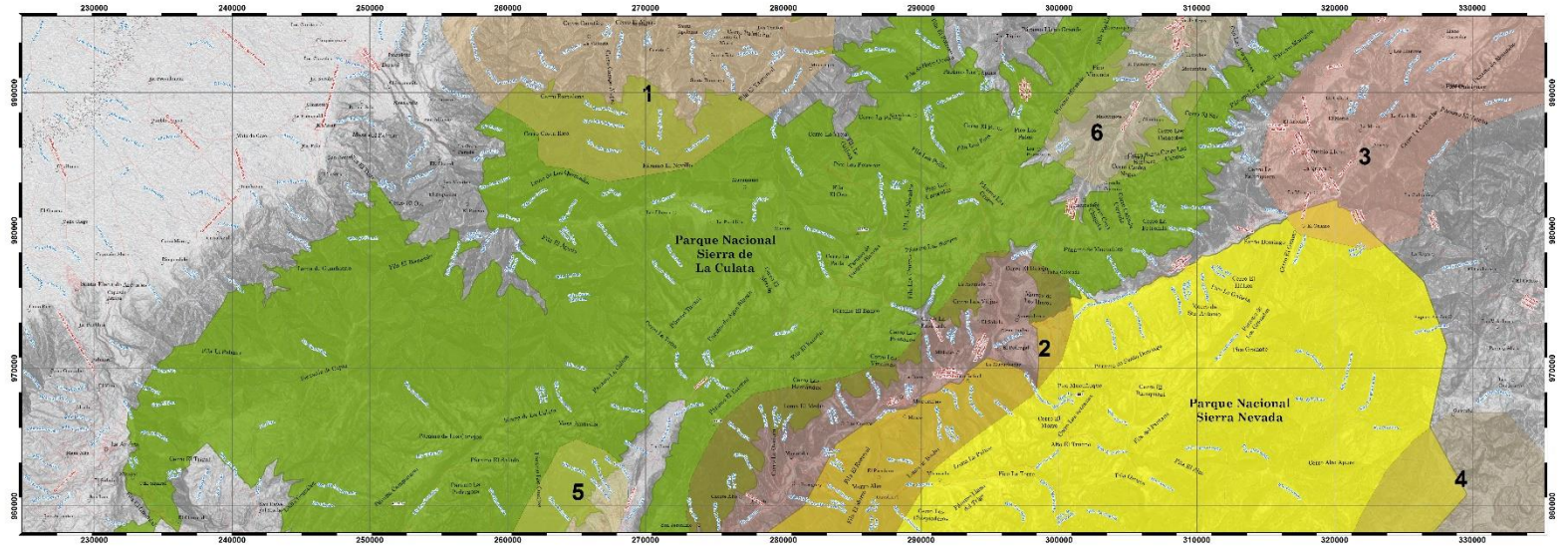
| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| N4E | N5A | N6E | N7E |
| N4W | N5W | N6W | N7W |
| N4E | N5E | N6E | N7E |
| N4W | N5W | N6W | N7W |

TITULO DE FOJAS ADYACENTES

TITULO DE FOJAS ADYACENTES

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Figura 44. Propuesta de mapa de prospección



Leyenda

Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE)

- Parque Nacional Sierra Nevada
- Parque Nacional Sierra de La Culata

Zonas Propuestas

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

Simbolos Convencionales

Centros Poblados

- Depedentes de Municipio
- Poblados

Hidrografía

- Cursos de Agua
- Cursos de Nivel Intermedio
- Cursos de Nivel Subsuelo

Viabilidad

- Trazados y Caminos

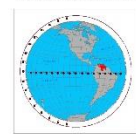
Drenajes

- Drenaje Intermitente
- Drenaje Permanente

Escala 1:100.000



UBICACIÓN RELATIVA GLOBAL



UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL

UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL

UBICACIÓN RELATIVA REGIONAL



INDICE DE FOJAS ADYACENTES

| NºE | NºA | NºO | NºS |
|-----|-----|-----|-----|
| NºE | NºA | NºO | NºS |
| NºE | NºA | NºO | NºS |
| NºE | NºA | NºO | NºS |

INDICE DE FOJAS ADYACENTES

INCLAY QR



INCLAY QR

Figura 45. Propuesta de zonas prospecto Vs Zonas protegidas

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La presente investigación permite plantear las siguientes conclusiones:

1. Las imágenes de radar Alos Palsar con resolución de 12,5 m como parte de los sensores remotos contribuyen sustancialmente en la actualización cartográfica de los mapas base y temáticos a escala 1:100000, pero por ser un método indirecto es necesario que se corrobore la información con actividades de campo.
2. Los mapas básicos y temáticos fueron actualizados para la realización de este proyecto a escala 1:100.000 de las hojas cartográficas 5942 y 6042 de La Azulita y Timotes, respectivamente. Los mapas geológicos fueron actualizados mediante una recopilación de mapas y datos homologados por SIG. Se generaron unas capas vectorizadas a escala 1:100.000 que están sujetas a cambios debido a que esta es una propuesta que necesita ser verificada en campo sobre todo las zonas propuestas en este proyecto ya que son zonas con potencial para encontrar mineralizaciones.
3. Los registros históricos fueron de gran utilidad ya que sirvieron como parámetros comparativos para asociar las zonas de mineralización previamente documentadas con las zonas de mayor densidad de lineamientos y el mapa geológico para incluir el aspecto geológico estructural.
4. La generación de lineamientos es un criterio netamente interpretativo a juicio del investigador a pesar de que se utilizan herramientas digitales que facilitan dicha interpretación. Razón por la cual es fundamental complementarlos con datos documentales y de campo. Esta investigación es pionera tratando de aplicar esta técnica a la prospección minera, razón por la cual tiene margen de mejora y puede fortalecerse con más investigaciones en el futuro.
5. Los lineamientos interpretados poseen cuatro tendencias predominantes T1, T2, T3 y T4 evidenciados en el histograma y diagrama de rosas. Es importante

establecer la posible relación que existe con el sistema transcurrente tipo dextral. Estos fueron comparados con el modelo de Wilcox y se concluyó que T1 guarda una estrecha relación con el tipo de falla conjugada R'. T4 corresponde con la dirección principal de desplazamiento con comportamiento de rumbo deslizante dextral. La T2 y T3 no corresponden al modelo de Wilcox esto nos lleva a pensar que posiblemente estas tendencias T2 y T3 obedecen a procesos genéticos previos, asociados a los estados iniciales antes de la formación del orógeno (Andes de Mérida).

6. La variación angular que existen en la T2 y T3 puede radicar en la complejidad tectónica de la zona de estudio ya que esta posee un significativo y complejo sistema dinámico de deformación en los distintos periodos del tiempo geológico las cuales influyen y afectan la dinámica estructural de la zona.
7. Debido a la escala del trabajo se descarta en su totalidad que los lineamientos generados correspondan a estructuras asociados a planos de diaclasas y laminaciones.
8. No todos los lineamientos generados son fracturas, muchos están asociados a estribaciones, divisorias de agua, tributarios, etc. Por tal razón es necesario encontrar todas aquellas estructuras que validen el modelo de deformación de Wilcox.
9. Las envolventes guardan una estrecha relación con las zonas de mineralizaciones descritos en el mapa de registro histórico lo que refuerza y respalda los resultados obtenidos en este proyecto.
10. Se puede deducir que las envolventes 1,2 y 3 presentan mayor densidad de lineamientos ya que los mismos están comprendidos por terrenos ígneos y metamórficos (Complejo Iglesias, Granito de La Culata, Granodiorita de El Carmen) y tomando en cuenta que este tipo de rocas tiene la tendencia a presentar un alto grado de fracturamiento y en el área de estudio están localizados cerca de estructuras geológicas que posiblemente aumentan la densidad de planos de debilidad dentro de las rocas.

11. Las zonas propuestas que coinciden con la envolvente 2, 6 y 3 guardan una relación ya que 2 y 3 están bajo el mismo sistema de fallas y 6 y 3 contienen a la Asociación El Águila de importancia económica debido al contenido de sulfuros masivos.
12. Los resultados aquí propuestos están orientados exclusivamente a la investigación ya que la zona de estudio pertenece a zonas de protección de Parque Nacional (zonas ABRAE), sin embargo pueden utilizarse en otras zonas comparando estos parámetros cualitativos y cuantitativos ya que pueden servir de referencia y comparación en otras zonas de interés que cumplan con las características de esta investigación.
13. Gracias a la metodología aplicada se logró reducir el área a un 25% siendo el área total prospectiva equivalente a 1029 Km². Estas áreas son las que se encuentran delimitadas por las envolventes 1-6, por consiguiente son las áreas donde existe mayor probabilidad de encontrar mineralizaciones asociadas a las observadas en los registros históricos.

Recomendaciones

- Realizar el análisis de lineamientos mediante la combinación de bandas en imágenes satelitales con la finalidad de comparar los resultados con los extraídos con imágenes de radar.
- Realizar la extracción de lineamientos por cada método de iluminación y realizar los diagramas de rosas correspondientes con la finalidad de comparar los resultados con los que se proponen en este proyecto.
- Investigar en otros trabajos si existe información minera en la zona donde se encuentra la envolvente 1 ya que en los trabajos investigados solo el de geoquímica aporta información.
- Realizar estudios geológicos detallados para corroborar correlación de Fm. Mucuchachí y Asociación El Águila y corroborar la edad de cuerpos meteorizados asociados con las envolventes 6 y 2.
- Se recomienda para futuros trabajos en esta área, utilizar software que generen los lineamientos de manera automática para comparar esos resultados con los aquí propuestos.
- Se recomienda integrar estudios geofísicos y geoquímicos en las zonas propuestas con la finalidad de conocer los tipos de mineralizaciones y el volumen que ocupa.
- Las zonas propuestas pueden ser refinadas realizando un estudio a detalle de cada una de ellas mediante la aplicación de estudios geoquímicos, geofísicos y otros que se crean convenientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, M., Cantos, G., Pérez, E., y Audemard, F. 2015. *Cartografía neotectónica de la Falla de Boconó entre Tabay y La Toma, Mérida - Venezuela*. Boletín de Geología, 37 (2): 47-55.
- Álzate, M. (2001) *Imágenes espaciales de la superficie terrestre. Procesamiento digital, análisis y extracción de la información geomática*. Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geofísica. Universidad Nacional de Colombia. 328 pp.
- Anónimo (s.f.). *Recursos minerales del Estado Mérida*. Trabajo no publicado, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- Araujo, E. (1956). *Estudios sobre minerales radioactivos en los estados Mérida y Táchira*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- ArcGis. *Herramientas de Arcgis*. Consultado el 12 de julio de 2022 a través de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.5/tools/spatial-analyst-toolbox/line-density.htm>
- Arozena, J. (1969). *Informe petrológico de rocas aflorantes en el área de Timotes, Estado Mérida*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- Audemard, F. (2009). *Falla de Boconó. Atlas de deformaciones cuaternarias de Los Andes*. Publicación Geológica Multinacional, 7: 259 – 271.
- Audemard, F., Ollarves, R., Bechtold, M., Díaz, G., Beck, C., Carrillo, E., Pantosti, D. and Diederix, H. (2008). *Trench investigation on the main strand of the Boconó fault in its central section, at Mesa del Caballo, Mérida Andes, Venezuela*. Tectonophysics, 459: 38–53.

- Audemard, F.A. (2000). *Geomorphic and geologic evidence of ongoing uplift and deformation in the Merida Andes, Venezuela*. Quaternary International, 101-102: 43-65.
- Audemard, F.A. (2003). *Geomorphic and geologic evidence of ongoing uplift and deformation in the Mérida Andes, Venezuela*. Quaternary International 101-102, 43-65.
- Audemard, F.E., and Audemard, F.A. (2002). *Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America–Caribbean geodynamic interaction*. Tectonophysics, 345: 299-327.
- Avellaneda, J. (2015). *Caracterización estructural y de lineamientos de la península de Azuero*. Trabajo especial de grado. Facultad de Ciencias Universidad de Los Andes. Bogotá D.C. 43p.
- Baquero, M. (2012). *Análisis de lineamientos en la Cuenca Cesar-Ranchería y áreas adyacentes*. Geología Colombiana, p. 29.
- Bell, J. (1972). *Geotectonic evolution of the southern Caribbean area*. Geological Society of American, Memoir 132, 369-386.
- Boletín de Geología, publicación especial N 12. *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. Tercera edición, diciembre 1997. Tomo 1 y 2.
- Carmona, C. (1954). *Informe Radiométrico: Zonas de radioactividad positiva localizadas en los estados Táchira y Mérida*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- Chuvieco, E. (1995) *Fundamentos de teledetección espacial*. 2da ed. Madrid. Ediciones Rialp, S.A.449 p.
- Datos de la Tierra (s.f.). *Radar de apertura sintética de banda L tipo Phased Array ALOS*. Nasa. Consultado el 30 de septiembre de 2021 a través de <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/alos-palsar-about/> .

- Davey, J. (1944). *Notas sobre algunos minerales radioactivos de Los Andes Venezolanos*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio Caracas.
- Earth Data. (s.f.) Consultado el 6 de mayo de 2021 a través de la página web:
[https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS&zoom=9.505787312965417¢er=-64.263326,7.283560&polygon=POLYGON\(\(-66%208,-65.9559%207.1623,-64.094%207.3913,-64.1059%208.1766,-66%208\)\)&resultsLoaded=true&granule=ALPSRP253530140-RTC_HI_RES&productTypes=RTC_HI_RES&beamModes=FBD&start=2010-09-15T00:00:00Z](https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS&zoom=9.505787312965417¢er=-64.263326,7.283560&polygon=POLYGON((-66%208,-65.9559%207.1623,-64.094%207.3913,-64.1059%208.1766,-66%208))&resultsLoaded=true&granule=ALPSRP253530140-RTC_HI_RES&productTypes=RTC_HI_RES&beamModes=FBD&start=2010-09-15T00:00:00Z)
- Enríquez, Y., Abanto, W., Mamani, Y., Lozano, D. y Núñez, J. (2021). *Uso de software libre y de código abierto para la identificación de lineamientos estructurales y realce de estructuras geológicas*. Rev. Inst. investig. Fac. minas metal. cienc. geogr. vol 24 n° 48, 2021: 253 - 264
- Gaceta Oficial 34.439 de fecha 29/03/1990. Creación de Parque Nacional Sierra de La Culata. Decreto ejecutivo N° 640.
- Gaceta Oficial N° 23.821 de fecha 2/05/1952. Creación de Parque Nacional Sierra Nevada. Decreto ejecutivo N° 393
- Galavia, F. (1951). *Informe preliminar de la prospección de minerales radiactivos en Los Andes venezolanos*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio Caracas.
- Geología Histórica de Los Andes Venezolanos (s.f.). Consultado el 30 de septiembre de 2021 a través de <https://geologiepourtous.wordpress.com/tag/columna-estratigrafica/>.
- Ghazi, R. (2013). *Automatic extraction and geospatial analysis of lineaments and their tectonic significance in some areas of northern Iraq using remote sensing techniques and GIS*. International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering. Vol. 2 Issue 2, Feb.-2013. 11p.

- González De Juana C., Iturralde J. y Piccard, X. (1980). *Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas*. 1: 407p, 2: 624 p.
- Gross, W., (1951). *A statistical study of topographic linears and bedrock structures*. Geol. Assoc. Canada Proc., v. 4, p. 77-87.
- Guerrero, O. (2019). *Geología del Flanco Nor-andino venezolano: Rasgos geomorfológicos*. Grupo de Investigaciones Terra. Escuela de Ingeniería Geológica. Universidad de Los Andes, Venezuela.
- Gupta, R. (2017). *Remote sensing geology*. Springer er.
- Hackley, C., Urbani, F., Karlsen, A.W., y Garrity, C.P. (2006). *Mapa geológico de Venezuela*. Escala 1:750.000. U. S. Geological Survey, UCV y FUNVISIS
- Hernández, A. (2018). *Análisis morfoestructural para determinar la posible presencia de una caldera en el campo volcánico Río Santa María, como fuente de emisión de las Ignimbritas Santa María-El órgano mediante el uso de técnicas geomáticas*. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí.
- Hernández, M. (2021). *Análisis de las fracturas naturales en los cinturones de rocas verdes del Arco Minero del Orinoco (Área 4)*. Trabajo inédito.
- Hernández, R. (1959). *Yacimientos de Fosforitas Uraniníferas en el Joque, Edo. Mérida*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- Herrera, J. (1989). *Informe Geológico de la Margen Izquierda Río Capaz Aguas Arriba La Azulita, Mérida*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- Hobbs, W. (1904). *Lineaments of the Atlantic border región*. Geol. Soc. America Bull., v. 15, p. 483-506.
- Hobbs, W., (1904). *Lineaments of the Atlantic border región*. Geol. Soc. America Bull., v. 15, p. 483-506.

- Informe preliminar sobre los yacimientos de Mica, Berilo y otros minerales de la Región de los Andes Venezolanos (1944). Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar IGVS (2008). *Curso Introductorio a la Geomática*. Proyecciones Cartográficas. Caracas: 5-12.
- Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar IGVS (2008). *Lectura e interpretación de mapas*. Edición 2011. Caracas, 48 p.
- Koike, K., Nagano, S., y Kawaba, K. (1998). *Construction and analysis of interpreted fracture planes through combination of satellite-image derived lineaments and digital elevation model data*. Computers & Geosciences, 573-583.
- La Marca, E. (1997). *Origen y evolución geológica de la cordillera de Mérida*. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Segunda etapa. 1 era edición.p.101
- López, M. (1971). *Manual de fotogeología*. Publicaciones Científicas de La Junta de Energía Nuclear. 268p
- Luna, J. (2019). *Relación geométrica y cuantificación de las deformaciones en el sistema de fallas de San Sebastián – El Pilar mediante modelos análogos*. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Miller, C. y Laflamme, R. (1958). *The Digital Terrain Model-: Theory & Application*. MIT Photogrammetry Laboratory.
- Moya, E. (1973). *Estudios geológicos-geoquímicos de la zona de Timotes, Páramo de Mérida, Estado Mérida*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- Muñoz, I. (1981). *Estudio geoquímico regional de Cobre y Zinc en el Estado Mérida*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.

- Navarro, G. (2022). *Prospección geoquímica en la fracción < 0,177mm de los sedimentos de corriente en La Azulita, Estado Mérida, Venezuela*. Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Departamento de Geoquímica, Caracas.
- Olaya, V. (2020) *Sistemas de Información Geográfica*. Los Ángeles. U.S.A. 640 p
- O'leary, D., Friedman, J. y Pohn, H. (1976). *Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms*. Geological Society of America. Bulletin, vol. 87, p. 1463–1469.
- O'leary, J. Friedman, H. Pohn, H. (1976). *Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms*. U.S. Geological Survey, Federal Center, Denver, Colorado 80225
- Olivera, D., Da Silva, R., Justa, D., Da Silva R.C., Sícoli, J. y Limeira, C. (2009). *Elaboração de um mapa de lineamento estrutural e densidade de lineamento através de imagem SRTM, em uma área ao norte do rio Doce, ES*. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Universidad de Federal do Rio de Janeiro / Departamento de Geología / Instituto de Geociências. Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 4157-4163.
- Parnaud, F., Truskowski, I., Gou, Y., Capello, M., Toni, B., Pascual, J., Sánchez, A., Pilloud, A., Canache, M. y Gamarra, S. (1994). *Modelo biolitoestratigráfico del Occidente de Venezuela*. V Simposio Bolivariano, Exploración Petrolera de las Cuencas Subandinas, Sociedad Venezolana de Geólogos, Caracas, Memoria, p.161–163.
- Pindell, J. y Dewey, J. (1982). *Permo- Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the gulf of Mexico/Caribbean region*. Tectonics, 1 (2): 179-211.
- Pindell, J. y Erikson, J. (1993). *El margen pasivo mesozoico del norte de América del Sur*. en A. Vogel, ed., *Cretaceous tectonics in the Andes*:

International Monograph Series. Earth Evolution Sciences. Wiesbaden, FRG, Vieweg Publishing, p 1–30.

- Ponte, C. (1951). *Resumen sobre las investigaciones de minerales de Uranio y otros elementos radioactivos en Venezuela periodo junio a octubre 1951.* Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- Qgis. *El SIG Líder de Código Abierto para Escritorio.* Consultado el 19 de julio de 2022 a través de <https://qgis.org/es/site/about/index.html>
- Radaideh, A., Jordan M.A., Grasemann, B., Melichar, R. y Mosar, J. (2016). *Detection and analysis of morphotectonic features utilizing satellite remote sensing and GIS: An example in SW.* *Geomorphology* 275 (2016) 58–79
- Reglamento Parcial de La Ley Orgánica para La Ordenación del Territorio Sobre Administración y Manejo de Parques Nacionales y Monumentos Naturales. Decreto 276 de fecha: 09/06/89
- Rodríguez, O., y Arredondo, H. (2005). *Manual Para El Manejo Y Procesamiento de Imágenes Satelitales obtenidas del Sensor Remoto Modis de La Nasa, Aplicado en Estudios de Ingeniería Civil.* Trabajo especial de grado. Inédito Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.
- Rodríguez, S. (1974). *Depósitos de minerales metálicos de Venezuela.* Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- Romero, E. (2018). *Actualización geológica-cartográfica de la hoja 6448 ubicada al sur-este de Falcón Oriental, mediante el uso de sensores remotos.* Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Sonder, R., (1938). *Die Lineamenttektonik und ihre Probleme.* *Eclogae Geol. Helvetiae*, v. 31, p. 199-238.
- Stereonet 11. Consultado el 03 de agosto de 2022 a través de la pagina <http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/stereonet.htm>

- Suarez, C., & Candela L. (2018). *Uso de sensores remotos y software libre en la cartografía de lineamientos geológicos: caso de estudio, Flanco Occidental del Macizo de Santander*. 9º Congreso de La Ciencia Cartográfica. La Cartografía como Herramienta de Decisión. 282-300p.
- Sykes, L., McCann, W. y Kafka, A. (1982). *Motion Caribbean plate during last 7 million years and implications for earlier Cenozoic movements*. Journal of Geophysical Research, 87 (B13): 10656-10676.
- Taboada, A., Rivera, L, Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., y Rivera, C. (2000). *Geodynamics of the northern Andes: Subductions and Intracontinental deformation (Colombia)*. Tectonics, 19: 787-813.
- Tazzo, M., Weber, B., González, R., Valencia, V., Frei, D., Schaaf, P. & Solari, L. (2018). *Multiple metamorphic events in the Palaeozoic Mérida Andes basement, Venezuela: conocimientos de la geocronología U-Pb y la sistemática de isótopos Hf-Nd*. International Geology Review, DOI: 10.1080/00206814.2018.1522520
- Tello, M. (1939). *Estado actual y perspectivas de la minería en Venezuela*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.
- Twiss, R., Y Moores, E., (1992). *Structural Geology*. pp 113-127.
- Useche, A. (1973). *Geología de la región de La Azulita, Estado Mérida*. II congreso latinoamericano de geología. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Informe técnico 28p.
- Vallejo, L., Ferrer, F. Ortuño, L. y Oteo C. *Ingeniería Geológica*. Editorial Pearson Educación, Madrid, 2002
- Valls R. (2021, Agosto 6). *¿Cómo encontrar, económicamente, su próximo depósito?*. Ponencia presentada en la Universidad Peruvian Synergy. Consultado 7 Julio 2021 a través de: https://www.youtube.com/watch?v=y7_TdcOINaI

- Venezuela. Creole Petroleum Corporation (1956). Geología de superficie. F-3-C. Escala 1:50.000. Mapa geológico
- Venezuela. Creole Petroleum Corporation (1957). Geología de superficie. F-3-B. Escala 1:50.000. Mapa geológico
- Venezuela. Creole Petroleum Corporation (1961). Geología de superficie. F-3-D. Escala 1:50.000. Mapa geológico
- Venezuela. Creole Petroleum Corporation (1961). Geología de superficie. F-4-A. Escala 1:50.000. Mapa geológico
- Venezuela. Creole Petroleum Corporation (1961). Geología de superficie. F-4-C. Escala 1:50.000. Mapa geológico
- Venezuela. Creole Petroleum Corporation (1963). Geología de superficie. F-3-A. Escala 1:50.000. Mapa geológico
- Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional (1976). Timotes. Hoja 6042. Escala 1:100.000. Mapa topográfico
- Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional (1977). La Azulita. Hoja 5942. Escala 1:100.000. Mapa topográfico
- Wilcox *et al.*, (1973). *Basic Wrench Tectonic The American Association of Petroleum Geologist*. Bulletin V.57, No 1, P 74-96, 16Figs
- Zuloaga, G. (1936). *Informe Geológico sobre los yacimientos de mica de la Región de Timotes y Chachopo, Edo. Mérida*. Trabajo no publicado, Instituto Nacional de Geología y Minería, Biblioteca Zonia Osorio, Caracas.