

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES
CINEMÁTICOS DE LA PARED BAJA DEL TAJO TABACO UNO, MINA
CERREJÓN, GUAJIRA-COLOMBIA.**

EDGAR ANDRÉS MARTÍNEZ PRADA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2012**

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES
CINEMÁTICOS DE LA PARED BAJA DEL TAJO TABACO UNO, MINA
CERREJÓN, GUAJIRA-COLOMBIA.**

EDGAR ANDRÉS MARTÍNEZ PRADA

**Proyecto de Grado para optar al título de
Geólogo**

Director

**FRANCISCO ALBERTO VELANDIA PATIÑO
Profesor Universidad Industrial de Santander**

Tutor

**PEDRO ALEXANDER CÁCERES CÁRDENAS
Geólogo de Soporte Estructural, Carbones del Cerrejón Limited**

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

2012

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander, en especial a la Escuela de Geología por su gran contribución en mi formación académica y personal.

A Carbones del Cerrejón, por darme la oportunidad de tener una valiosa experiencia laboral y cumplir así una de mis metas.

A mi Director el Profesor Francisco Velandia y mi Tutor el Geólogo Pedro Cáceres, por su constante apoyo y trabajo en la realización de este proyecto.

A la Superintendencia de Geología a la cabeza de German Hernández, a mí Jefe Ramón Daza y a todo el equipo de compañeros que siempre estuvieron prestos a ayudarme y aconsejarme en especial a los Geólogos Iván Gutiérrez y Luis Montes.

A todos ustedes por leer este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios, por darme toda la fuerza y bendición necesaria para salir adelante y triunfar día a día.

A las tres mujeres de mi vida Vitalia, Martha y Catalina; con su amor y apoyo hoy somos una familia feliz.

A todos mis familiares y quienes me han brindado su ayuda justo en los momentos difíciles y necesarios.

A la familia Pico Porras, por todas sus enseñanzas y apoyo, por permitirme estar en su familia.

A todos mis amigos, por los momentos y aventuras vividas, en especial a Ingrid Bejarano por su incondicional ayuda.

CONTENIDO

| | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|
| INTRODUCCIÓN..... | 19 |
| 1. OBJETIVOS | 21 |
| 1.1 OBJETIVO GENERALES | 21 |
| 1.2 OBJETIVO ESPECIFICO..... | 21 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 22 |
| 2.1 MECANISMOS DE PLEGAMIENTO..... | 23 |
| 2.2 ANALISIS DE MAPAS Y AREAS PLEGADAS Y/O FALLADAS | 26 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 29 |
| 3.1 FASE INICIAL | 30 |
| 3.2 FASE DE RECOLECCION Y PROCESAMIENTO..... | 30 |
| 3.3 FASE DE INTERPRETACION Y RESULTADOS | 31 |
| 4. DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTOS | 32 |
| 4.1 CARTOGRAFIA GEOLOGICA..... | 32 |
| 4.2 IDENTIFICACION, TOMA Y REGISTRO DE INDICADORES CINEMATICOS | 35 |
| 4.3 CREACION Y ORGANIZACIÓN DE GEODATABASE DE ARCGIS | 39 |
| 4.4 GENERACION DE SECCIONES GEOLOGICO - ESTRUCTURALES..... | 40 |
| 5. LOCALIZACION AREA DE ESTUDIO..... | 41 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6. GEOLOGIA REGIONAL | 42 |
| 6.1 MARCO GEOTECTONICO..... | 42 |
| 6.2 ESTRATIGRAFIA REGIONAL | 44 |
| 6.2.1 Descripción estratigráfica Cuenca Cesar – Ranchería | 44 |
| 7. GEOLOGIA LOCAL..... | 55 |
| 7.1 ESTRATIGRAFIA LOCAL..... | 55 |
| 7.1.1 Cenozoico | 55 |
| 7.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL..... | 60 |
| 7.2.1 Fallas en el Área de Estudio | 61 |
| 8. RESULTADOS | 63 |
| 8.1 CARTOGRAFIA GEOLOGICA AL NW DEL EJE DEL ANTICLINAL DE TABACO | 63 |
| 8.2 EMPALME CON CARTOGRAFIA CONTINUA, PALENCIA (2007) | 71 |
| 8.3 SECCIONES ESTRUCTURALES..... | 75 |
| 8.3.1 Sección A – A´ | 75 |
| 8.3.2 Sección B –B´ | 77 |
| 8.4 ESTILO ESTRUCTURAL DEL AREA | 82 |
| 8.4.1 Estilo estructural; Zona 1, 2 y 3..... | 84 |
| 8.4.2 Estilo estructural general, área de trabajo..... | 90 |
| 9. CONCLUSIONES | 95 |
| 10. RECOMENDACIONES..... | 97 |
| GLOSARIO ¹ | 98 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 105 |

ANEXOS..... 112

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1. Mecanismos esenciales para producir plegamientos. Pandeo (izquierda), Combadura (centro) y Cizallamiento simple heterogéneo (derecha). | 24 |
| Figura 2. Esquema Metodología de Trabajo. | 29 |
| Figura 3. Polígono en rojo, Zona de Campo. | 32 |
| Figura 4. Ubicación zonda de campo, en esquema estructural del depósito, zona de campo enmarcada en ovalo rojo. | 33 |
| Figura 5. Trabajos de campo, cartografía geológica al norte de la zona de estudio. Se observa afloramiento litología L8. | 34 |
| Figura 6. Fotografía, areniscas rojizas litología 2 (L2), se observan estrías de falla. | 37 |
| Figura 7. Fotografía, areniscas litología 4 (L4). Se observa pliegue anticlinal con vergencia horaria, Tipo “Z”. La línea roja ilustra el plegamiento, la flecha marca la rotación, en sentido de manecillas del reloj y líneas amarillas recrean letra “Z”. | 38 |
| Figura 8. Pliegues como indicadores cinemáticos. El caso a) muestra una determinación correcta y el caso b) y b') respectivamente muestran una determinación incorrecta. | 38 |
| Figura 9. Ubicación Zona de Estudio a nivel regional y local. | 41 |
| Figura 10. Contexto geotectónico de la Cuenca Cesar – Rancherías. | 43 |
| Figura 11. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca Cesar – Ranchería, resaltando en recuadro rojo la Formación Cerrejón. | 45 |
| Figura 12. Fotografía, contacto discordante entre la Formación La Quinta (base afloramiento) y la Formación Rio Negro (techo afloramiento), tomada sobre la orilla del río Carey. | 47 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 13. Fotografía, se observan paquetes decimétricos de limolitas y lodolitas macizas, Formación Rio Negro, tomada en el afloramiento del municipio La Duda. | 49 |
| Figura 14. Fotografía, Roca Wackestone fosilífera bioturbada en capas gruesas característica de la Formación Lagunitas, tomada en afloramiento sobre la Sierra Fernambuco..... | 51 |
| Figura 15. Fotografía, Formación Cerrejón, se observa manto de carbón lo cual caracteriza esta formación. Tomada al NW de la zona de estudio. | 58 |
| Figura 16. Modelo estructural, corte NW - SE sector N Colombiano entre la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia) y los Andes de Mérida (Venezuela). | 62 |
| Figura 17. Fotografía, se observa talud del sector norte de la pared baja del Tajo Tabaco Uno, tomada en la zona centro del área de campo. | 63 |
| Figura 18. Leyenda, Mapa Geológico..... | 65 |
| Figura 19. Leyenda, Mapa Geológico – Usos del suelo..... | 66 |
| Figura 20. Fotografía, se pliegue anticlinal vergencia antihoraria, desarrollado en areniscas rojizas de grano fino correspondientes a la Litología 2 (L2), tomada NE de la zona de estudio..... | 67 |
| Figura 21. Sector NE del polígono de trabajo. Presenta mayor densidad de datos estructurales e indicadores cinemáticos. | 68 |
| Figura 22. Fotografía, se observa manto de carbón triturado aledaño a traza de falla, tomada al NE de la zona de estudio..... | 69 |
| Figura 23. Traza de fallas presentes en la zona de campo. Se observa las dos trazas de fallas subparalelas cartografiadas y la falla inversa cartografiada y caracterizada por Carbones del Cerrejón y Ruiz (2006), Falla Tabaco Uno..... | 70 |
| Figura 24. Fotografía, se observa zona de fallamiento, Falla Tabaco uno. Sector norte de zona de campo. | 71 |
| Figura 25. Polígonos áreas de campo integradas..... | 72 |
| Figura 26. Leyenda, mapa Unificación Cartografía, se clasifican y ordenan la totalidad de las litologías reconocidas por el presente proyecto y Palencia (2007), respetando nombres y descripciones prescritas. | 73 |
| Figura 27. Sector SE, mapa Unificación Cartográfica, se observan dos fallamientos inversos subparalelos uno del otro con trazas en dirección NE – SW, Falla Tabaco | |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Uno (al norte) y Falla Tabaco Palencia (al sur) caracterizadas por Ruiz (2006) y Palencia (2007)..... | 74 |
| Figura 28. Traza sección A – A´, en Mapa Geológico escala 1: 1500. | 76 |
| Figura 29. Sector centro, sección A – A´. | 77 |
| Figura 30. Traza sección B – B´ en Mapa Geológico escala 1: 1000. | 78 |
| Figura 31. Segmento sección B –B´. Se observa falla de rumbo y al oeste de esta anticlinal que se sugiere relacionado con la falla de rumbo adjunta, cuya traza no alcanza acortar esta sección..... | 79 |
| Figura 32. Mapa Geológico, sector NE. Se observa prolongación sugerida de trazas de las fallas este y oeste. | 80 |
| Figura 33. Sección B – B´, sector oeste..... | 81 |
| Figura 34. Sección B – B´, sector este..... | 82 |
| Figura 35. División del área de trabajo por zonas..... | 83 |
| Figura 36. Zona 1 en segmento, Mapa Geológico escala 1: 1500..... | 84 |
| Figura 37. Diagrama de rosetas y polos para datos estructurales de planos de estratificación, Zona 1..... | 85 |
| Figura 38. Zona 2 en segmento, Mapa Geológico escala 1: 1500..... | 86 |
| Figura 39. Diagrama de rosetas y polos para datos estructurales de planos de estratificación, Zona 2..... | 86 |
| Figura 40. Grafica integrada de rosetas y lineamientos para plegamientos, Zona 2..... | 87 |
| Figura 41. Zona 3 en segmento, Mapa Geológico escala 1: 1500..... | 88 |
| Figura 42. Diagrama de rosetas y polos para datos estructurales de planos de estratificación, Zona 3..... | 89 |
| Figura 43. Grafica integrada de rosetas y lineamientos para plegamientos, Zona 3. | 89 |
| Figura 44. Graficas de rosetas y polos, para datos estructurales de la Pared Baja del Tajo Tabaco Uno..... | 90 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 45. Graficas de rosetas y lineamientos para la zona de campo, mostrando todos los tipos de plegamientos encontrados. | 91 |
| Figura 46. Grafica de lineamientos para la zona de campo, se grafican plegamientos que presenten vergencia. | 92 |
| Figura 47. Concepto y cálculo de buzamiento aparente. | 99 |
| Figura 48. Concepto y grafica de buzamiento real. | 99 |
| Figura 49. Elementos geométricos de un pliegue. | 101 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1. Orden de competencia de las rocas, dispuesto de manera decreciente.. | 25 |
| Tabla 2. Tabla de código de colores utilizada en graficas de rosetas y lineamientos de ejes de pliegues. | 87 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|
| Anexo A. Mapa Geológico, escala 1:1500 | 113 |
| Anexo B. Mapa Geológico - Usos del suelo, escala 1: 1500. | 113 |
| Anexo C. Mapa Geológico Proyecto Unificación, escala 1: 2500. | 113 |
| Anexo D. Sección A - A', escala 1: 1500. | 113 |
| Anexo E. Sección B - B', escala 1: 1000. | 113 |

NOMENCLATURA

| | |
|-----------------------|----------------------------------|
| E | Este |
| FB | Falla Boconó |
| FO | Sistema de Fallas de Oca - Ancún |
| FSMB | Falla Santa Marta – Bucaramanga |
| Km | Kilómetros |
| Km² | Kilómetros Cuadrados |
| m | Metros |
| m² | Metros Cuadrados |
| mm | Milímetros |
| N | Norte |
| NE | Noreste |
| NW | Noroeste |
| S | Sur |
| SE | Sureste |
| SW | Suroeste |
| W | Oeste |
| ° | Grados |
| ± | Más o Menos |
| > | Mayor Que |
| < | Menor Que |
| % | Por ciento |

RESUMEN

TÍTULO: CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES CINEMÁTICOS DE LA PARED BAJA DEL TAJO TABACO UNO, MINA CERREJÓN, GUAJIRA-COLOMBIA*.

AUTOR: EDGAR ANDRES MARTINEZ PRADA.**

PALABRAS CLAVE: Cartografía Geológica, Estilo Estructural, Tajo Tabaco Uno, Minería.

El crecimiento minero, los aumentos en la demanda de carbón térmico, así como el incremento en los valores de toneladas de carbón explotado y producido que se propone Carbones del Cerrejón año a año, exigen para su cumplimiento un mayor y más claro conocimiento de la geología del depósito y la generación de un modelo geológico cada vez más preciso y confiable. La compañía busca crecer en su área de explotación minera por lo cual realiza labores de caracterización y reconocimiento de nuevas áreas de minería, con el propósito de mantenerse como una de las minas a cielo abierto de carbón más grandes y competitivas del mundo.

El área que comprende la pared baja del antiguo Tajo Tabaco Uno, hoy Tajo Tabaco, es una zona del depósito que ya fue minada, pero que actualmente hace parte de los planes de expansión minera por contar aún con importantes reservas de mantos de carbón recuperables. Sin embargo, la zona se encuentra bajo un complejo control estructural principalmente caracterizado por la interacción de los dominios de la Falla Samán y la presencia del Anticlinal de Tabaco, ubicados al NE y Sur de la zona respectivamente. Con el propósito de proporcionar a la compañía un conocimiento de la geología y a su vez nutrir con la mayor cantidad de información posible las bases de datos, se realiza este trabajo que busca elaborar una cartografía geológica e interpretar los indicadores cinemáticos recolectados en la zona.

Este proyecto genera inferencias sobre el estilo estructural del área, se realizan mapas y secciones geológicas. Así como caracteriza el dominio estructural en el cual se encuentra. Se recolectan una gran cantidad de datos estructurales e indicadores cinemáticos. Adicionalmente se logra reconocer y cartografiar la traza de dos fallas, que sugieren ser relacionadas con la Falla Samán.

* Proyecto de Grado. Modalidad: Práctica Empresarial.

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: M. Sc. Francisco Velandia. Codirector: Pedro Alexander Cáceres.

ABSTRACT

TITLE: GEOLOGICAL CARTOGRAPHY AND INTERPRETATION OF CINEMATIC INDICATORS OF THE TAJO TABACO UNO FOOTWALL, CERREJON MINE, GUAJIRA-COLOMBIA*.

AUTHOR: EDGAR ANDRES MARTINEZ PRADA.**

KEY WORDS: Geological Cartography, Structural Style, Tajo Tabaco Uno, Mining.

The mine industry advance, the raise in demand of thermic coal, as well as the increased value of the exploited and produced coal per ton, that the Cerrejón Mine intends to accomplish every year, requires a better and wider geologic knowledge of the deposit and the generation of a reliable and precise geologic model. Since the company wants to grow in the exploitation area, it is developing the characterization and acknowledgment of new mining areas, with the purpose of enduring as one of the biggest and most competitive open pit coal mines in the world.

The area which belongs to the previous Tajo Tabaco Uno footwall, is part of a deposit that had already been mined, but now a days, is part of the mine expansion plans due to the fact that it still contains important recoverable coal reservoir seams. Nevertheless, the area has a very complex structural control, distinguished by the interaction of the domains of the Samán Fault and the Tabaco Anticline, which are located NE and South of the area, respectively. This work is done with the intent of providing the company the geological knowledge and, at the same time, nourishing the database with the most extensive quantity of data. Likewise, the aim is doing the geological cartography and interpretation of the cinematic indicators obtained in the sector.

This project generates conjectures about the structural style in the area, by creating maps and geological sections; in addition to the characterization of the structural domain in which it stands. A large amount of structural data and cinematic indicators were gathered. Furthermore, the recognition and trace cartography of two faults were made, suggesting that they are related with the Samán Fault.

* Graduate Project. Mode: Industry Practice.

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Director: M. Sc. Francisco Velandia. Codirector: Pedro Alexander Cáceres.

INTRODUCCIÓN

El depósito de Carbones del Cerrejón se ubica al sur del departamento de la Guajira, este proyecto se desarrolla dentro de su área minera más específicamente en la antigua pared baja del Tajo Tabaco Uno.

El proyecto se da como un estudio geológico-estructural desarrollado en una zona con valiosa información geológica, de utilidad para el mejor conocimiento del depósito en general. El trabajo se basa en la generación de un análisis cualitativo y cuantitativo de la geología y génesis del área. Ubicada al NW del Anticlinal de Tabaco, una de las principales estructuras del depósito.

Para plantear o validar cualquier interpretación sobre la zona de estudio es indispensable contar con la mayor cantidad de información geológica que pueda proporcionar el área; desde la recopilación bibliográfica, hasta datos tomados en campo. Dentro de los datos tomados campo se tendrán en cuenta; datos estructurales de planos de estratificaciones, planos de falla, pliegues y ejes de los mismos, así como información preexistente en la compañía; pozos de exploración y estudios en general.

Es importante tener en cuenta que este proyecto le dará a la compañía un agregado en conocimientos académicos y a su vez le brindara soporte en el mejoramiento de Modelos Geológicos del Depósito. Ayudando a prever ocurrencias geológicas en un área próxima a explotar y dando mayor confiabilidad en análisis como cálculos de reservas y planes de avance minero.

Como método de trabajo se opta por el desarrollo de una densa campaña de campo extendida a lo largo de aproximadamente tres meses de trabajo continuo.

Posterior a esta obedece el trabajo de oficina enfocado en el procesamiento de la información recolectada y el ordenamiento e interpretación de esta.

Finalizado el proyecto se deja la ventana abierta para continuar realizando estudios geológicos en la zona los cuales suplirán las necesidades diarias propuestas por la compañía y su avance minero.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERALES

- Complementar la Cartografía Geológico - Estructural de la Pared Baja del Tajo Tabaco Uno, enfocada en la búsqueda y recolección de indicadores cinemáticos, con el objeto de contribuir al análisis geométrico y evolutivo de Anticlinal de Tabaco.

1.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- Procesar y digitalizar los datos e información recolectada en una nueva Base de Datos, Geodatabase de ARCGIS.
- Establecer el Estilo Estructural Dominante en la zona de la Pared Baja del Tajo Tabaco Uno.
- Empalmar la Cartografía Geológico Estructural levantada con la ya preexistente ubicada hacia el limite SE de la zona de campo.

2. MARCO TEÓRICO

La Geología Estructural conforma uno de los pilares del conocimiento Geológico. El origen de la Geología Estructural proviene de la Geodinámica, una de las tres ramas en las que se dividió la Geología a principios del siglo XIX, la geodinámica fue entonces nombrada como la rama encargada de la descripción de los procesos exógenos y endógenos que dan lugar a las estructuras y a los relieves de la tierra.

La Geología Estructural tiene como objetivos principales la descripción geométrica de los cuerpos rocosos abarcando cualquier tipo de roca, el análisis cinemático y dinámico de los procesos que dan lugar a estructuras y la descripción de los desplazamientos (deformaciones, rotaciones y traslaciones) que causan la formación de dichas estructuras. Se contempla como objetivo adicional de la Geología Estructural la elaboración de modelos que logren explicar las estructuras descritas.

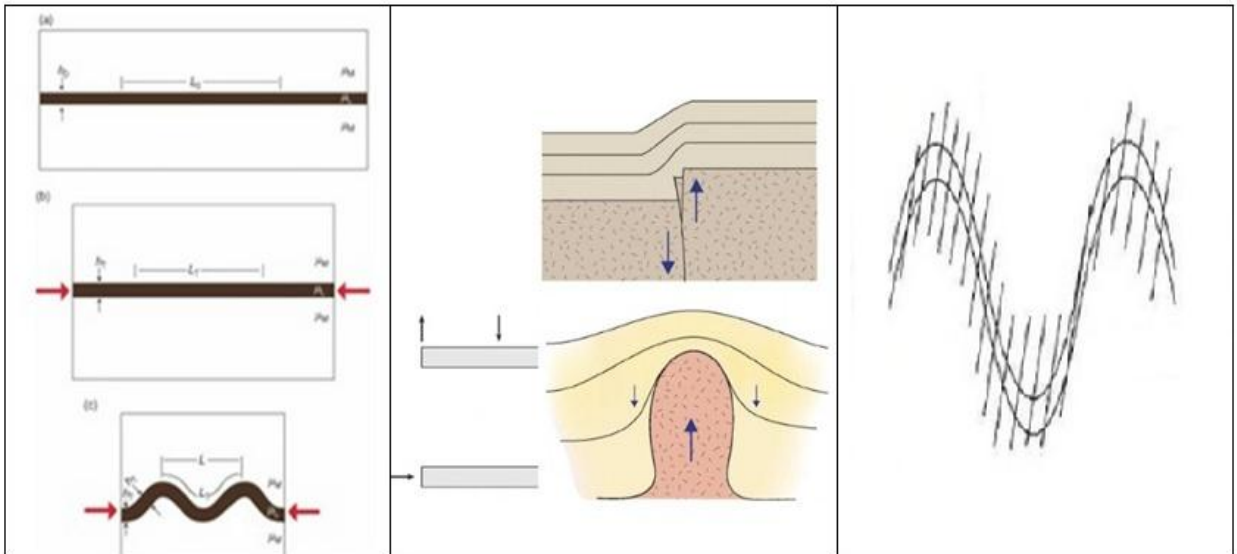
A continuación se citan y explican de manera básica algunos temas abarcados por la geología estructural que cuentan con importante relevancia debido a la temática del presente proyecto.

2.1 MECANISMOS DE PLEGAMIENTO

Los pliegues son estructuras dúctiles aun cuando frecuentemente tiene asociadas estructuras frágiles. El carácter dúctil de un pliegue no indica que su formación se halla dado a profundidad, los pliegues pueden formarse en la misma superficie de la tierra. Lo anterior se debe a que algunas rocas principalmente las de tipo sedimentario presentan un comportamiento esencialmente dúctil, algunas de estas incluso a temperatura ambiente. Tomando como parámetro la forma de las capas plegadas existen tres grupos de pliegues; paralelos, similares y angulares. Los pliegues paralelos formados por flexión de las capas y los denominados similares incluyen no solo flexión sino también aplastamiento. La flexión puede darse en capas sedimentarias incluso a muy bajas temperaturas, para que las rocas sufran una fuerte deformación interna que produzca aplastamiento se necesitan notables aumentos en la temperatura. Se sugiere que los pliegues formados cerca de la superficie son principalmente paralelos mientras los desarrollados a mayor profundidad son similares. La ocurrencia de pliegues angulares es producto principalmente por flexión pero pueden darse en condiciones de temperatura variable de baja a media.

Se tienen tres maneras de producir flexión en un conjunto de superficies relativamente planas, según el tipo de esfuerzos que se aplique y su dirección en relación a la orientación de las capas. El pandeo u ondulamiento (“buckling”) consiste en la generación de pliegues influenciados por esfuerzos normales que actúan paralelamente a las capas. La combadura (“bending”) es la formación de pliegues por esfuerzos normales actuando perpendicularmente o muy oblicuos a las capas. El cizallamiento simple heterogéneo es la generación de pliegues por aplicación de esfuerzos de cizalla oblicuos a las capas (Figura 1).

Figura 1. Mecanismos esenciales para producir plegamientos. Pandeo (izquierda), Combadura (centro) y Cizallamiento simple heterogéneo (derecha).



Fuente: Tomado de Martínez (2003).

La complejidad de cualquier ocurrencia geológica permite tener por ejemplo plegamientos que se desarrollan producto de una combinación de varios de los mecanismos ya mencionados e incluso es frecuente que en el mismo pliegue diferentes capas se encuentren plegadas, producto de diferentes mecanismos.

Diferentes rocas presentan diferentes propiedades físicas y diferentes respuestas ante los esfuerzos. Unas son más frágiles que otras es decir se rompen con más facilidad, al igual que la ductilidad, la resistencia plástica o la viscosidad que varía es variable según el tipo de litología. Dentro de la geología estructural se utiliza el término competitividad para describir el comportamiento de diferentes tipos de rocas, no es un parámetro que exprese una propiedad física y que pueda ser medido en cada roca sino más bien un término comparativo relacionado con la rigidez y la viscosidad. Las rocas más competentes se presentan como las más rígidas, las que más oponen resistencia a la deformación dúctil y también las más viscosas, aquellas que una vez se son afectadas por la deformación dúctil se deforman más lentamente para un valor determinado de los esfuerzos. Se ha

establecido una lista de competencias relativas. El orden de competencias varía según que se trate de deformación a temperaturas bajas o medias (Tabla 1) Dentro de las bajas temperaturas solo se incluye las rocas sedimentarias y dentro de la temperatura media entran a participar rocas de tipo metamórfico. Las temperaturas altas marcan diferencias en la competencia muy pequeñas

La mayor parte de los pliegues se generan inicialmente por pandeo de los niveles competentes, una vez desarrollados los niveles competentes que se pliegan transmiten esfuerzos a los niveles poco competentes causándoles plegamientos.

El cizallamiento simple heterogéneo es un mecanismo muy común, debido a que la mayor parte de las zonas de cizalla dúctil son producto de este. Los pliegues a los que por lo general dan lugar son suaves inflexiones de las superficies de referencia que en ocasiones no son considerados pliegues (Martínez, 2003).

Tabla 1. Orden de competencia de las rocas, dispuesto de manera decreciente.

| TEMPERATURABAJA | TEMPERATURAMEDIA |
|------------------------|------------------------------------|
| Dolomia | Anfibolitas |
| Arcosa | Gneises y granitos de grano grueso |
| Arenisca cuarcítica | Gneises y granitos de grano fino |
| Grauvaca | Cuarcita |
| Caliza de grano grueso | Mármol |
| Caliza de grano fino | Esquisto cuarcítico |
| Limolita | Esquisto micáceo |
| Marga | |
| Argilita | |
| Halita y anhidrita | |

Fuente: Tomado de Martinez (2003).

2.2 ANALISIS DE MAPAS Y AREAS PLEGADAS Y/O FALLADAS

A continuación se citan algunos criterios y consejos prácticos para el reconocimiento de estructuras plegadas y/o falladas tanto en labores de campo como en el análisis de mapas.

- Las direcciones de capa pueden interpretarse como isolíneas estructurales con significado análogo al de las curvas de nivel topográfico. De esta manera diferentes espaciados entre direcciones de capa o cambios en su orientación sugiere la presencia de superficies estructurales (estratos, fallas, etc.) no planares. De la interpretación de la forma y distribución de las capas se podrán reconocer posibles plegamientos (simétricos o asimétricos).
- Es importante recordar el significado de las direcciones de capa y como se dibujan estas en un plano geológico. Serán lineares en la medida que representen una superficie estructural planar. En una superficie plegada las direcciones de capa serán necesariamente curvas. Cuando se está en presencia de pliegues al momento de hacer cortes geológicos no será fácil prolongar las direcciones de capa a fin de buscar las intersecciones con la dirección de corte.
- Las direcciones de capa deben tomarse en los sectores donde la topografía cambia de orientación, es decir en valles, crestas y divisorias. No se deben tomar direcciones de capa en laderas donde la topografía tiene una orientación similar, se corre el riesgo de identificar como dirección de capa una línea que pasa por dos puntos y que pertenece a dos flancos o planos diferentes de un mismo pliegue.

- Los pliegues no son otra cosa que superficies estructurales no planares y como tales intersectan la topografía. Esto marca patrones de afloramiento complejos y posiblemente no obvios. Es de importancia apoyarse en el análisis geométrico del pliegue y de ser posible realizar tantos cortes geológicos como sean necesarios a fin de determinar la estructura geológica presente.
- Es frecuente encontrar en la naturaleza pliegues plegados, las etapas de deformación se prolongan a lo largo de millones de años y la posición de la roca respecto al elipsoide de esfuerzos puede llegar a variar con el tiempo. Es importante recordar que los procesos tectónicos se desarrollan dentro del contexto del movimiento de las placas litosféricas, zonas deformadas en un periodo geológico dado pueden haber sido deformadas más tarde introduciendo mayor complejidad en patrones de afloramiento y en la geometría del pliegue.
- En ausencia de criterios objetivos, la potencia de las capas que constituyen los flancos de series plegadas será constante. El mantener la constancia de la potencia puede ser difícil en las zonas de charnela, así es tolerable un engrosamiento de la misma por comparación con los flancos.
- No siempre pueden identificarse las fallas sobre el terreno, en muchos casos se deducen a partir de diferentes afloramientos y de la disposición de los materiales geológicos. Así no siempre es fácil saber de qué tipo de falla se trata con lo que en muchas ocasiones se interpretan e indican como contactos tectónicos indiferenciados.

- Las fallas corresponden a puntos de la corteza terrestre más susceptibles de ser meteorizados, por ello es bastante frecuente que la red de drenaje en macizos rocosos coincida con la orientación de las fallas y fracturas principales
- Para interpretar la presencia y las características de las fallas otra regla hace referencia a que una misma formación geológica tendrá un espacial aumento drástico de potencia o de espesor en el bloque hundido de una falla o fractura, sin que ello signifique un cambio de orientación en los materiales geológicos.
- Las fallas normales suelen tener ángulos de buzamiento pronunciado y una orientación más o menos constante a la escala habitual de un mapa geológico.

3. METODOLOGÍA

En búsqueda del cumplimiento de los objetivos estipulados y el organizar los trabajos a desarrollar dentro de este proyecto se plantea el siguiente diagrama de flujo el cual ordena los pasos dentro del desarrollo del presente proyecto. Durante sus seis (6) meses de duración. Esta metodología fue dividida en tres fases (Fase Inicial, Fase de Recolección y Procesamiento y la Fase de Interpretación y Resultados) dentro de las cuales se nombran y agrupan las tareas a realizar (Figura 2).

Figura 2. Esquema Metodología de Trabajo.



3.1 FASE INICIAL

Comprende primeramente la selección y el enfoque del proyecto en general y todo cuanto reúna la contextualización del mismo. Por otra parte se tuvieron en cuenta en esta fase las etapas de entrenamiento en trabajos de campo y conocimiento de protocolos de seguridad enfocados principalmente a las actividades realizadas dentro de áreas de mina.

La selección del área de estudio se hizo teniendo en cuenta las necesidades de la compañía, la cual quería darle continuidad a un estudio previamente efectuado y a su vez nutrir con mayor densidad de información un área de próxima minería. Se dio comienzo a la búsqueda de antecedentes y a la lectura de la documentación bibliográfica (publicaciones, informes, libros, mapas e imágenes) disponible.

3.2 FASE DE RECOLECCION Y PROCESAMIENTO

Esta fase del proyecto reúne el comienzo y desarrollo total de los trabajos de campo, el descargue y procesamiento de la información, y el comienzo de la escritura del presente documento.

Posterior a las jornadas diarias de campo (Agosto a Octubre de 2012), se realiza un trabajo de oficina, que consistió en, descargar la información del GPS al ordenador por medio del software Mobile Mapper Office. La información tomada se almacena en una nueva Geodatabase, que organiza toda la información de datos estructurales, cinemáticos y mapeos efectuados. Se realizan en esta fase, dos mapas que reúnen todas las condiciones de cartografía geológicas del área y en los que se plasma toda la información estructural recolectada (planos estructurales, planos de falla, ejes de pliegues y datos de estrías de falla).

3.3 FASE DE INTERPRETACION Y RESULTADOS

Se da como la fase final en que se realiza la Interpretación de productos e información tomada. Se generan dos secciones geológicas una de ellas con datos pozo a pozo permitiendo sugerir un modelo estructural para la zona N del área, esta sección incluye la correlación de los mantos de carbón exhibidos en los pozos y la inclusión de los datos estructurales tomados en campo. La segunda sección barre de NW a SE el polígono de campo, esta sección muestra los resultados obtenidos en gráficas de rosetas y diagramas de polos, adicionalmente plasma los datos estructurales próximos a la traza de la sección.

Se concluye y muestran resultados sobre el estilo estructural dominante en la zona y sus principales características geológicas así como cualquier comentario o inferencia producto de los mapas geológicos generados. Por ultimo finaliza la escritura del libro, se realizan las correcciones pertinentes y se da la socialización de resultados tanto en Carbones de Cerrejón como en la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

4. DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTOS

4.1 CARTOGRAFIA GEOLOGICA

Las labores de Cartografía Geológica se realizan con el objeto de identificar y definir las unidades geológicas presentes en un área determinada y a su vez georeferenciarlas de la manera más precisa posible, en este caso utilizando un GPS con precisión submétrica, el cual permite el mapeo de eventos ocurridos a escala mesoscópica. Según el enfoque del estudio se busca también la identificación de los indicadores cinemáticos presentes en la zona.

El área cartografiada cuenta con una extensión de aproximada de 310,856 m² (Figura 3) se encuentra ubicada al NW del Eje de Anticlinal de Tabaco y en cercanía a la traza de la Falla Samán, que sugiere presentar desplazamiento de tipo sinestral (Figura 4).

Figura 3. Polígono en rojo, Zona de Campo.

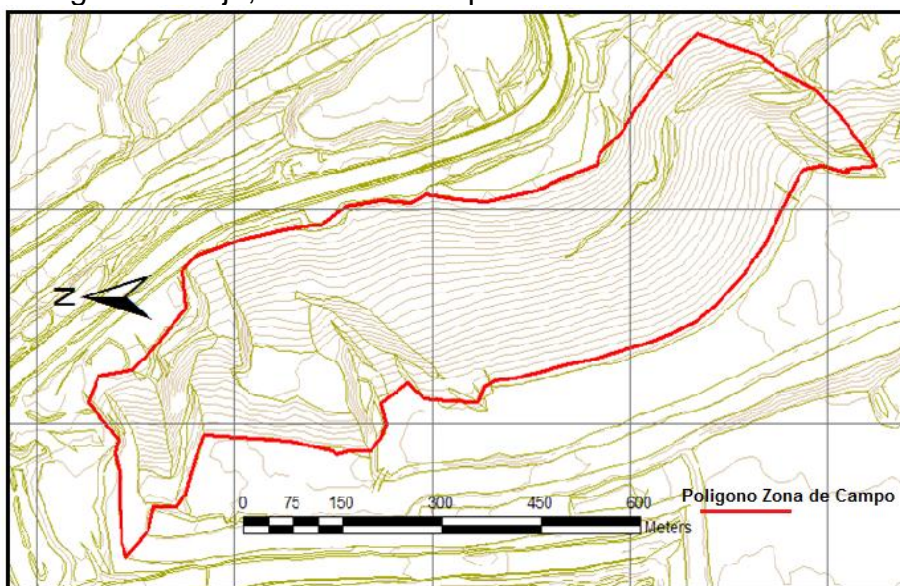
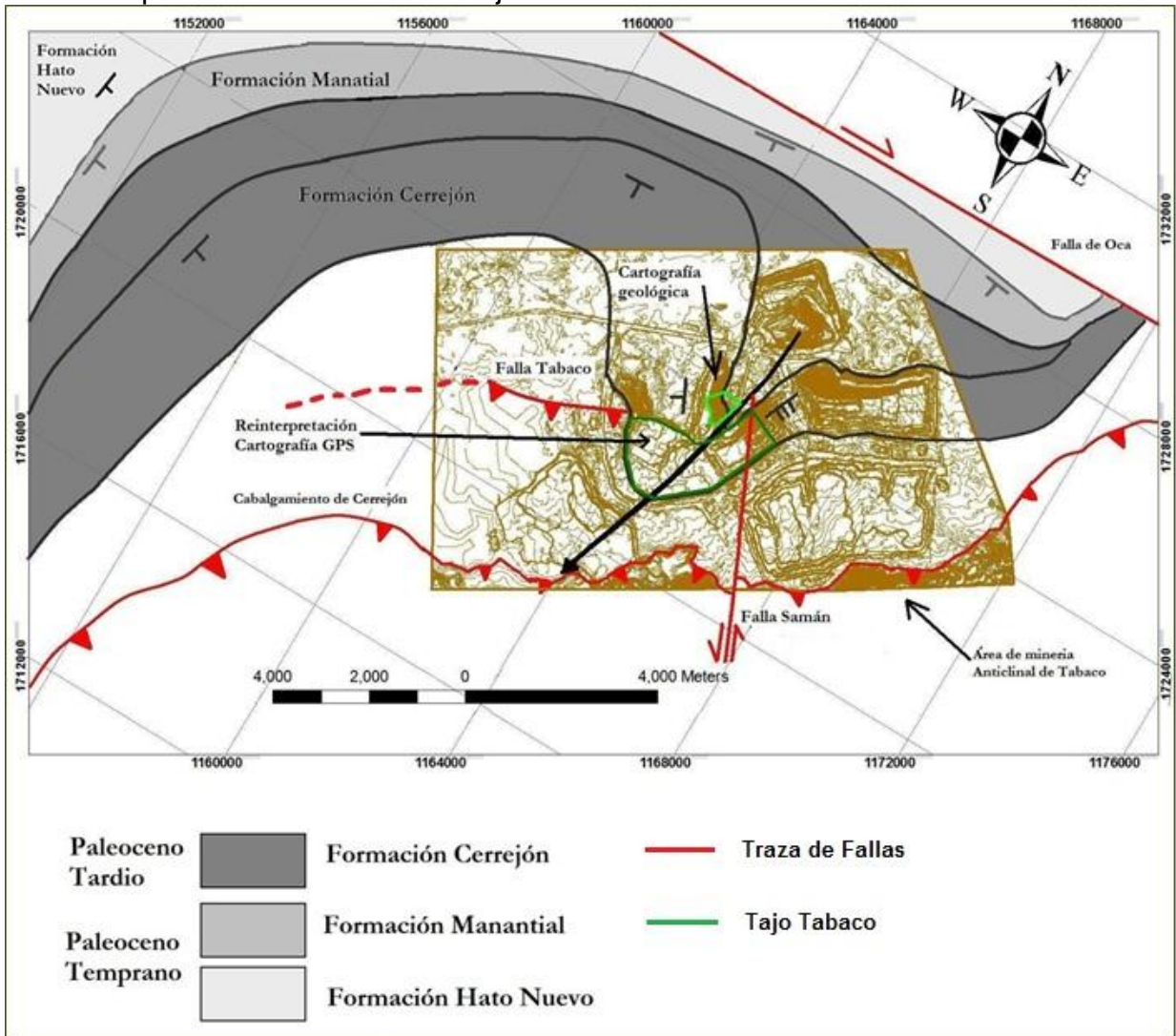


Figura 4. Ubicación zonda de campo, en esquema estructural del depósito, zona de campo enmarcada en ovalo rojo.



Fuente: Tomado y modificado de Palencia, 2007.

Este trabajo de cartografía geológica comienza con una serie de visitas o salidas de reconocimiento y entrenamiento contando con el apoyo de algunos geólogos de la compañía (Figura 5), con el objetivo de no solo reconocer el área si no también familiarizarse con la toma de datos siempre tratando de recopilar el máximo de información estructural presente para su posterior análisis

Dentro de la información recolectada en campo se tienen levantamientos de áreas, líneas y puntos, mapeos litológicos a forma de trazas, mapeos geológicos y la toma de datos estructurales. Toda esta información se encuentra acompañada de comentarios considerados relevantes como; tipo de litología y tipo de estructura presente.

Figura 5. Trabajos de campo, cartografía geológica al norte de la zona de estudio. Se observa afloramiento litología L8.



Dentro de la metodología propuesta por la compañía para la cartografía de las estructuras identificadas en campo se sugiere como procedimientos: la identificación de las estructuras, el análisis y clasificación de esta basándose en un directorio de datos precargado en el GPS. Se debe tener claridad respecto a

cómo se cartografiara la estructura (traza, dato puntual o polígono) y también respecto a que datos o atributos se deben tomar para, consignar la información. Son obligantes datos como: quien toma realiza la medición, en que tajo minero se tomó y con qué tipo de traza se realiza.

Para la descripción de la orientación de un plano geológico en general (diaclasa, falla o estrato) el procedimiento siempre requiere la toma de datos de dirección de buzamiento y ángulo de buzamiento del mismo.

4.2 IDENTIFICACION, TOMA Y REGISTRO DE INDICADORES CINEMATICOS

Normalmente para lograr la identificación de la dirección de movimiento de una falla se utilizan estructuras macroscópicas que gozan de cierta obviedad como bloques caídos o el arrastre de estratos producto del movimiento de falla. Sin embargo es relevante tener en cuenta y utilizar algunos indicadores que permiten según el caso cuantificar el movimiento y el sentido de desplazamiento de una falla.

Los indicadores cinemáticos se deben tanto a deformación frágil o como dúctil. En zonas de deformación frágil por ejemplo es posible encontrar la presencia de indicadores cinemáticos como estrías de falla (Figura 6), las cuales permiten obtener la dirección del desplazamiento de falla siendo estructuras subparalelas la dirección de cizalla. Para el caso de indicadores cinemáticos en zonas dúctiles se presentan fenómenos como la foliación y lineación entre otros.

Durante el desarrollo de los trabajos de campo el aspecto que concentro la mayor atención fue la identificación, toma y registro de indicadores cinemáticos. El análisis de los pliegues presentes en la zona sin importar la escala en la cual se presentaran tuvo como proceso general la toma de la dirección y cabeceo del eje

del pliegue. Este trabajo se realizó con la ayuda de un lápiz el cual sirve como proyección de una línea imaginaria que corresponde al eje del pliegue. También en lo posible y según la escala del pliegue se le toman datos estructurales a los planos de estratificación de cada uno de los flancos del pliegue. Una vez realizados los anteriores pasos es importante definir el sentido de vergencia, el cual se puede determinar usando los siguientes métodos: Se atraviesa un reloj con el eje del pliegue en su lado de cota mayor, para esto el observador (en este caso quien toma el dato) debe ubicarse mentalmente mirando en sentido a la dirección de cabeceo del eje del pliegue. La otra manera sugerida para determinar el sentido de la vergencia del pliegue es reconocer si el pliegue en cuanto a su geometría se comporta como un pliegue tipo “S” o como un pliegue tipo “Z” (Figura 7) lo cual se reconoce gracias a la asimetría que pueden presentar los pliegues debido a la existencia de un flanco corto y un flanco que dan una idea del sentido de la rotación adoptado (es necesario siempre para unificar este criterio que el observador este mirando el pliegue desde arriba). Para evitar imágenes o percepciones especulares que den una idea errónea sobre la vergencia que presenta un pliegue visto en campo, el observador mira la estructura en dirección “Down Dip” lo cual muestra la verdadera o geometría de la estructura. De presentarse afloramientos que por su ubicación o accesibilidad solo se permita observar la geometría en dirección “Up Dip” se sugiere realizar la descripción de la estructura de la misma manera pero al momento de la determinación de la vergencia determinarla de manera invertida.

Figura 6. Fotografía, areniscas rojizas litología 2 (L2), se observan estrías de falla.



El tipo de pliegue cartografiado de acuerdo a su geometría y vergencia se clasifico entonces de la siguiente manera:

- **Tipo “Z”:** Clasificando Eje de pliegue Anticlinal o Sinclinal según el caso con vergencia siempre en sentido horaria.
- **Tipo “S”:** Clasificando Eje de pliegue Anticlinal o Sinclinal según el caso son vergencia siempre en sentido Antihorario.

Algunas inferencias sobre los pliegues (Figura 8) como indicadores cinemáticos nos muestran que los pliegues formados por capas paralelas al plano de cizalla indican el sentido correcto de la cizalla, sin embargo los pliegues formados en capas transversales a la zona de cizalla pueden mostrar tanto el sentido correcto como el sentido incorrecto del desplazamiento, esta perspectiva marca la precaución con la cual se deben usar los pliegues como indicadores cinemáticos.

Figura 7. Fotografía, areniscas litología 4 (L4). Se observa pliegue anticlinal con vergencia horaria, Tipo "Z". La línea roja ilustra el plegamiento, la flecha marca la rotación, en sentido de manecillas del reloj y líneas amarillas recrean letra "Z".

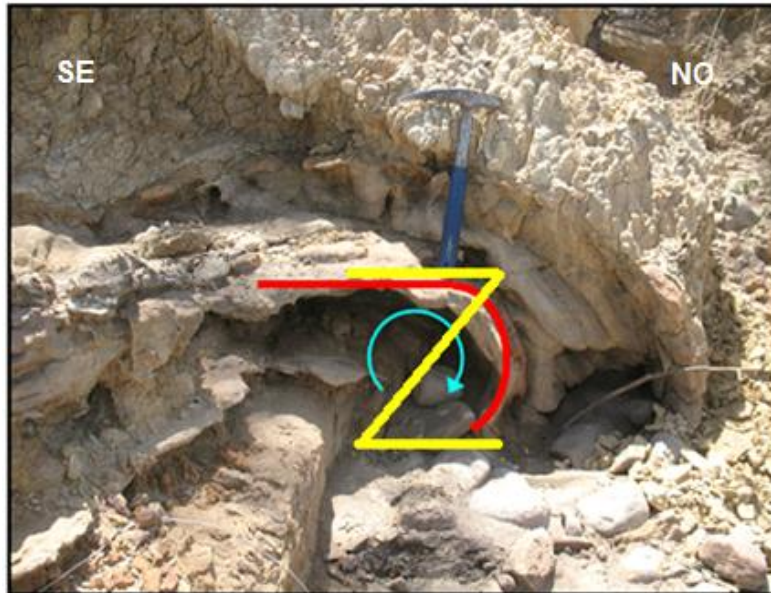
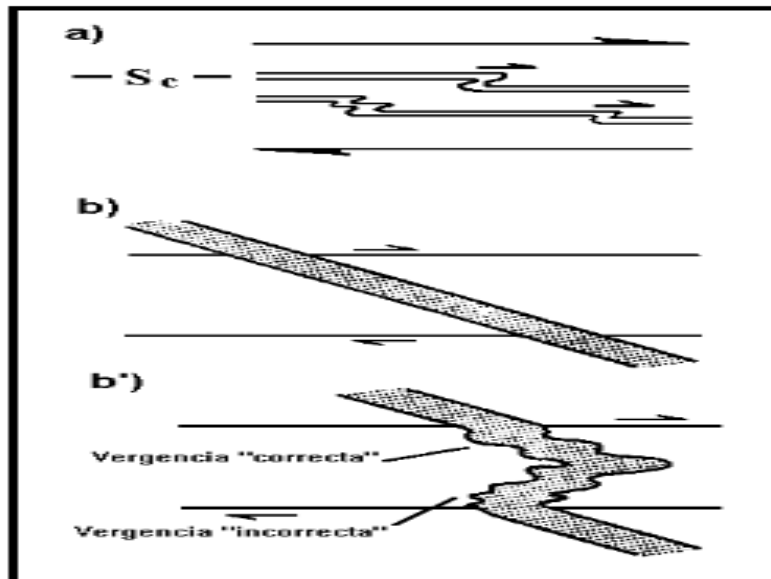


Figura 8. Pliegues como indicadores cinemáticos. El caso a) muestra una determinación correcta y el caso b) y b') respectivamente muestran una determinación incorrecta.



Fuente: Tomado de Simpson, 1986.

4.3 CREACION Y ORGANIZACIÓN DE GEODATABASE DE ARCGIS

Una Geodatabase de ArcGIS es una colección de Datasets geográficos de varios tipos, contenidos en una carpeta de sistemas de archivos común. La Geodatabase es la estructura de datos nativa para el software SIG utilizado en este proyecto, ArcGIS. Cuentan con un modelo de información integral para representar y administrar información geográfica.

El diseño de este SIG implicó la organización de información geográfica en una serie de temas de datos. El primer paso en el diseño de la Geodatabase se dio con la identificación de los temas de datos que se van a utilizar y continuó con la identificación del contenido y las representaciones de cada capa temática. Se definió entonces como se van a representar las entidades geográficas para cada tema por ejemplo; puntos, líneas y polígonos, junto a sus atributos tabulares.

Este proyecto se organizó mediante la creación de una Geodatabase personal, la cual almacena los Datasets en el disco en un archivo .mdb de Microsoft Access creada mediante la utilización de ArcCatalog, esta Geodatabase se denominó Database_Mapeo_Emartin_Tabaco y se subdividió en un Dataset denominado LEVANTAMIENTOS. Este Dataset agrupa y organiza toda la información tomada en el desarrollo de las labores de campo como datos estructurales y dentro de este planos de estratificación y planos de falla, a su vez datos cinemáticos de plegamientos, trazas de falla, mapeos litológicos e información genérica entre otros tipos de información los cuales fueron almacenados como Feature Class, clasificados como; polígonos, líneas y puntos.

4.4 GENERACION DE SECCIONES GEOLOGICO - ESTRUCTURALES

Para la construcción de una sección geológica es necesario situar sobre un perfil topográfico los datos geológicos que se observan sobre el mapa a lo largo de la sección a realizar.

Sobre la Pared Baja del Tajo Tabaco Uno se realizaron 2 cortes geológicos trazados en orientaciones aproximadas NW-SE y NE-SW, estos cortes fueron trabajados con la información litoestratigráfica y estructural que proporcionaron los trabajos de campo, adicionalmente nutridos con la información proveída por ocho pozos exploratorios aledaños.

Para el caso de este proyecto se generaron los perfiles necesarios con la ayuda y el soporte Software Minex en su versión 6.1 el cual permitió generar los cortes geológicos requeridos, e incluir en ellos los datos de los pozos situados sobre la línea de traza. Adicionalmente se generaron no solo perfiles topográficos sino también perfiles de meteorizado y del ASBUILT actualizado a la fecha.

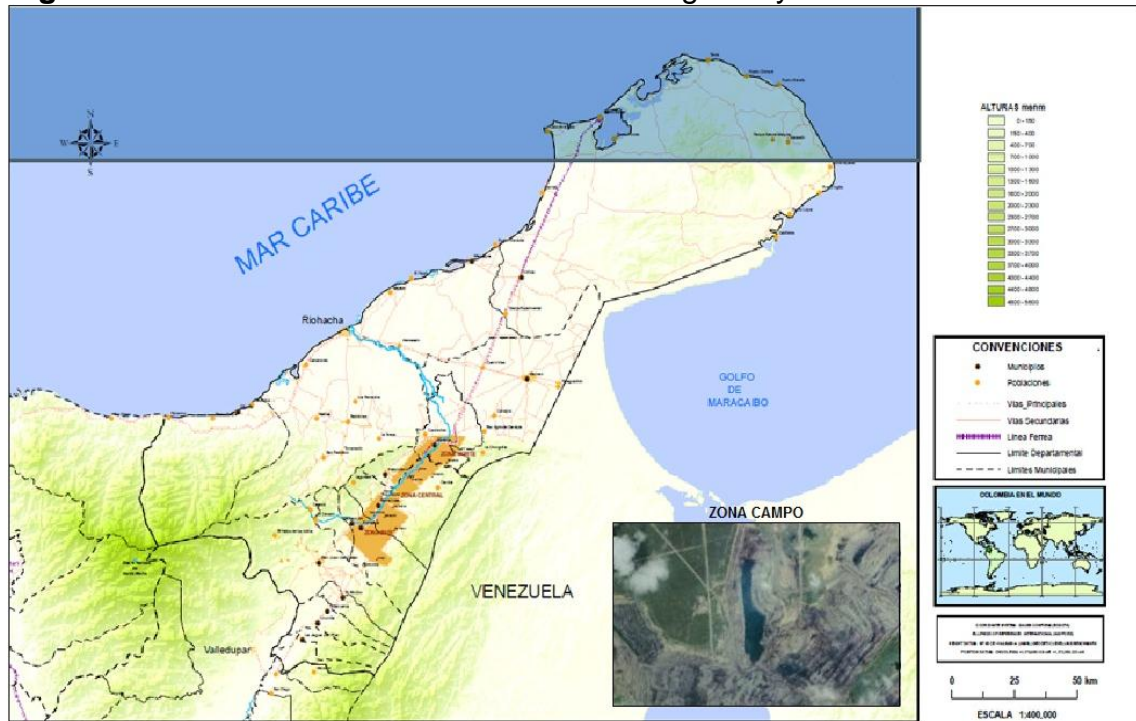
La parte interpretativa en la generación de las secciones se realizó con trabajo a mano, se tuvo como primer dato a tener en cuenta los datos estructurales tomados en campo y adicional complementados con la información mostrada por los pozos exploración. Se correlacionaron como estratos guía los mantos de carbón y algunas litologías estériles reconocibles.

5. LOCALIZACION AREA DE ESTUDIO

El depósito de carbones del Cerrejón se encuentra ubicado al sur del Departamento de la Guajira. Cuenta con un área de desarrollo minero que se extiende a lo largo de 684 Km². Limitando al norte con la Falla de Oca, al este con la Serranía de Perijá y al oeste con las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta.

El área de minería de Carbones del Cerrejón se divide en tres zonas: Norte, Centro y Sur. El área de estudio se sitúa en la Zona Norte en el Tajo Tabaco, con una extensión de aproximadamente 310,856 m², ubicándose al NW del eje del Anticlinal de Tabaco (Figura 9).

Figura 9. Ubicación Zona de Estudio a nivel regional y local.



Fuente: Tomado y modificado de www.cerrejon.com y Google Earth.

6. GEOLOGIA REGIONAL

6.1 MARCO GEOTECTONICO

Actualmente la esquina NW de Sudamérica se encuentra bajo la acción de esfuerzos y la presencia de deformaciones provenientes de la interacción dada entre las placas litosféricas; Sudamericana, Nazca y Caribe y la presencia de dos bloques o micro placas denominadas de Panamá - Costa Rica y Andes del Norte (Pennington, 1981; Kellogg et al., 1985).

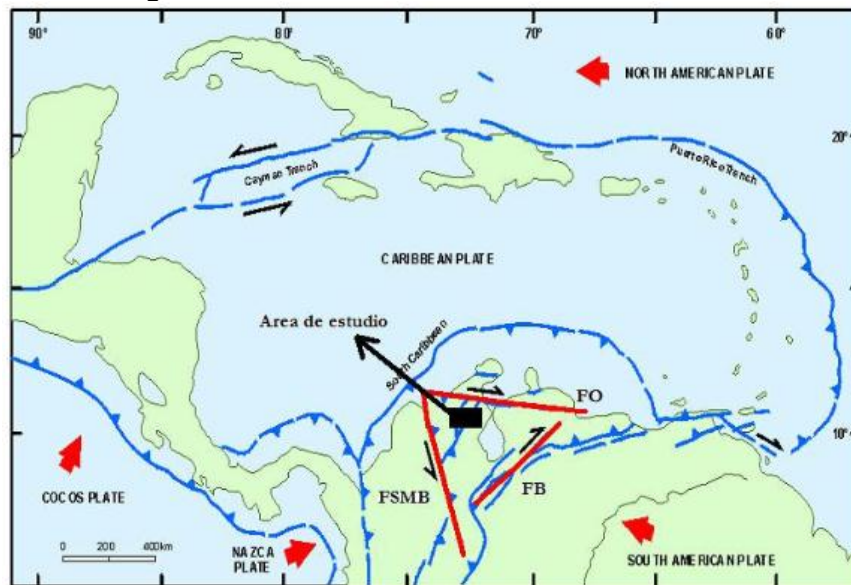
Como respuesta a la interacción entre estas tres placas se desarrollan un sistemas de fallas, dentro de los cuales vale la pena destacar los de Santa Marta – Bucaramanga y Oca, y adicionalmente los levantamientos de la Serranía del Perijá y de la Sierra Nevada de Santa Marta (Hernández, 2003). Los límites de las placas Caribe y Sudamericana forman entre si una gran zona de deformación transpresional lateral dextral activa (Taboaba et al., 2000) y a su vez cabalgamientos, movimientos transcurrentes y fenómenos extensivos tipo rifting (Pindell & Barrret, 1990).

La conjunción de estas tres placas tectónicas (Nazca, Caribe y Sudamericana) define la geometría de la cuenca Cesar – Rancherías dentro de la cual se halla localizado el depósito de carbón de la Formación Cerrejón de edad Paleoceno Superior, siendo esta una cuenca asimétrica que presenta sus mayores espesores hacia el SE de la misma (Ujueta & Llinas, 1990), se caracteriza por la presencia de rocas altamente plegadas las cuales a escala general se encuentran cortadas por fallas que presentan sentido al NE con la presencia además de vergencia en sentido NW, se sugiere que su expresión fisiográfica es el resultado de un levantamiento ocurrido en el Neógeno que se dio en la región (Case et al, 1990).

Dentro de su marco tectónico la cuenca Cesar – Ranchería se encuentra en el bloque triangular de Maracaibo que tiene por límites la falla de rumbo sinistral de Santa Marta – Bucaramanga (FSMB), la falla de rumbo dextral de Boconó (FB) y el sistema de fallas de rumbo dextrales de Oca – Ancón (FO) (Audemard & Audemard, 2001).

El bloque triangular de Maracaibo (Figura 10) está influenciado por la transgresión dextral generada por el movimiento relativo de la placa Caribe hacia en NE– E desarrollado aparentemente desde el Paleoceno (Pindell, 1993). La orogenia andina desde el Mioceno Tardío hasta hoy ha desplazado el bloque principalmente por movimientos de rumbo los cuales se han desarrollado principalmente a lo largo de las fallas de Oca, Santa Marta y Boconó (Pindell & Barnett, 1990). La cuenca Cesar – Rancherías en el área de mina presenta principalmente rocas pertenecientes a la Formación Cerrejón, presentando como expresión topográfica principalmente colinas suaves, normalmente cubierta por depósitos aluviales.

Figura 10. Contexto geotectónico de la Cuenca Cesar – Rancherías.



Fuente: Tomado y modificado de Kellogg & Bonini 1982.

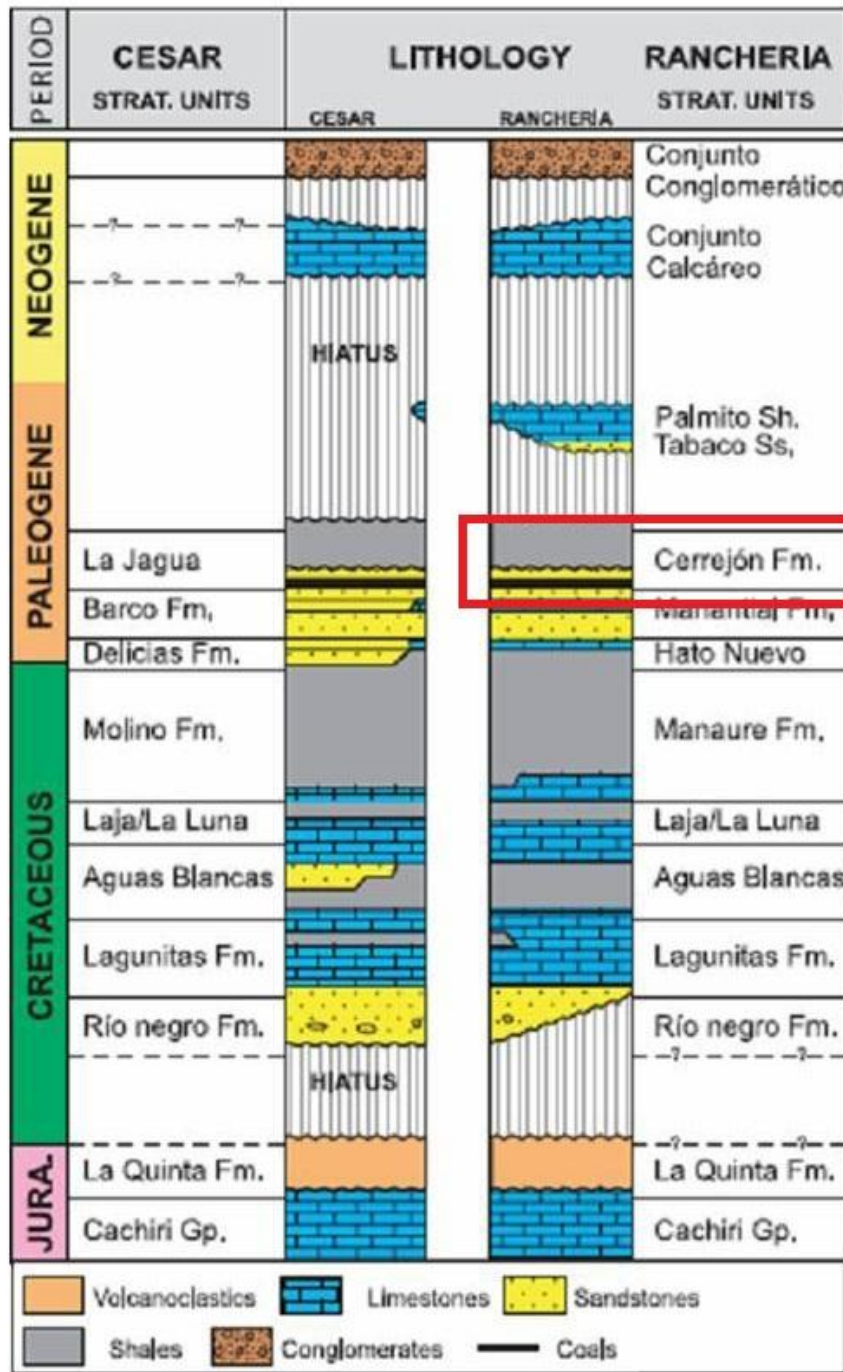
6.2 ESTRATIGRAFIA REGIONAL

El depósito carbonífero de Carbones del Cerrejón como ya ha sido mencionado hace parte de la cuenca sedimentaria Cesar – Ranchería, la cual está dispuesta entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá. Dentro de esta región en general se citan presencia de formaciones litoestratigráficas que van desde el Triásico hasta el Cuaternario, las cuales presentan sedimentos marinos y continentales, rocas con metamorfismo e incluso rocas ígneas intrusivas, extrusivas y piroclásticas con edades variables.

6.2.1 Descripción estratigráfica Cuenca Cesar – Ranchería

La siguiente columna estratigráfica (Figura 11) describe las principales y más relevantes unidades reportadas. Se clasificadas por edades de las más antiguas a la más reciente.

Figura 11. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca Cesar – Ranchería, resaltando en recuadro rojo la Formación Cerrejón.



Fuente: Tomado y Modificado de Barbero et al., en Cerrejón 2008.

6.2.1.1 Mesozoico

- **Triásico – Jurásico**

- **Formación La Quinta:** La Formación La Quinta (Figura 12) aflora a lo largo del flanco W de la Serranía del Perijá, al E de las poblaciones de La Jagua de Ibirico, Victoria de San Isidro y al SE de Santa Isabel (Hernández, 2003), se reportan también afloramientos en cercanías al municipio de Manaure los cuales se prolongan hacia el S hasta la quebrada San Antonio (Arias & Morales, 1999).

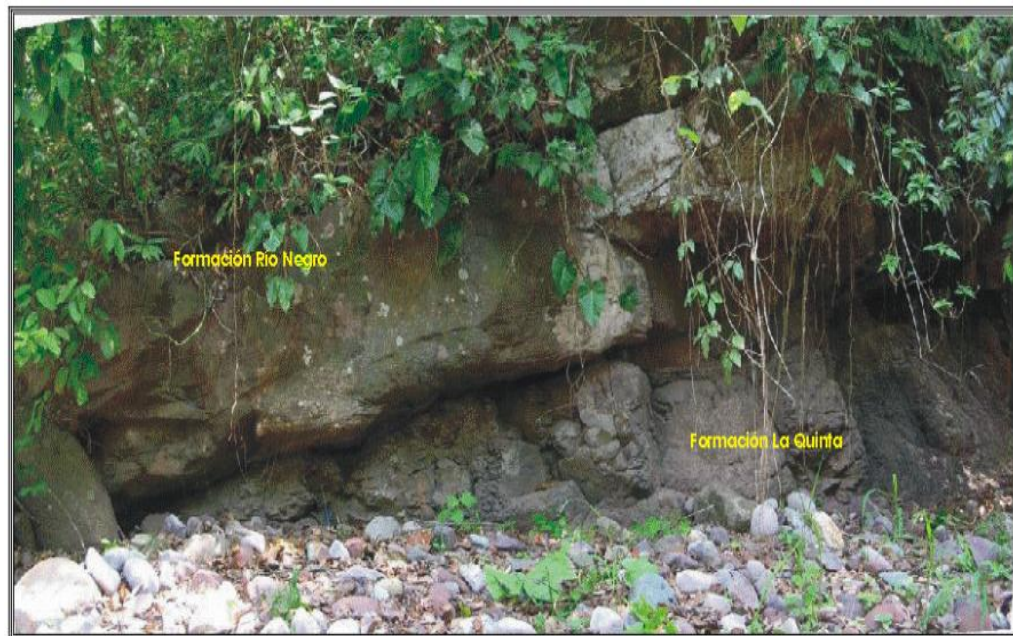
Se encuentra compuesta por una sucesión de limonitas rojas silíceas, ocasionalmente arenosas, macizas con estratificación plano paralela. Presenta laminación interna de plana a paralela a ligeramente ondulada, algunas veces de arena fina con venas de calcita y manifestaciones de malaquita. Están intercaladas con estratos medianos a gruesos y niveles conglomeraticos con estratificación inclinada, cruzada y capas que se acuñan (Hernández, 2003).

Se calculan espesores de entre 2700m y 3000m cerca de la localidad de Manaure, mientras en algunos sectores como en inmediaciones al municipio de La Jagua de Ibirico sus espesores se reducen a la presencia de cabalgamientos inversos locales. Se encuentra en contacto con la suprayacente que es la Formación Río Negro, en un contacto de tipo paraconforme (Forero, 1972), el contacto inferior es discordante o fallado con Rocas Paleozoicas.

Su edad es Triásico Tardío – Jurásico Temprano (Forero, 1972). La depositación de la Formación La Quinta se realizó en una cuenca amplia afectada por una tectónica distensiva (Cáceres et al., 1981). Ha

sido correlacionada con la Formación Guatapuri (Tschandz et al., 1969) y es equivalente con la Formación Saldaña (Cediel et al., 1981).

Figura 12. Fotografía, contacto discordante entre la Formación La Quinta (base afloramiento) y la Formación Rio Negro (techo afloramiento), tomada sobre la orilla del río Carey.



Fuente: Tomado de GEOESTUDIOS LTDA., 2006.

6.2.1.2 Cretácico

- **Cretácico Temprano**

- **Formación Rio Negro:** La Formación Río Negro (Figura 13) aflora en las estribaciones de la Serranía del Perijá al oriente de las localidades de Poponte en el río La Mula y Rincón Hondo, La Jagua de Ibirico, en el Cerro Arenas Blancas, Cerro de San José, Cuchilla Cerro Azul y Loma La Victoria (Hernández, 2003). También se reportan entre otros

afloramientos al oriente de Manaure, al SE de Codazzi por el Río Sicarara (Arias & Morales, 1999).

La Formación Río Negro se reporta como detrítica y con composición arcósica (Hernández, 2003). Se reporta también composicionalmente areniscas de variada composición incluyendo cuarzoarenitas y litoarenitas feldespáticas, de tamaño de grano grueso a conglomerático. Las litoarenitas se presenta en su mayoría de finas a gruesas (Rivera, 1998).

Según el autor se le proponen a la Formación Río Negro las siguientes edades: Barremiano – Aptiano Temprano (Govea & Dueñas, 1975) y Aptiano Temprano (Gil & Martínez, 1990).

Teniendo en cuenta sus características litológicas se ha postulado un ambiente de depósito que corresponde a abanicos aluviales, los cuales drenaban desde los altos del basamento (Formación La Quinta y Rocas Paleozoicas) ubicadas al W, E y N de la actual Cuenca del Cesar (Hernández, 2003).

La Formación Río Negro se correlaciona con la base de la Formación Uribane en el área de Catatumbo y con la Formación Tambor en el Valle Medio del Magdalena (Govea & Dueñas, 1975).

Figura 13. Fotografía, se observan paquetes decimétricos de limolitas y lodolitas macizas, Formación Río Negro, tomada en el afloramiento del municipio La Duda.



Fuente: Tomado de GEOESTUDIOS LTDA., 2006.

- **Cretácico Temprano:**

- **Grupo Cogollo:** Caracterizado por potentes estratos de calizas grises azulosas y grises oscuras dispuestas en capas con espesores de medio a gruesos y variaciones de areniscas y lodolitas calcáreas con intercalaciones ocasionales de lutitas carbonosas y abundante contenido de fauna fósil (INGEOMINAS, 1999). La descripción y división de la secuencia en Cogollo Inferior y Superior (Miller, 1960), muestra una subdivisión para el Cogollo Superior en dos formaciones; Formación Lagunitas hacia la base y Formación Aguas Blancas hacia el techo de la misma (Govea & Dueñas, 1975). Las cuales a continuación serán descritas por separado:

- **Formación Lagunitas:** Se encuentran afloramientos de la Formación Lagunitas (Figura 14) entre otros lugares en la Quebrada Jagüey en cercanías a las poblaciones de Lagunitas, en el valle del Río Ranchería.

Litológicamente está compuesta por calizas fosilíferas (biomicrita) en capas gruesas, que generalmente son puras pero algunas llegan a ser arcillosas y toman color gris claro a gris oscuro, interestratificadas con lutitas y margas de colores blancos a grises (Hernández, 2003), los fósiles en su mayoría son conchas de pelecípodos, gasterópodos, corales y amonitas.

La Formación Lagunitas presenta espesores promedio de 280 a 450 m (Hernández, 2003), pozos perforados por Cerrejón reportaron espesores de 285m. El contacto con la Formación Río Negro es transicional en algunas ocasiones; con la Formación La Quinta se presenta erosivo de bajo ángulo y el contacto con la suprayacente Formación Aguas Blancas se presenta como transicional.

Fue depositada en unas condiciones de plataforma media a interior presente en un mar abierto rico en carbonatos y con relativa abundancia de material orgánico (Cáceres et al., 1981).

Se correlaciona con la Formación Apón en Venezuela, con la Formación Tibu en el Catatumbo y con la Formación Paja en el área del Valle Medio del Magdalena (Hernández, 2003). También es correlacionada con la parte basal del Miembro Tibu, con la Formación Paja y Rosablanca en el Valle Medio del Magdalena y en Venezuela con la Formación Machiques (Gil & Martínez, 1990).

Figura 14. Fotografía, Roca Wackestone fosilífera bioturbada en capas gruesas característica de la Formación Lagunitas, tomada en afloramiento sobre la Sierra Fernambuco.



Fuente: Tomado de GEOESTUDIOS LTDA., 2006.

- **Formación Aguas Blancas:** Definida por Haught et al, 1945. Se reporta que localizada al SE de Valledupar en la quebrada Aguas Blancas (Hernández, 2003). Se encuentra subdividida en tres miembros: un conjunto lodolítico calcáreo a la base llamado Miembro Animas, un conjunto arenoso denominado Miembro Tucuy y un conjunto calcáreo superior denominado Miembro Maracas.

A rasgos generales la Formación Aguas Blancas está compuesta por una sucesión de calizas nodulares, fosilíferas, intercaladas con lutitas carbonosas, areniscas de grano fino y calizas neríticas. La Formación Aguas Blancas presenta un espesor promedio de 750m (Hernández, 2003), aunque diferentes pozos perforados muestran espesores

variables (Cerrejón perforo 280m de la presente Formación). Se halla en contacto concordante con la suprayacente Formación La Luna y transicional sobre la Formación Lagunitas, en partes discordantes sobre la Formación La Quinta.

Según los siguientes autores las edades sugeridas son; Aptiano (Govea & Duenas, 1975) y edad Albiano Medio a Tardío (Cáceres et al., 1981).

La Formación Aguas Blancas fue depositada en un ambiente de plataforma interior a media, en un mar tropical transgresivo (Cáceres et al., 1981). El Miembro Animas se considera de un ambiente de depósito marino profundo (Hernández, 2003). La sedimentación del Grupo Cogollo ocurrió inicialmente sobre un substrato de pendiente suave, cercano a la plataforma, con profundidades que oscilaron alrededor de 100 m, lo cual lo evidencia la presencia de algas calcáreas marinas y de foraminíferos planctónicos (Gil & Martínez, 1990).

La Formación Aguas Blancas se correlaciona con el Miembro Animas y la Formación Mercedes en el Área del Catatumbo, con la Formación Simiti en el Valle Medio del Magdalena y con la Formación Lisure en Venezuela (Hernández, 2003).

- **Cretácico Tardío:**

- **Formación La Luna:** Se desarrolla como una secuencia sedimentaria compuesta de lutitas carbonosas, limonitas, arcillolitas, calizas negras y cintas de chert, alternadas en la parte superior con calizas granulares. La Formación La Luna se observa aflorando principalmente hacia el Departamento del Cesar, el Valle Medio Del Magdalena, una de sus

características más representativas y que facilitan su caracterización es la presencia de olor a petróleo en estratos de lutitas carbonosas y la abundante cantidad de fauna hallada en ella.

Estos paquetes de espesores métricos de lodolitas calcárea negra de carácter fisil con hallazgos de concreciones decimétricas de mudstone con amonitas se sugiere son provenientes de ambientes marinos tropical con circulación restringida y alta riqueza en materia orgánica, tienen un espesor aproximado de 180m (Ward et al., 1973). Según dataciones palinológicas y paleontológicas corresponden a sedimentaciones del Cretácico entre el Turoniano y el Santoniano (Ward et al., 1973).

- **Formación Molino:** Localizada en el río Molino en el área de Ranchería. Se reportan afloramientos en los alrededores de la localidad El Molino a estribaciones de la Serranía del Perijá (Hernández, 2003).

Se propone una sucesión monótona de lutitas gris azulosas y grises oliva a negras, calcáreas y con abundantes microfósiles. Se reportan también la presencia de intercalaciones delgadas de areniscas de grano fino, glauconitas, limonitas y calizas grises a negras, en capas delgadas (Hernández, 2003).

Se reportan espesores aproximados de 350 m. La Formación Molino presenta contactos superior e inferior transicionales (Tschanz et al., 1969). Se indica que el contacto con la Formación La Luna es concordante y con la Formación Hato Nuevo es discordante en un bajo ángulo (Cáceres et al., 1981).

Con reporte de edades variables según el autor así: Campaniano – Maastrichtiano (Gandolfi, 1995), Santoniano –Maastrichtiano Temprano (Cáceres et al., 1981). La Formación Molino se depositó en condiciones marinas de mar abierto en un ambiente batial a abisal alrededor de unos 1000 a 2000 m de profundidad, con circulación moderada y salinidad normal (Cáceres et al., 1981). Es correlacionable en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena con la Formación Umir (Hernández, 2003).

La siguiente parte de la secuencia interpretada en la columna estratigráfica de la Cuenca Cesar - Ranchería, será descrita en la sección de Estratigrafía Local. Debido a que estas son parte de las formaciones que afloran en el área de estudio.

7. GEOLOGIA LOCAL

7.1 ESTRATIGRAFIA LOCAL

La Cuenca Cesar – Ranchería está localizada en el extremo NE del Colombia, comprendiendo la Zona Carbonífera de los departamentos de Guajira y Cesar. Los carbones de la Zona Carbonífera de La Guajira se encuentran localizados en la Formación Cerrejón de edad Paleógeno (Paleoceno). Se encuentra representada por una secuencia de 900 a 1100 m de espesor aproximadamente dentro de los cuales se exhibe la existencia predominante de lodolitas y arcillolitas y una menor proporción de areniscas cuarzo feldespáticas, delgadas capas de calizas y numerosos mantos de carbón distribuidos a lo largo de la secuencia estratigráfica. La siguiente es una descripción de las formaciones litoestratigráficas que forman parte de la Cuenca Cesar – Ranchería y que a su vez afloran en inmediaciones de la zona de campo, haciendo énfasis en la Formación Cerrejón la cual estratigráficamente es subyacida transicionalmente por la Formación Manantial y suprayacida discordantemente por la Formación Tabaco.

7.1.1 Cenozoico

7.1.1.1 Paleoceno

- **Formación Hato Nuevo:** La Formación Hato Nuevo se encuentra formada esencialmente de calizas fosilíferas de color pardo y gris, intercalaciones de lutitas ligeramente arenosas con limonitas y arcillositas calcáreas grises a negras. Los espesores promedios encontrados son de 200m. La Formación Hato Nuevo presenta un ambiente de depositación que considera facies de aguas marinas

someras que depositan sedimentos al interior de la plataforma continental entre el Maastrichtiano y Paleoceno (Cardozo, 1980).

La formación reporta edades del Paleoceno Temprano (De Porta, 1974). Con contactos inferior y superior inconformes.

- **Formación Manantial:** Según lo reportado está constituida por capas delgadas de arenisca calcarea que presentan granos finos, lutitas rojizas y calizas masivas fosilíferas, grises y pardas. Se observa comúnmente intercalaciones de limonitas de color verde – grisáceo. El contacto inferior con la Formación Hato Nuevo se presenta como inconforme y el contacto superior con la Formación Cerrejón se presenta como transicional.

La Formación Manantial reporta edades del Paleoceno Temprano. Sugiere ambientes de depositación marinos de aguas someras en transición con un ambientes continentales, sus espesores aproximados son de 300m (Lamus et al., 2006).

- **Formación Cerrejón:** Se presenta como la formación litoestratigráfica más representativa del Proyecto ya que dentro de está ubicada la zona de campo. Se caracteriza por exhibir una secuencia monótona de areniscas feldespáticas y líticas con interestratificaciones de lutitas carbonosas y mantos de carbón de variados espesores, indicando ciclos de sedimentación más o menos homogéneos.

En cuanto a su composición litológica se encuentran esencialmente litoarenitas grises claras a oscuras, arcillolitas, limonitas grises y shales grises a negros con su principal característica, la presencia de mantos de carbón (Morón et al., 2007).

La Formación Cerrejón (Figura 15) se ha dividido en tres miembros: El primero de estos el miembro inferior consiste de shale negros fosilíferos y arcillolitas negras laminadas con delgadas laminaciones lenticulares de arenisca, cristales cuarzo y la presencia de areniscas de laminación flaser. Todas estas capas subyaciendo y/o suprayaciendo mantos de carbón. El segundo o miembro medio se compone de lodolitas pobremente bioturbadas y areniscas con laminación flaser y heterolítica restos de plantas dispersos y comunes secuencias tanto grano crecientes como decrecientes. Por último el miembro superior se encuentra dominado por lodolitas y limonitas de grano muy fino, macizas, lenticulares, bioturbadas con abundantes restos de plantas que se intercalan por areniscas macizas con estratificación cruzada de gruesa a muy gruesa (Bayona et al., 2004). La Formación Cerrejón en su extensión cuenta con espesores aproximados a 1000 m (Ramos, 1990).

Dentro de los diferentes ambientes de depositación para la Formación Cerrejón en el Paleoceno Tardío se propone un ambiente de delta progradante con facies subacuosas y subareales gradando a ambientes continentales (Cardozo & Gómez, 1980) y un ambiente de llanuras de marea cronológica y geográficamente afectados por una regresión marina (García, 1990).

Hacia la base de la Formación Cerrejón se encuentra un contacto transicional con la Formación Manantial que muestra edades del Paleoceno buzando esta última hacia el SE, este contacto se sugiere va hasta el momento en el que se encuentra la primera manifestación de carbón. Hacia el techo muestra un contacto discordante con la Formación Tabaco (Carbones del Cerrejón, 2005). Las edad que

reporta la Formación Cerrejón utilizando palinología es del Paleoceno Tardío (Bayona et al., 2004).

Figura 15. Fotografía, Formación Cerrejón, se observa manto de carbón lo cual caracteriza esta formación. Tomada al NW de la zona de estudio.



7.1.1.2 Paleoceno – Eoceno

- **Formación Tabaco:** Se caracteriza litológicamente por presentar rocas clásticas gruesas y conglomerados de grava basales, conformados por fragmentos redondeados de chert negro y cuarzo lechoso en matriz arenosa arcósica y a veces carbonacea, dispuestos en paquetes de considerable espesor. La parte superior de la formación está compuesta por arenas subarcósicas que hacia el tope se convierte en areniscas cuarzosas de grano fino (De Porta, 1974).

La Formación Tabaco se considera formada bajo un ambiente fluvial, de corrientes anastomosadas (Hidrogeocol, 2007), mostrando un espesor aproximado de 120 m. Según estudio palinomorfo la Formación Tabaco presenta edades de Paleoceno Tardío a Eoceno Temprano (Lamus et al, 2006). Su contacto basal es neto, discordante de geometría angular con la Formación Cerrejón.

7.1.1.3 Mioceno

- **Formación Palmito:** La Formación Palmito no se encuentra directamente relacionada con la ubicación geográfica de la zona de campo, sin embargo, se describe por hacer parte de la secuencia litoestratigráfica de la Cuenca Cesar – Ranchería. Muestra rocas sedimentarias clásticas finas. En la base de la secuencia se encuentran areniscas arcillosas de grano medio, cuarzo feldespáticas a arcosa, rosada y amarillas rojizas con laminación cruzada, se alternan también canales de arcillolitas grises con laminación ondular discontinua. Hacia a la parte superior de la secuencia se presenta; arcillolitas arenosas marrones oscuras con laminación ondular y arcillolitas limosas amarillas rojizas, alternan limolitas arenosas calcáreas con tonalidades amarillo oscuro a marrones, con lentes de yeso (INGEOMINAS, 1999). La Formación Palmito muestra un espesor oscilante de entre 180 y 300 m.

Presenta un contacto basal transicional con la Formación Tabaco que está marcado por la aparición de un nivel de caliza arenosa, porosa, color habano con contactos ondulosos (Saavedra, 2008). En algunos sectores presenta un contacto discordante sobre la Formación Cerrejón (Ramos, 1990). Se considera depositada bajo un ambiente con correspondencia fluvial deltaico a marino marginal.

7.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El área de estudio se encuentra ubicada dentro del cinturón de cabalgamiento del Cerrejón – Ranchería el cual a su vez sugiere formar parte de los efectos de la orogenia Andina en la zona N de Sudamérica, creando una estructura geológica compleja para el depósito de carbones del Cerrejón. La Serranía de Perijá se caracteriza por presentarse alargada en direcciones NNE – SSW, que se ha elevado desde el Mioceno Tardío a la actualidad. La compresión por la convergencia de las placas Caribe, Nazca y Sudamericana durante la orogenia andina produjeron fallamientos inversos con muy bajo ángulo, debido a la distancia a la cual se encuentra la zona de la Serranía respecto a la triple conjunción. (INGEOMINAS, 2003).

Como ya se mencionado el área de estudio y en general el complejo carbonífero se encuentra geológicamente ubicado en la cuenca Cesar – Ranchería, zona que esta estructuralmente definida por la presencia de pliegues y fallas dentro de los cuales son identificables dos grupo principales; el primero de estos orientado con rumbo al NE y el segundo orientado de E – W a NE – SE, compuesto por fallas de movimiento dextral y un componente vertical, que corta el grupo al NE (Saavedra, 2008).

La subcuenca del Cerrejón está formada por pliegues anticlinales y sinclinales suaves con dirección predominante al SW-NE, dichos pliegues componen el flanco W de la Serranía de Perijá, hasta el extremo NE donde termina chocando con la Falla de Oca. Sin embargo, la estructura general del yacimiento corresponde a un monoclinal con rumbo NE que está definido por las colinas de la Formación Manantial al W y la Falla Cerrejón al E. Se presentan entonces estratos con orientación predominante al N60E y con buzamientos al SE de 10° a 15° (Kellogg & Bonini, 1982).

La Formación Cerrejón en el área de mina se presenta expuesta a lo largo de un monoclinal simple que buza suavemente al SE (Geología Cerrejón, 2005).

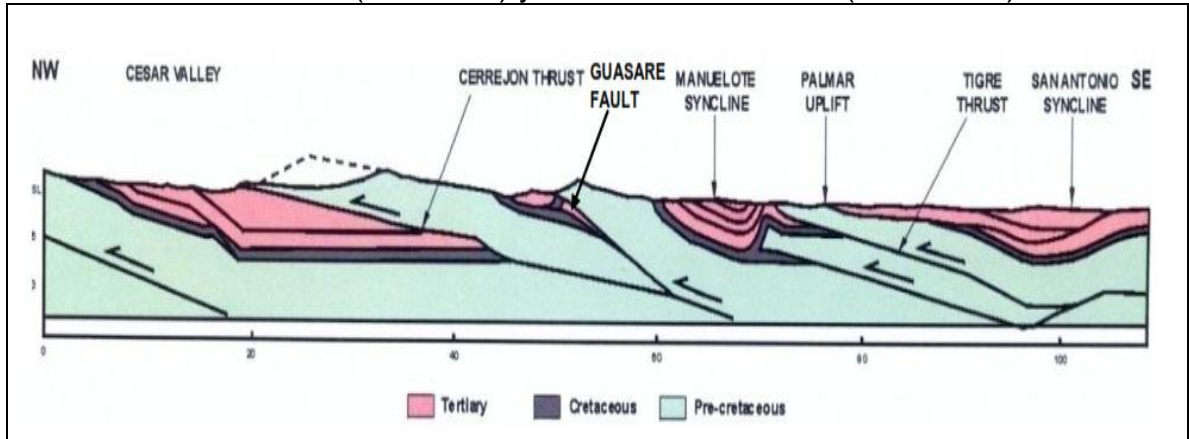
7.2.1 Fallas en el Área de Estudio

- **Falla de Oca:** Se encuentra localizada al N de la zona de estudio. Se cataloga como falla de rumbo con desplazamiento dextral, presenta rumbo E – W y un desplazamiento estimado entre 90 y 100 Km (Montes et al., 2005). La Falla de Oca forma parte de un sistema de fallas transpresivas que aparentemente se desplazó durante el Paleógeno como resultado del acortamiento en la Serranía del Perijá (Kellogg & Bonini, 1982). La Falla de Oca limita la cuenca del Río Ranchería hacia el N, haciendo girar hacia el NE las formaciones Cretácicas del borde NW y truncando la Serranía de Perijá (Hidrogeocol, 2007)
- **Falla Cerrejón:** El nombre de Falla Cerrejón fue tomado del Cerro Cerrejón posiblemente por geólogos de la Creole Petroleum Corporation quienes cartografiaron la falla en la zona sur del Cerrejón hasta el sitio El Molino en el año de 1961. La Falla Cerrejón se presenta como un cabalgamiento de bajo ángulo que afecta el basamento (Cerrejón, 2008) con vergencia al NW. Se localiza a lo largo del flanco W de la Serranía de Perijá. Según se reporta presenta un buzamiento de $15^{\circ} \pm 10^{\circ}$ hacia el SE y un desplazamiento de 1.7 ± 0.6 Km en la vertical y 7.8 ± 2 Km en la horizontal (Kellogg, 1981).

La traza de la falla finaliza hacia el NE donde se encuentra con la Falla de Oca y donde a su vez finaliza la Serranía de Perijá. La Falla Cerrejón es responsable del cabalgamiento de 16 – 26 Km aproximadamente en una dirección NW (Figura 16) de sedimentos Mesozoicos, se interpreta como

una estructura a escala cortical que llega hasta profundidades de 8 Km (Kellogg & Bonini, 1982).

Figura 16. Modelo estructural, corte NW - SE sector N Colombiano entre la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia) y los Andes de Mérida (Venezuela).



Fuente: Tomado de Kellogg & Bonini (1982).

- **Falla Samán:** La Falla Samán se reporta como una falla de rumbo que desplaza en vista de planta las trazas de mantos carbón y el eje del Anticlinal de Tabaco. Según observaciones realizadas por los geólogos de la Compañía se sugiere ser una falla de rumbo con componente sinistral.
- **Falla Tabaco:** La Falla Tabaco se ubica al SE de la zona de estudio. Según la información reportada en Carbones del Cerrejón y su grupo de geólogos la Falla Tabaco es reportada como una falla inversa. Presenta una extensión que va desde la Falla Samán atravesando todo el Tajo Tabaco Uno. La Falla Tabaco se desplaza con una dirección predominante al EW, buzando alrededor de 35° al SSE con vergencia al NNO.

8. RESULTADOS

8.1 CARTOGRAFIA GEOLOGICA AL NW DEL EJE DEL ANTICLINAL DE TABACO

Se realiza la cartografía geológica enfocada en la búsqueda y recolección de indicadores cinemáticos, obteniendo el mayor número de datos posible (comprendiendo la toma directa de indicadores cinemáticos como pliegues y estrías, la toma e identificación de contactos litológicos y el control del área con toma de datos en planos de estratificación y planos de falla con buzamiento y dirección de buzamiento). Esta cartografía se da como una cartografía GPS, contando con la mayor confiabilidad y precisión que ofrece el equipo, en este caso submétrica. Sobre el talud de un antiguo tajo minero (Figura 17).

Figura 17. Fotografía, se observa talud del sector norte de la pared baja del Tajo Tabaco Uno, tomada en la zona centro del área de campo.



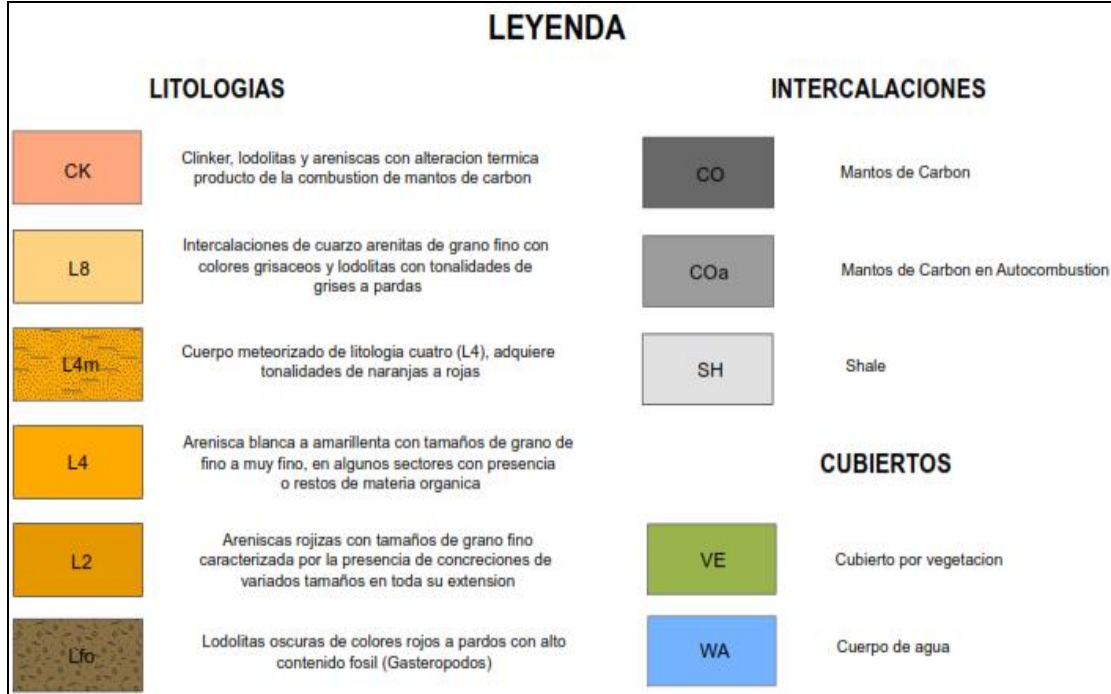
La zona de campo cubre una extensión aproximada de 310.856 m², sobre la que se realiza la toma directa de información y los trabajos descritos. Adicionalmente se cartografiaron las unidades litológicas presentes en la zona de estudio.

Se generan dos mapas en escala 1: 1500, como producto de la información recolectada. Un Mapa Geológico (Figura 18) que reúne seis litología ordenadas estratigráficamente de base a techo así: Lfo (Litología fósil), L2 (Litología 2), L4 (Litología 4), L4m (Litología 4 meteorizada), L8 (Litología 8) y CK (Clinker). Adicionales a estas en la zona se caracterizaron tres litologías presentes como intercalaciones, por encontrarse presente entre las litologías ya nombradas: SH (Shale), COa (Mantos de carbón en autocombustión), CO (Mantos de carbón).

El segundo mapa (Figura 19) cuenta con igual orden estratigráfico que el primero. Diferenciando que en este mapa se cartografían y georreferencian los cuerpos cubiertos presentes en la zona. Para este caso se caracterizaron cuatro tipos de cubiertos nombrados como: CCs (Cubiertos por shale y/o material carbonoso), Ce (Cubierto de materiales erodados), VE (Cubierto por vegetación) y WA (Cuerpo de agua).

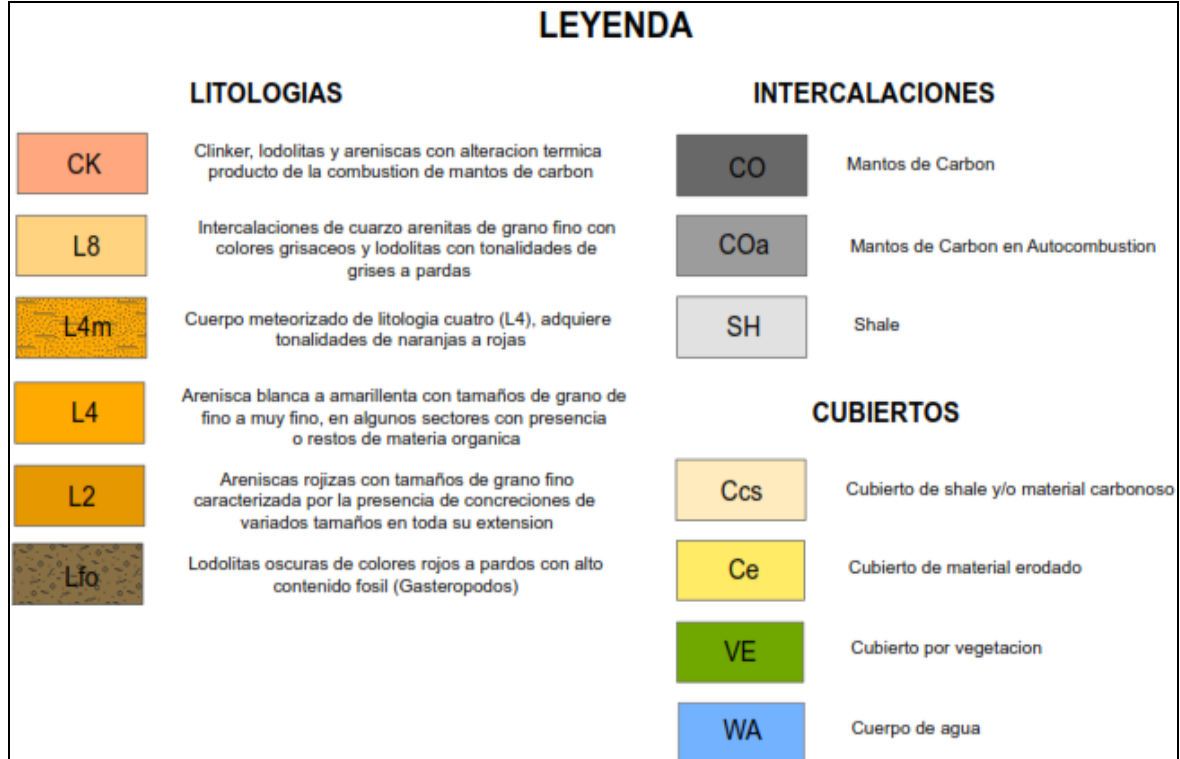
Los indicadores cinemáticos recolectados se organizaron en una tabla de atributos dentro de la GeoDataBase de ArcGIS, Database_Mapeo_Emartin_Tabaco.

Figura 18. Leyenda, Mapa Geológico.



Los datos recogidos corresponden a; cuarenta y cuatro (44) datos de ejes de pliegues dentro de los que se presentan: seis (6) ejes de pliegues anticlinales, cuatro (4) ejes de pliegues sinclinales, diez y seis (16) ejes de pliegues anticlinales con vergencia horaria, doce (12) ejes de pliegues anticlinales con vergencia antihoraria, cinco (5) ejes de pliegues sinclinales con vergencia horaria y un (1) eje de pliegue sinclinal con vergencia antihoraria. Otro tipo de indicador cinemático tenido en cuenta son las estrías de falla presente en variadas litologías; arenisca, mantos de carbón y shales. Por protocolo de compañía solo son tenidas en cuenta las presentes en litologías arenosas, de las que se recolectan tres (3) datos.

Figura 19. Leyenda, Mapa Geológico – Usos del suelo.



Los plegamientos hallados en el área se caracterizaron principalmente como plegamientos mesoscópicos, en su mayoría asimétricos, caracterizados por la presencia de vergencia en sentido horario y antihorario. Principalmente presentan ángulos intraflanco entre los 30 y 70°, clasificando los como pliegues cerrados con algunas excepciones de plegamientos apretados y abiertos, presentes de manera poco común (Figura 20).

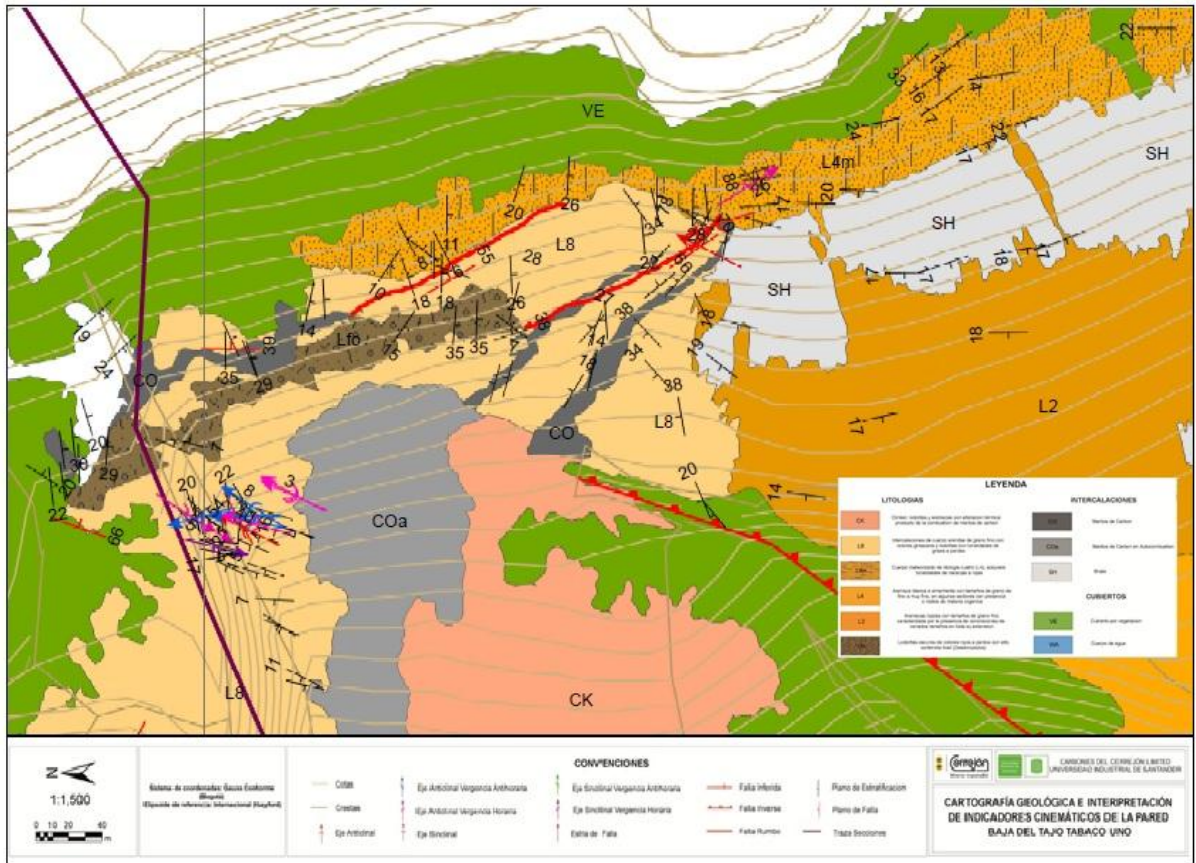
La zona se controló estructuralmente con la toma de trescientos sesenta y tres (363) datos estructurales (dirección de buzamiento y buzamiento) sobre planos de estratificación, marcando una tendencia de direcciones de buzamiento general al NW. Los datos anteriores y los de indicadores cinemáticos se consignaron como datos tipo punto y se ubicaron en los mapas elaborados. Se observa mayor densidad en la presencia de toma de datos estructurales y especialmente en la

ocurrencia de plegamientos en la zona NE del polígono cartografiado, sugiriendo su aparición como producto de la convergencia de tres fallas presentes en la zona, dos fallas que sugieren ser de rumbo, cartografiadas en este trabajo y una falla inversa previamente cartografiada y descrita por la compañía y Ruiz, 2006(Figura 21).

Figura 20. Fotografía, se pliegue anticlinal vergencia antihoraria, desarrollado en areniscas rojizas de grano fino correspondientes a la Litología 2 (L2), tomada NE de la zona de estudio.



Figura 21. Sector NE del polígono de trabajo. Presenta mayor densidad de datos estructurales e indicadores cinemáticos.



Como datos tipo línea se tomaron dos (2) trazas de falla subparalelas una con respecto a la otra, con trazas de entre 40 y 60 metros. Cartografía de trazas con alto grado de dificultad debido a la presencia de suelos cubiertos y zonas de incendios por autocombustión de mantos de carbón. Dichas fallas se ubican al NE de la zona con trazas en dirección NW - SE y buzamientos hacia el SE, caracterizadas como Fallas de Rumbo con altos buzamientos. Es también notable en los planos de falla un desplazamientos en la vertical (observados tanto en los trabajos de campo como en la construcción de la sección B – B', descrita en el numeral 3.2.2), asociados a estas fallas y sus zonas de falla se recolectan cinco (5) planos de falla en litologías arenosas y mantos de carbón estos con

buzamientos entre los 40 y 60°. Relacionadas a sus trazas se presentan zonas con trituración de material (Figura 22) y en algunos sectores presencia de harina de falla.

Figura 22. Fotografía, se observa manto de carbón triturado aledaño a traza de falla, tomada al NE de la zona de estudio.



Basado en la información con la que cuenta el modelo geológico propuesto por la compañía y en estudios previos en el área ejecutados por Ruiz (2006), se ubica en el área la traza una falla caracterizada como inversa con un ángulo de buzamiento de 30° al NE aproximadamente (Figura 23), falla difícilmente identificable en los trabajos de campo adelantados en este proyecto debido a que dicho sector actualmente se encuentra cubierto por densa vegetación (Figura 24). Fue observable en campo la presencia de un alto fracturamiento en paquetes de roca competentes de arenisca, lo cual llega a sugerir la presencia de una deformación frágil en la zona. La ubicación de dicha falla es coincidente con un truncamiento en la continuidad litológica, característica observable en los mapas realizados. Esta falla es nombrada en el Modelo Geológico de la compañía como la Falla Tabaco Uno.

Figura 23. Trazas de fallas presentes en la zona de campo. Se observa las dos trazas de fallas subparalelas cartografiadas y la falla inversa cartografiada y caracterizada por Carbones del Cerrejón y Ruiz (2006), Falla Tabaco Uno.

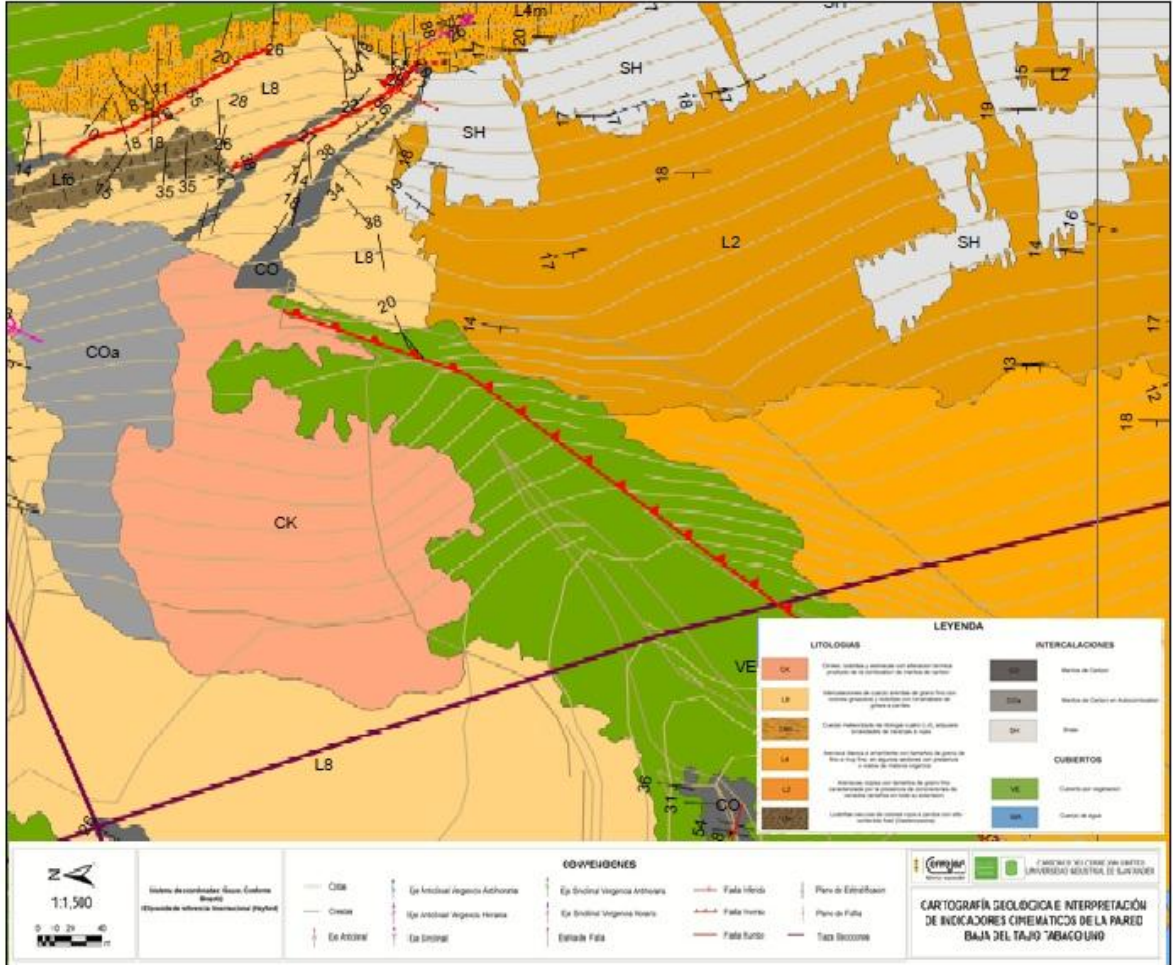


Figura 24. Fotografía, se observa zona de fallamiento, Falla Tabaco uno. Sector norte de zona de campo.



En la zona de campo principalmente en el área de influencia de la Falla Tabaco Uno, se reporta gran densidad de diaclasamiento y al presencia de sistemas de diaclasas en el área (Ruiz, 2006).

8.2 EMPALME CON CARTOGRAFIA CONTINUA, PALENCIA (2007)

Palencia, 2007 realiza trabajos de campo y cartografía geológico estructural con similar en foque en un área que limita al SE con la zona de campo del presente proyecto. Palencia, 2007 cartografía aproximadamente 0.46 Km², reuniendo no solo la caracterización de unidades litológicas sino la identificación de zonas con materiales y litologías de suelos cubiertos o usos del suelo. De igual forma se recolecta información de indicadores cinemáticos identificados en la zona.

En este proyecto realiza un mapa a escala 1: 2500 que integra la cartografía de unidades litológicas, de usos del suelo o cubiertos dispuestos en los dos

se adicionaron una serie de litologías y cubiertos previamente interpretados y cartografiados en el contexto de su proyecto. Se conserva nombre, ubicación y descripción. En algunos casos las litologías solo se encuentran nombradas pero no descritas, efectos para los cuales se cita al autor y se conserva el nombre dado (Figura 26).

Figura 26. Leyenda, mapa Unificación Cartografía, se clasifican y ordenan la totalidad de las litologías reconocidas por el presente proyecto y Palencia (2007), respetando nombres y descripciones prescritas.

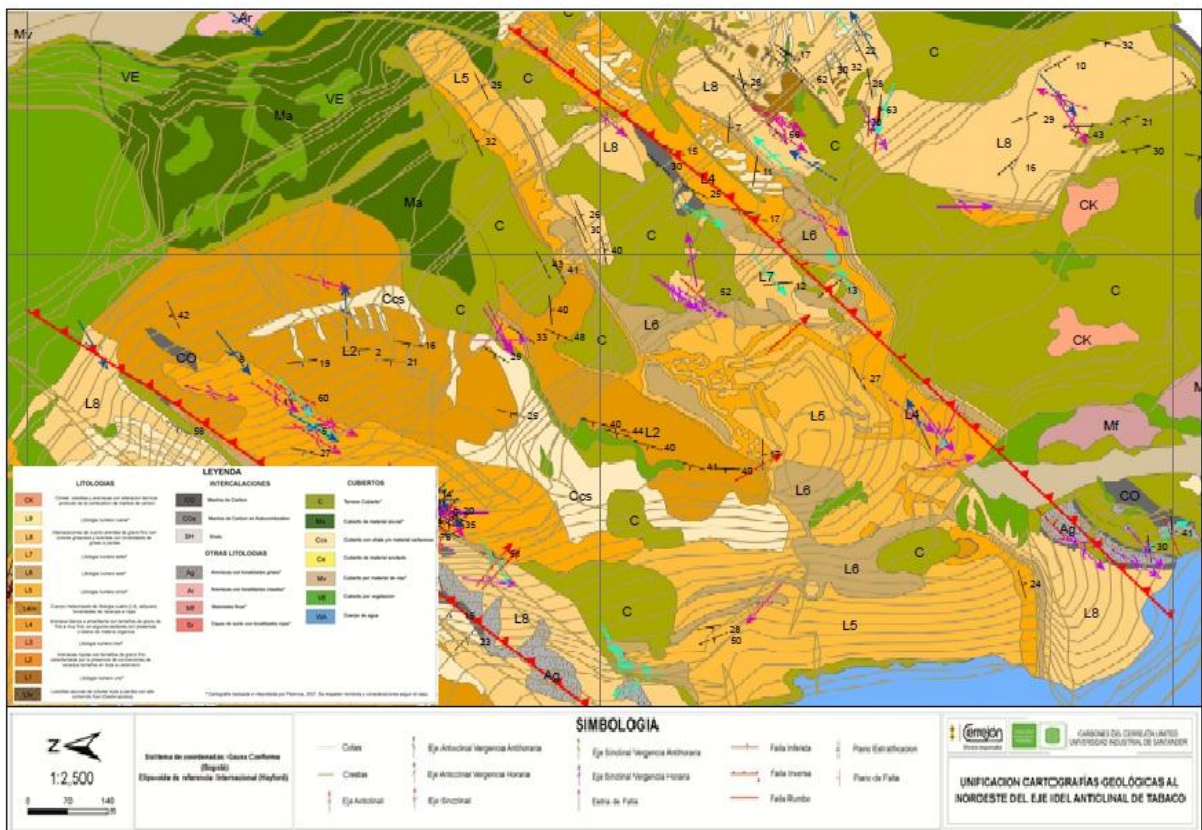
| LITOLOGIAS | | | LEYENDA | | CUBIERTOS | |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------|---------------------------------------|-----------|-------------------------------------------|
| | | | INTERCALACIONES | | | |
| CK | Clinker, lodolitas y areniscas con alteracion termica producto de la combustion de mantos de carbon | | CO | Mantos de Carbon | C | Terreno Cubierto* |
| L9 | Litologia numero nueve* | | COa | Mantos de Carbon en Autocombustion | Ma | Cubierto de material aluvial* |
| L8 | Intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino con colores grisaceos y lodolitas con tonalidades de grises a pardas | | SH | Shale | Ccs | Cubierto con shale y/o material carbonoso |
| L7 | Litologia numero siete* | | OTRAS LITOLOGIAS | | Ce | Cubierto de material erodado |
| L6 | Litologia numero seis* | | Ag | Areniscas con tonalidades grises* | Mv | Cubierto por material de vias* |
| L5 | Litologia numero cinco* | | Ar | Areniscas con tonalidades rosadas* | VE | Cubierto por vegetacion |
| L4 | Cuerpo meteorizado de litologia cuatro (L4), adquiere tonalidades de naranjas a rojas | | Mf | Materiales finos* | WA | Cuerpo de agua |
| L4 | Arenisca blanca a amarillenta con tamaños de grano de fino a muy fino, en algunos sectores con presencia o restos de materia organica | | Sr | Capas de suelo con tonalidades rojas* | | |
| L3 | Litologia numero tres* | | | | | |
| L2 | Areniscas rojizas con tamaños de grano fino caracterizada por la presencia de concreciones de variados tamaños en toda su extension | | | | | |
| L1 | Litologia numero uno* | | | | | |
| L1c | Lodolitas oscuras de colores rojos a pardos con alto contenido fosil (Gasteropodos) | | | | | |

* Cartografía realizada e interpretada por Palencia, 2007. Se respetan nombres y consideraciones según el caso.

En el aspecto estructural, se ubica una falla inversa con traza en dirección NE – SW, caracterizada por Palencia (2007). Falla subparalela a la Falla Tabaco Uno, con buzamiento similar, de alrededor de 35° al NE, para efectos de este trabajo esta falla será llamada Falla Tabaco Palencia. La Falla Tabaco Palencia marca lineamientos litológicos en similar dirección que la de sus trazas, observaciones

realizadas en trabajos de campo y características notables en el mapa de integración. La Falla Tabaco Palencia marcar un límite de continuidad litológica y de igual forma limita al sur el área de trabajo, presenta un buzamiento de alrededor de 35° al NE (Figura 27).

Figura 27. Sector SE, mapa Unificación Cartográfica, se observan dos fallamientos inversos subparalelos uno del otro con trazas en dirección NE – SW, Falla Tabaco Uno (al norte) y Falla Tabaco Palencia (al sur) caracterizadas por Ruiz (2006) y Palencia (2007).



8.3 SECCIONES ESTRUCTURALES

En base de la información recolectada en campo (datos estructurales, contactos litológicos) y la información proporcionada por una serie de pozos exploratorios perforados por la compañía se generaron dos secciones geológicas estructurales. Nombradas Sección A – A´ y B – B´ respectivamente.

8.3.1 Sección A – A´

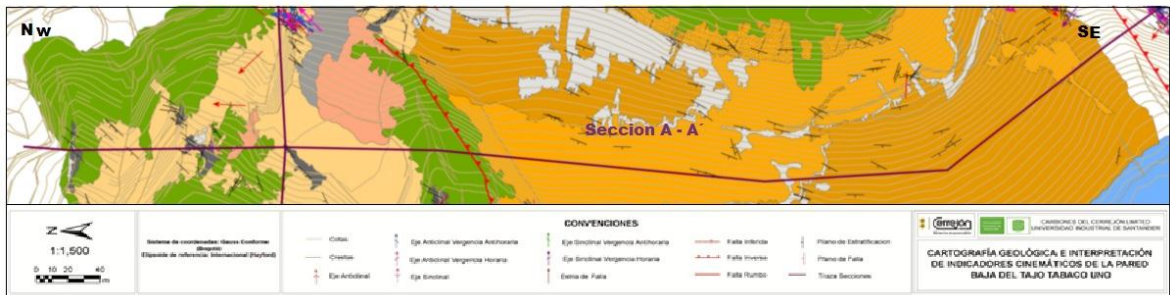
La sección A – A´ se extiende a lo largo de la totalidad del polígono de campo con una dirección NW – SE (Figura 28). Particularmente en el sector centro y sur se presenta subparalela al rumbo de la estructura. Se realiza con escala 1: 1500, sin exageración vertical.

Las secciones se levanta en una platilla pre cargada con información actual de la mina y con ayuda de software de modelamiento Minex el cual genera la topografía, el absbuilt y la superficie de meteorizado, basado en la información tomada del modelo geológico de la mina. Lo anterior con el código de colores preestablecido por la compañía; topografía verde, meteorizado naranja y absbuilt azul. Para la sección A – A´ se utilizan los datos estructurales más representativos y cercanos a la traza de la sección y los contactos litológicos tomados del en el Mapa Geológico. Con datos corregidos, utilizando buzamientos aparentes y no los buzamientos reales.

La sección A – A´ corta dos fallas inversas; la Falla Tabaco Uno y la Falla Tabaco Palencia, que exhiben trazas subparalelas una de la otra con dirección NE – SW y con buzamientos hacia al SE. La Falla Tabaco Uno ubicada en el extremo norte de la sección presenta buzamientos de alrededor de los 30°, mostrando que su bloque sur asciende sobre el bloque norte, visible en la secuencia litológica de las

unidades presente. La Falla Tabaco Palencia ubicada en el sector sur de la sección presenta un buzamiento de alrededor de los 35°, con dirección SE.

Figura 28. Traza sección A – A', en Mapa Geológico escala 1: 1500.

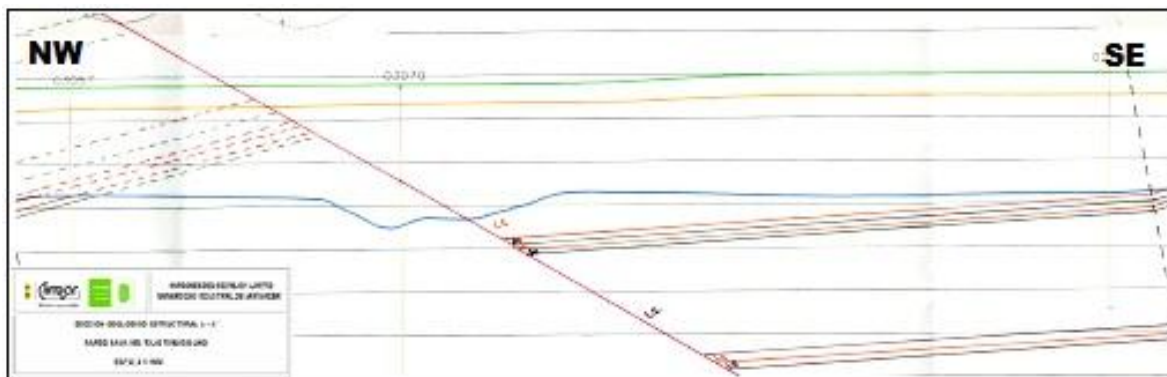


Sobre la totalidad de la sección se observa una tendencia en el buzamiento de los estratos hacia el NW, con medidas de buzamiento que van entre los 21 y 33°.

La traza de la sección A – A' corta de NW a SE la totalidad de las litologías presentes en el área, así como algunos materiales de intercalaciones. En esta sección se observa general que los plegamientos encontrados no se presentan como plegamientos a gran escala. Según interpretaciones basadas en la sección levantada, la Falla Tabaco Uno es clasificada como una falla inversa de tipo antitética, que presenta buzamiento al SE (Figura 29).

Esta sección cubre la totalidad de la zona, razón por la cual será usada para mostrar los diagramas de polos y ejes realizados para ilustrar y realizar inferencias sobre estilo estructural del área (Numeral 8.4).

Figura 29. Sector centro, sección A – A´.

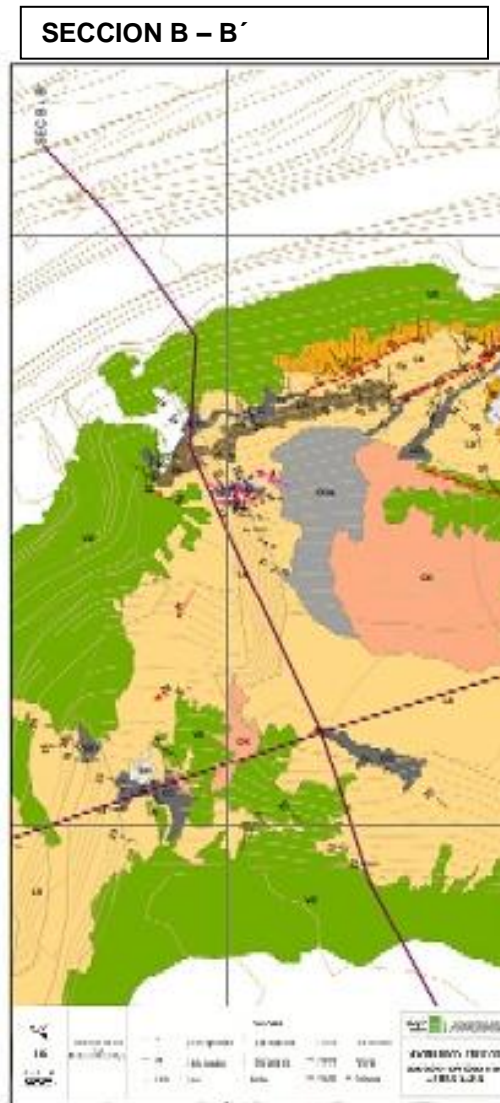


8.3.2 Sección B –B´

La zona de estudio en su sector NE presenta un marcado aumento en la densidad de datos tanto estructurales como indicadores cinemáticos especialmente plegamientos, sugiriendo ser producto de la conversión de las dos fallas de rumbo cartografiadas y reportadas en este trabajo, con trazas NW – SE y la Falla Tabaco Uno con orientación NE – SW, caracterizada por Carbones del Cerrejón y Ruiz (2006).

Con el propósito de dar claridad a las ocurrencias estructurales de la zona y predecir el comportamiento de las fallas de rumbo nombradas se realizó la sección B –B´ (Figura 30). Esta sección presenta una traza en sentido NE – SW, se realiza en base a la información obtenida de datos estructurales, contactos litológicos y adicionalmente se utiliza la información obtenida de ocho (8) pozos exploratorios perforados por la compañía, algunos de ellos corazonados o analizados por medio de registros, con profundidades perforadas entre los 90 y 200 metros.

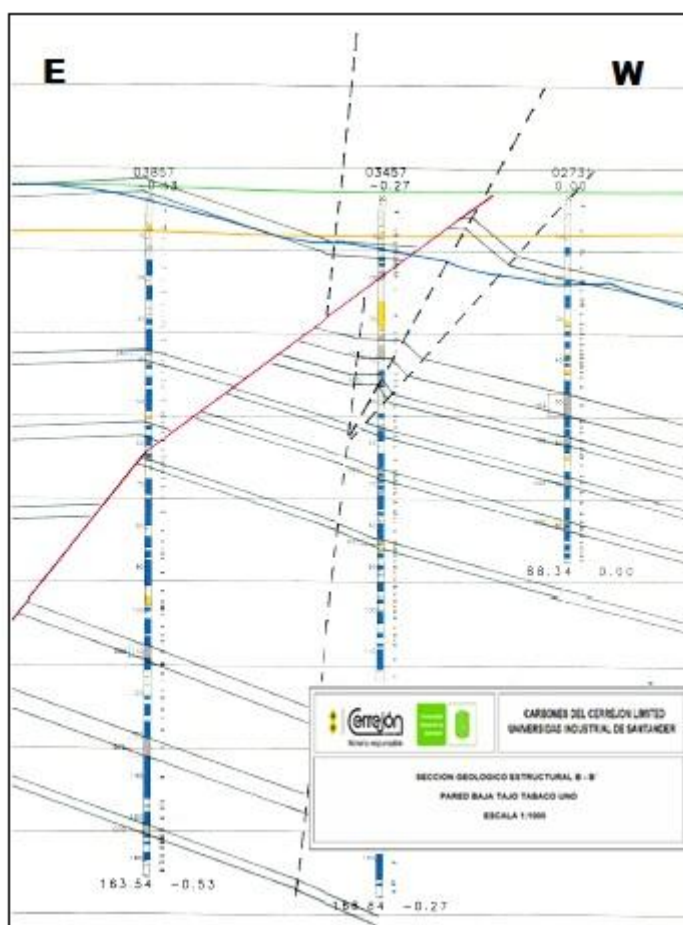
Figura 30. Traza sección B – B´ en Mapa Geológico escala 1: 1000.



Se realiza una correlación de los mantos de carbón identificados en cada uno de los pozos perforados y se complementa la información con los datos estructurales tomados en las labores de campo, con el objetivo de generar una sección balanceada. Los datos estructurales utilizados fueron corregidos para utilizar buzamientos aparentes y no los reales.

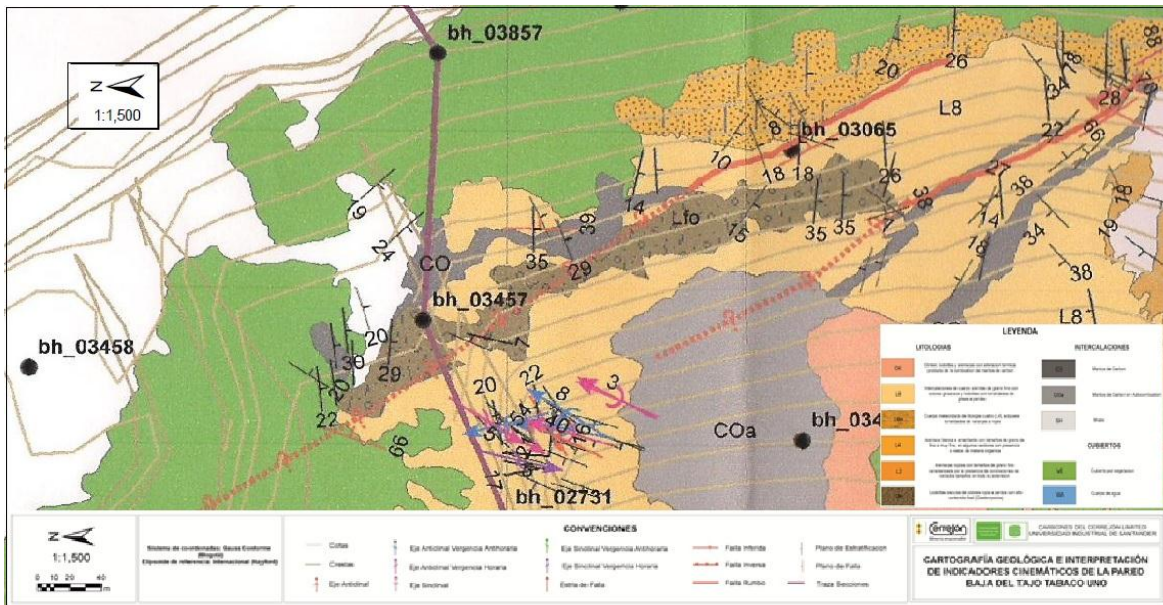
La sección B – B’; muestra como elemento estructural principal al NE la presencia de una falla que según observaciones de campo se caracteriza como falla de rumbo, con un alto grado de buzamiento (alrededor de los 50°). Presenta desplazamientos en la vertical, notable en la correlación de los mandos de carbón, aproximadamente de 60 metros (Figura 31). Se duplica el manto ochenta (80) y sesenta (60), se presentan cambios en la secuencia y orden estratigráficos de los mantos de carbón; entre el bloque NE y SW. El bloque NE muestra la secuencia del manto 50 al 85 y el bloque SW marca la secuencia del manto 75 al 105.

Figura 31. Segmento sección B –B’. Se observa falla de rumbo y al oeste de esta anticlinal que se sugiere relacionado con la falla de rumbo adjunta, cuya traza no alcanza acortar esta sección.



Se propone entonces, darle continuidad a la traza de falla ubicada más a este del área atravesando la traza de la sección y prolongar las traza de la falla adjunta, pero sin llegar a cortar la traza de dicha sección, según como se interpreta en la sección donde se propone que el anticlinal asociado a la falla reconocida es producto del desplazamiento de la falla adjunta (Figura 32). Estas interpretaciones se tornan difícilmente realizadas en campo, debido a la presencia de suelos cubiertos y a la proximidad con carbones en autocombustión. Estas fallas se presentan buzando al NE.

Figura 32. Mapa Geológico, sector NE. Se observa prolongación sugerida de trazas de las fallas este y oeste.



Respecto a los mantos de carbón en la sección B – B´ se correlacionan catorce (14) mantos de carbón. Se observa marcada continuidad especialmente en los mantos; ciento cinco (105), ciento dos (102), cien (100), noventa y cinco (95), noventa (90) y ochenta y cinco (85) ubicados al SW de la sección. El manto ciento

cinco (105) se presenta inmediatamente encima de la línea de asbuilt actual, lo cual indica que este fue el manto antiguos trabajos de minería realizados en el sector (Figura 33). En el sector SE de la sección se observa una secuencia de mantos homogénea en la correlación pozo a pozo sin embargo es de importancia nombrar, que debido a desplazamientos verticales de la falla en este sector se minó el manto ochenta y cinco (85) de manera parcial, observándose aun enterrado parte de este entre los pozos 03858 y 03857 (Figura 34).

Figura 33. Sección B – B', sector oeste.

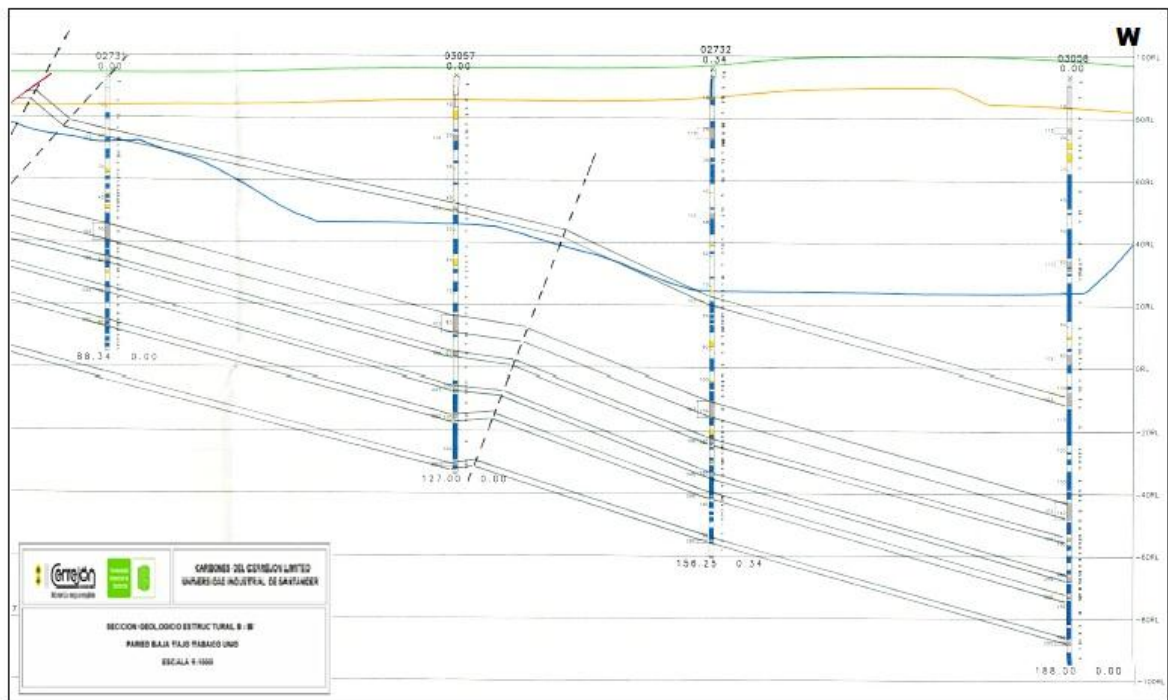
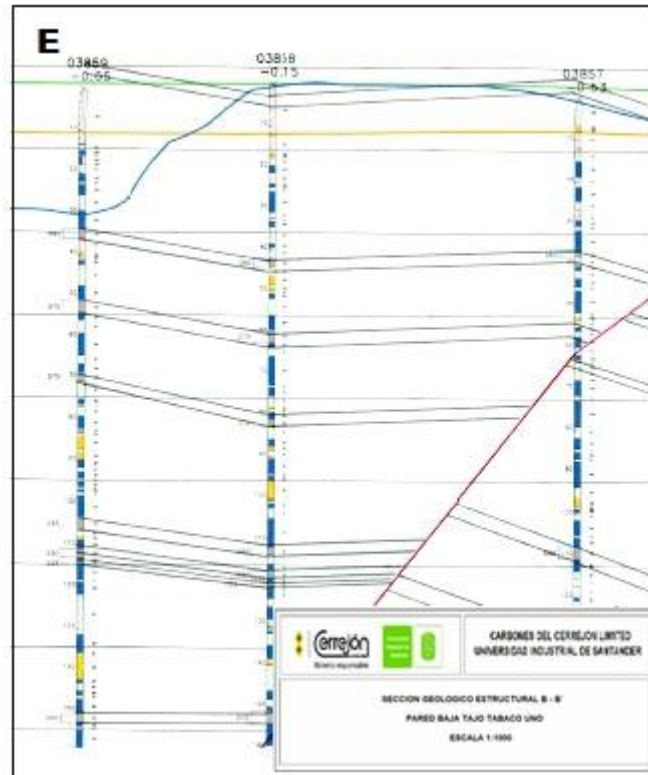


Figura 34. Sección B – B', sector este.



8.4 ESTILO ESTRUCTURAL DEL AREA

La zona de estudio es dividida en tres subzonas (nombradas: Zona 1, 2 y 3), con el propósito de hacer inferencias de su estilo estructural y caracterizarlas de manera separada. Es tomando como criterio de agrupación, similitudes en las tendencias estructurales presentes. La Zona 1 se encuentra al NW del área, continua a esta la Zona 2 al NE (presentándose como la zona con mayor densidad de datos estructurales y plegamiento) y la Zona 3 al sur del área, siendo la más extensa y agrupando los datos que presentan mayor homogeneidad (Figura 35). Al finalizar este numeral se realiza un análisis de toda el área agrupando todas las zonas en una zona final, logrando concluir sobre el estilo estructural general de toda el área. Para cada zona se generan graficas de polos y rosetas con los

planos de estratificación, y de lineamientos y rosetas para el caso de los ejes de pliegues.

Figura 35. División del área de trabajo por zonas.

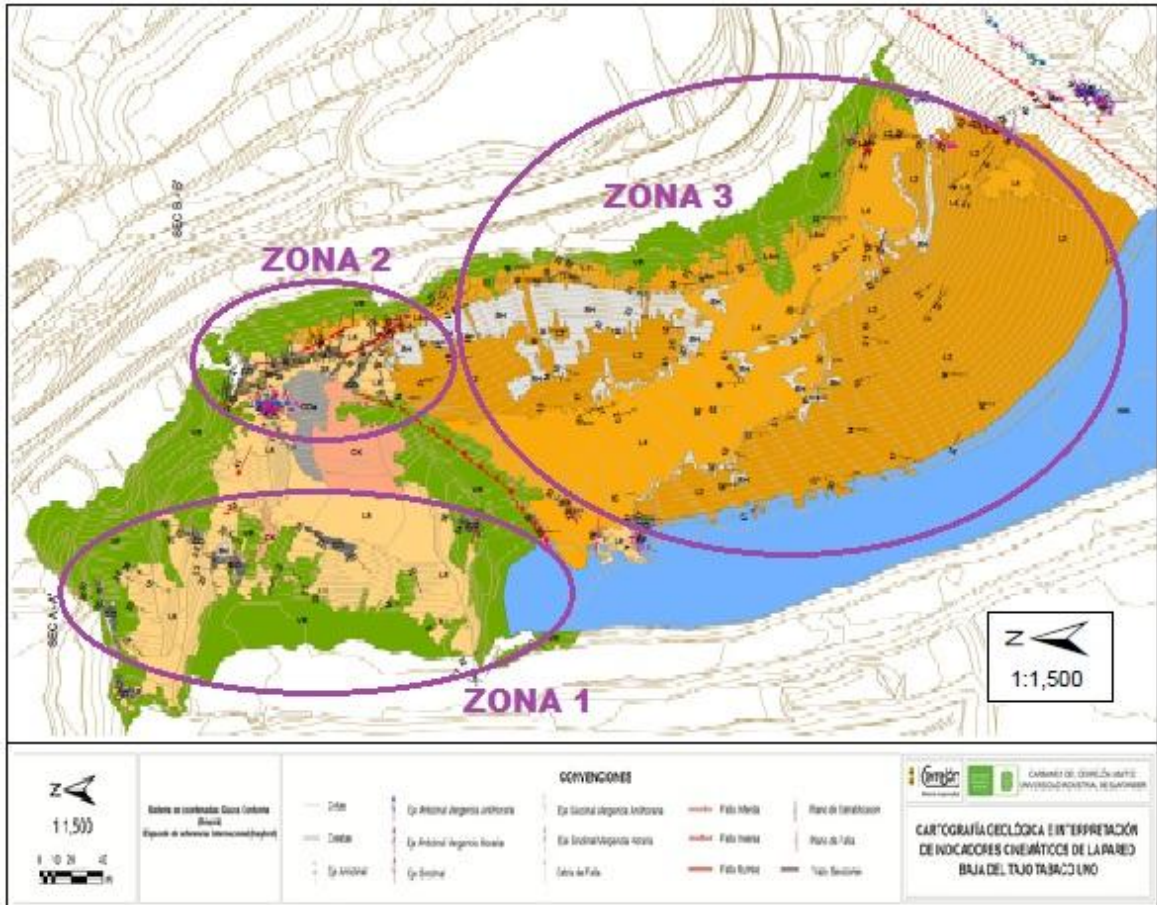
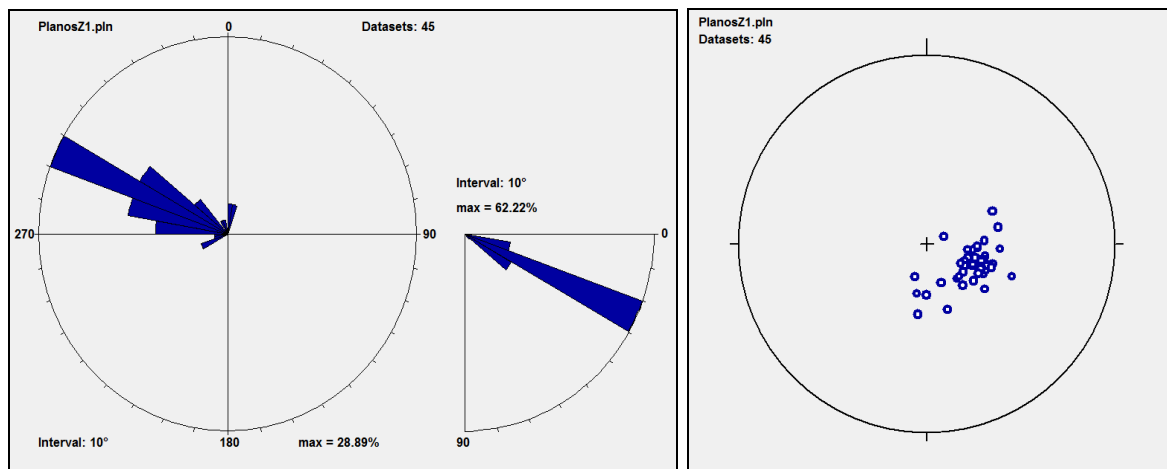


Figura 37. Diagrama de rosetas y polos para datos estructurales de planos de estratificación, Zona 1.



En la Zona 2 (Figura 38), se realizan graficas de rosetas y polos para los datos estructurales y graficas de rosetas y lineamientos para los datos recolectados en los plegamientos. Esta es la zona de mayor densidad de datos no solo estructurales sino de plegamientos lo que causa una amplia diversidad de direcciones de buzamientos.

En rasgos generales se observan dos direcciones predominantes en cuanto a la dirección de buzamiento de los planos de estratificación. Valores de entre 170 y 190° en dirección SSE y SSW, y valores de entre 280 y 290° al NW, con buzamientos bajos que van entre los 10 y 20° (Figura 39).

Figura 38. Zona 2 en segmento, Mapa Geol3gico escala 1: 1500.

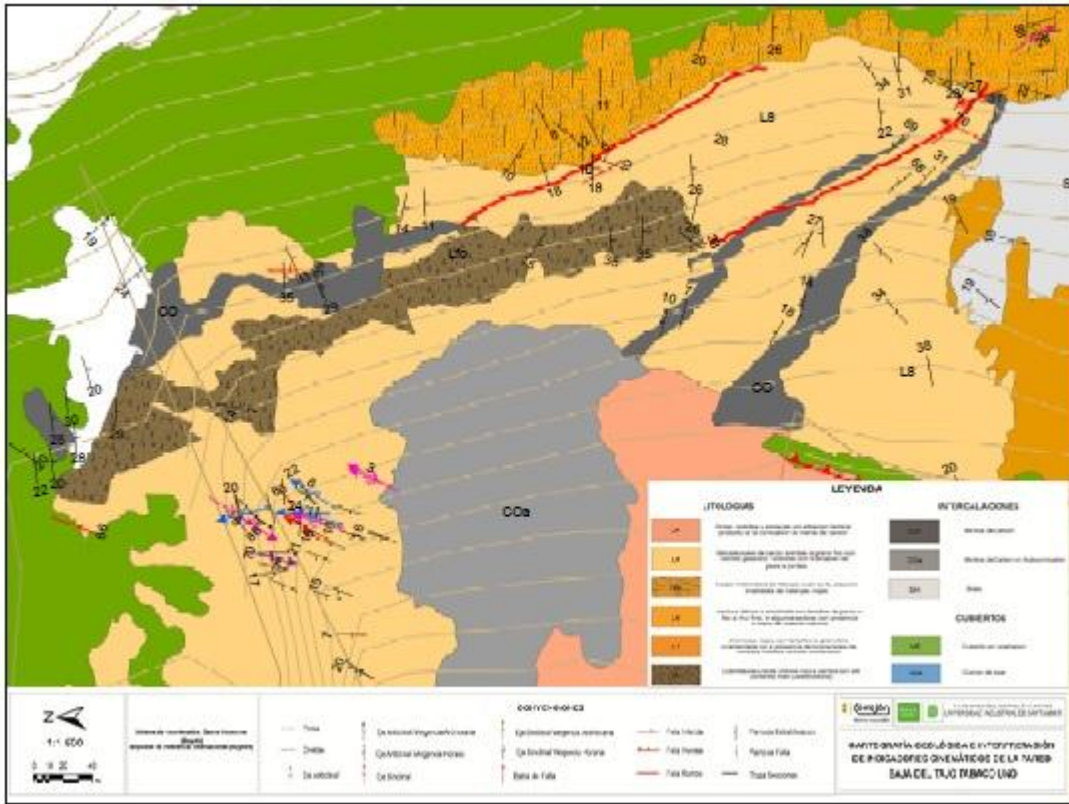
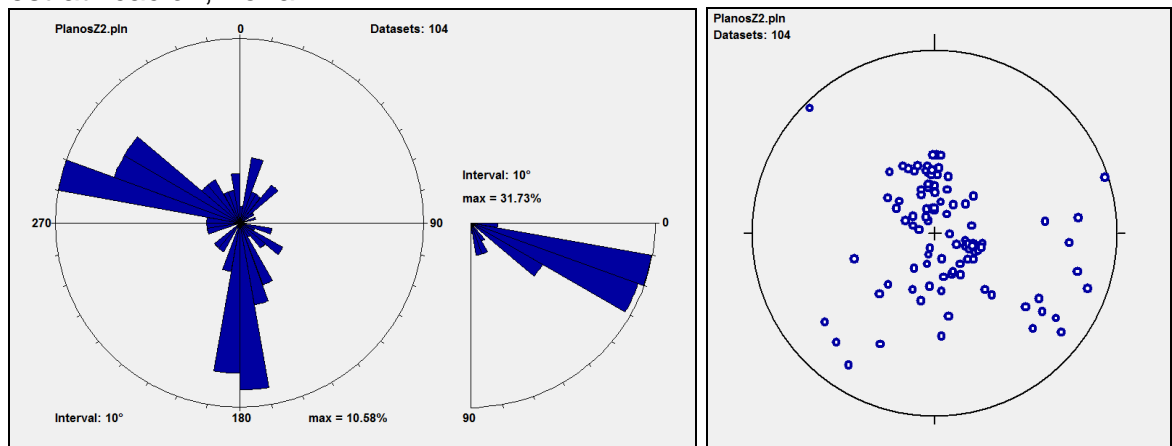


Figura 39. Diagrama de rosetas y polos para datos estructurales de planos de estratificaci3n, Zona 2.

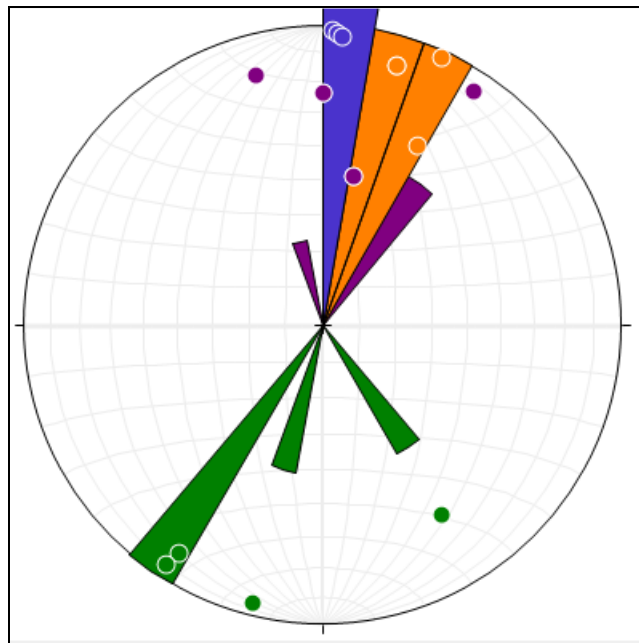


Los indicadores cinemáticos recolectados (Tabla 2), para la Zona 2, muestran en los lineamientos para los ejes de los pliegues una tendencia de los plegamientos anticlinales, sinclinales y anticlinales con vergencia antihoraria (Figura 40) en su totalidad mostrando azimuth en dirección NNE y NNW, para los anticlinales con vergencia horaria valores de azimut en dirección SE y SW. Sugiriendo una dirección de desplazamiento en sentido NW – SE, sentido en el cual es presenten las trazas de las fallas de rumbo cartografiadas en el área.

Tabla 2. Tabla de código de colores utilizada en graficas de rosetas y lineamientos de ejes de pliegues.

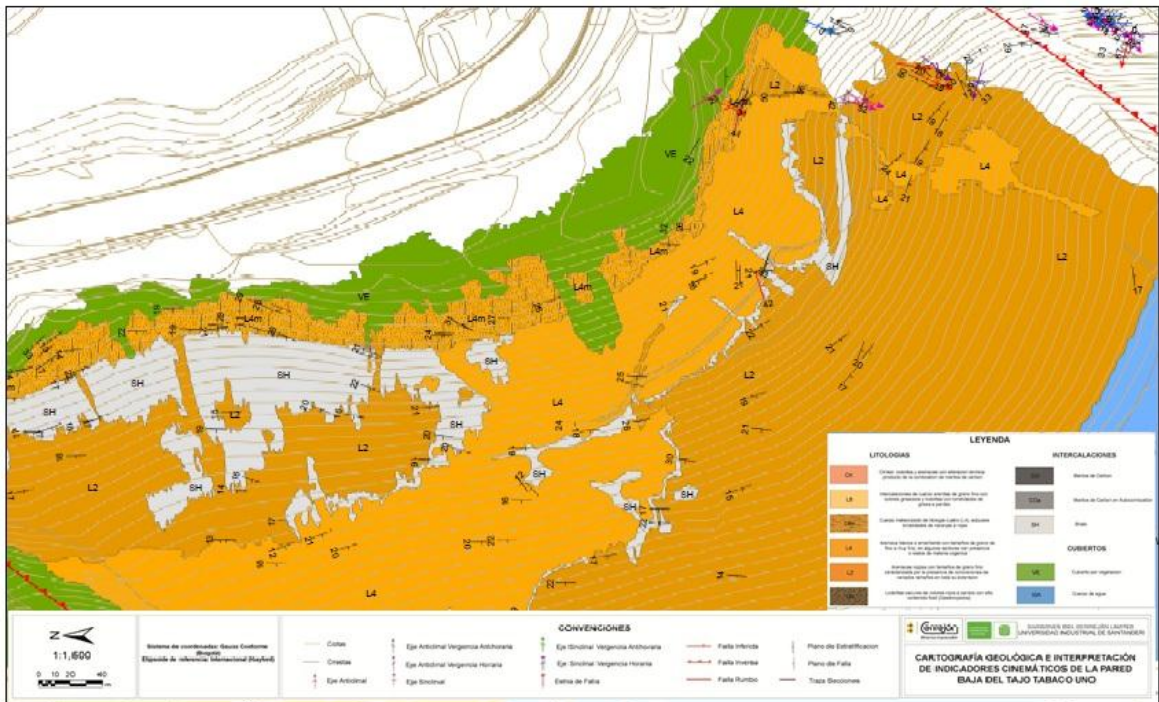
| TIPO ESTRUCTURA | | | |
|-----------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Eje Anticlinal | Eje Anticlinal Vergencia Antihoraria | Eje Anticlinal Vergencia Horaria | Eje Sinclinal |

Figura 40. Grafica integrada de rosetas y lineamientos para plegamientos, Zona 2.



La Zona 3 (Figura 41) se presenta como la zona más extensa y homogénea del área de campo, presenta menos densidad de toma de datos estructurales. En cuanto a los indicadores cinemáticos presentes en esta, también son limitados y se encuentran dispuestos en cercanías a las trazas de las dos fallas que limitan esta zona, la Falla Tabaco Uno y la Falla Tabaco Palencia.

Figura 41. Zona 3 en segmento, Mapa Geológico escala 1: 1500.



Los datos estructurales presentes en la Zona 3 se encuentran dispuestos con una clara tendencia de dirección de buzamiento al oeste mostrando una dirección de buzamiento de alrededor de los 270° y ángulos de buzamiento entre los 20 y 30° (Figura 42). En la zona 3 se presentan principalmente indicadores cinemáticos con plegamientos anticlinales y anticlinales con vergencia horaria (Figura 43), los cuales se presentan orientados en sus lineamientos hacia el SW principalmente, en su totalidad con valores de azimuth entre los 180 y 270°.

Figura 42. Diagrama de rosetas y polos para datos estructurales de planos de estratificación, Zona 3.

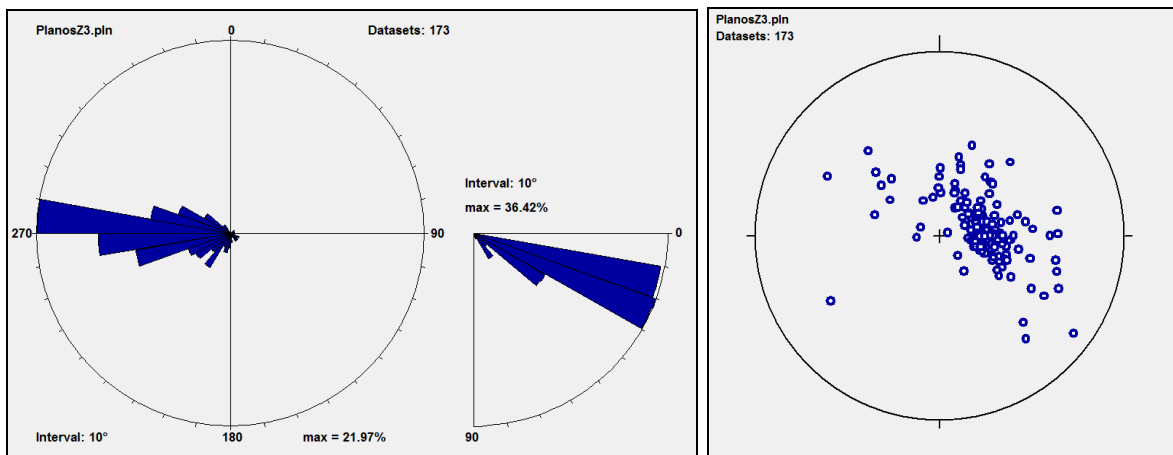
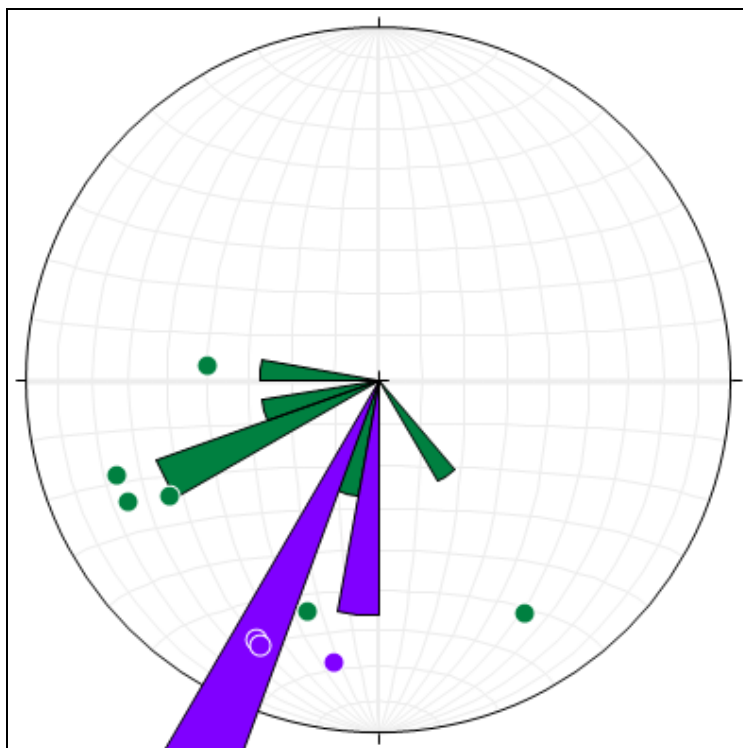


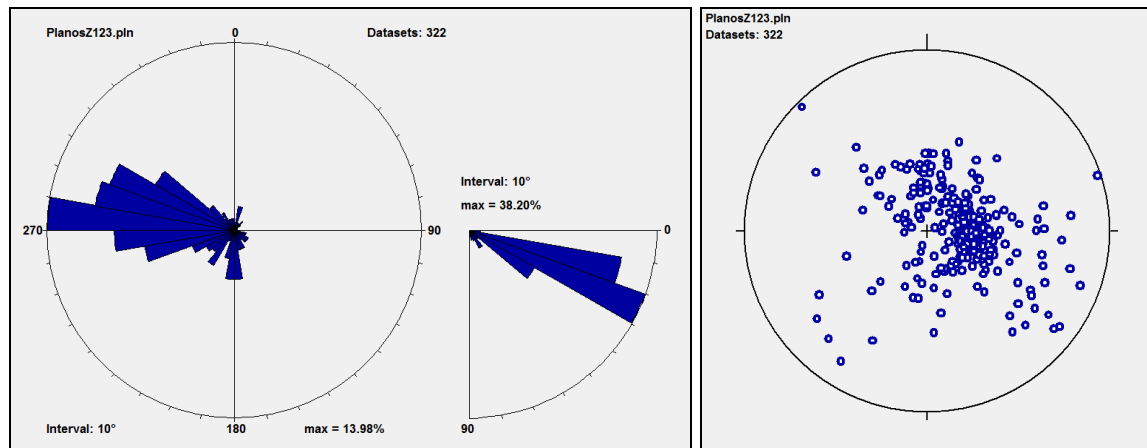
Figura 43. Grafica integrada de rosetas y lineamientos para plegamientos, Zona 3.



8.4.2 Estilo estructural general, área de trabajo

La Zona de la Pared Baja del Tajo Tabaco Uno, exhibe una variada tendencia en las direcciones de buzamiento de sus planos de estratificación. Sugiriendo ser producto de la interacción de cuatro fallas presentes en la zona, y por encontrarse bajo el dominio estructural de la Falla Samán y la presencia de un fenómeno estructural como lo es el anticlinal de tabaco. Sin embargo, las gráficas de rosetas y polos muestran que los planos de estratificación en su mayoría presentan direcciones de buzamientos hacia el este con ángulos entre los 260 y los 290°. Los buzamientos en general si muestran una predisposición clara, con valores entre los 10 y 30° (Figura 44).

Figura 44. Graficas de rosetas y polos, para datos estructurales de la Pared Baja del Tajo Tabaco Uno.



Para realizar inferencias sobre los indicadores cinemáticos en este caso plegamientos se realizan dos graficas de lineamientos, una que reúne todos los tipos de plegamientos (Figura 45) encontrados en el área (pliegues anticlinales, sinclinales, anticlinales con vergencia horaria y antihoraria) y otra en la cual se

filtran, y solo se grafican los plegamientos con vergencia (Figura 46). Con la intención de lograr un gráfico con una tendencia marcada, eliminando posible ruido causado por algunos datos.

Los ejes de los plegamientos marcan lineamientos con estilos marcados, la totalidad de los plegamientos con vergencia antihoraria se ubican hacia el NE y los ejes de los plegamientos con vergencia horaria se ubican hacia en SE y SW. De esta misma manera se sugiere que los plegamientos se encuentran controlados por esfuerzos de mayor energía en direcciones NW – SE.

Figura 45. Graficas de rosetas y lineamientos para la zona de campo, mostrando todos los tipos de plegamientos encontrados.

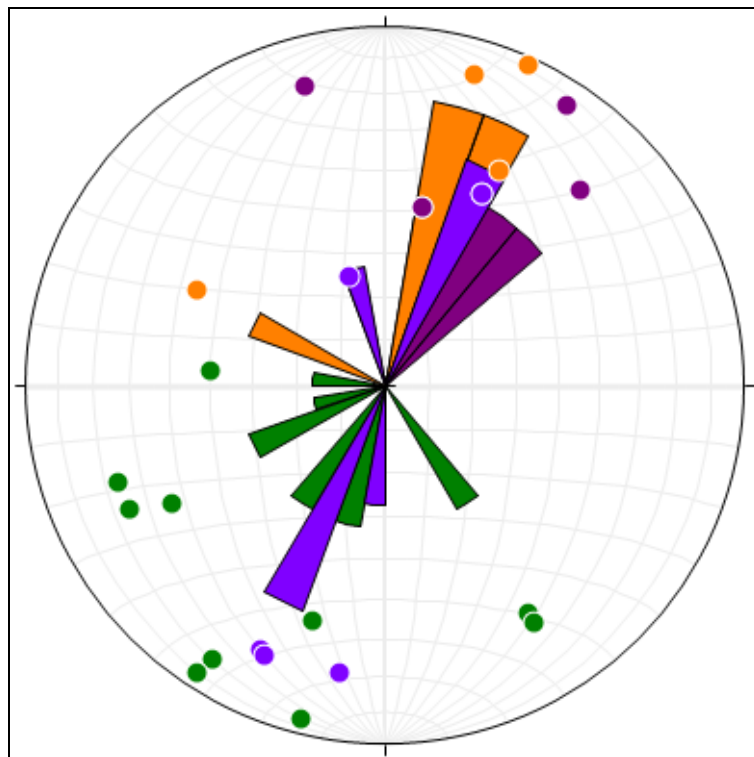
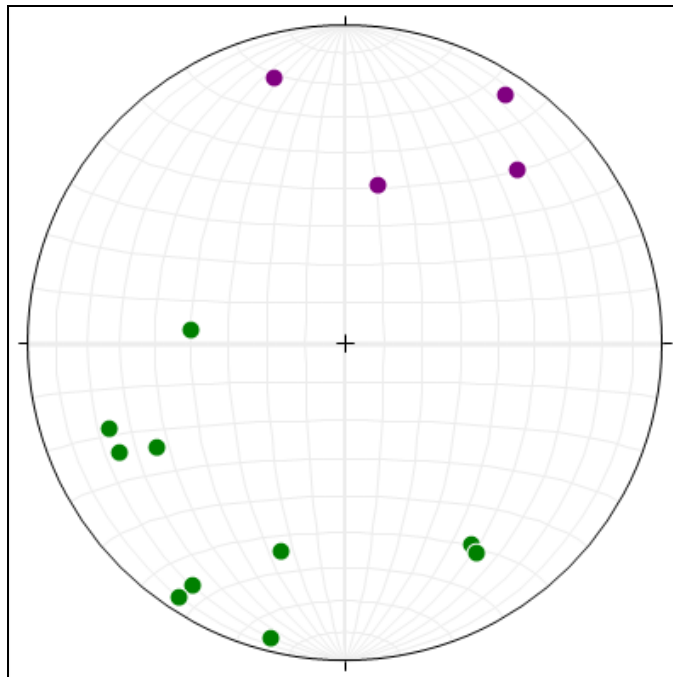


Figura 46. Grafica de lineamientos para la zona de campo, se grafican plegamientos que presenten vergencia.



El sector sur de la zona (Área llamada como Zona 3) según la dirección de buzamiento de los planos de estratificación marca una estructura prominente plegada de anticlinal, con buzamientos bajos en sus flancos entre 10 y 20°. Se presentan plegamientos a meso escala hacia los flancos tanto norte como sur, sectores que se encuentran bajo la influencia de las fallas Tabaco Uno y Tabaco Palencia, ya descritas. Son pliegues apretados y cerrados principalmente, con buzamientos que oscilan entre los 20 y 30°.

La información reportada por las estrías de falla encontradas en areniscas, ubicadas en el área norte y sur de la zona muestra, direcciones hacia el NW con ángulos entre los 330 y 340°.

El sector NE de la zona se encuentra caracterizado por un dominio de plegamientos anticlinales con vergencia antihoraria, en su mayoría cerrados. Esta zona como ya fue mencionado se encuentra afectada por la presencia de dos fallas de rumbo, zona nombrada como de mayor plegamiento.

La zona se encuentra dominada por un estilo estructural de fallas inversas y con ángulos de buzamiento entre los 30 y 35°, y direcciones de traza NE – SW. Estas fallas se caracterizan por presentar un alto fracturamiento en sus paquetes contiguos de roca competente (arenisca de litología 4). Al sur de la zona de falla es fácil percibir una considerable densidad de diaclasamiento.

Según Ruiz (2006) el diaclasamiento presente en esta zona de falla desarrolla geometría ondulada con conexión y simetrías indicando diferentes estilos y movimientos, que se prolongan mediante una serie de rupturas sucesivas. Junto a la Falla Tabaco Uno se encuentran contiguas las dos fallas de rumbo cartografiadas en este proyecto, con ángulos de buzamiento altos, alrededor de los 50° y trazas con direcciones NW – SE, en algunos sectores mostrando la presencia de harina de falla y/o material triturado. Lo cual llega a sugerir la presencia de deformación frágil en la zona. Permitiendo este tipo de deformación el desarrollo de indicadores cinemáticos.

La zona a su vez marca un dominio de plegamientos anticlinales con vergencia horaria de tipo apretados y cabeceo de alrededor de los 20°.

La estructura fallada más cercana que se sugiere domina el área es la nombrada Falla Samán, falla de rumbo con amplios desplazamientos en la vertical y con marcados desplazamiento en vista de planta de mantos de carbón (Cerrejón, 2008), según la cartografía levantada en sectores del Tajo La Puente, la Falla Samán cuenta con una traza en sentido NW – SE con una continuidad S - N y un rumbo sinistral. Se propone que, los fallamientos cartografiados en este trabajo

sean paralelos o producto de la continuidad de la Falla Samán. El dominio antitético de la Falla Samán comprende la secuencia entre los mantos 95 y 155, la característica geométrica de los mantos de carbón en este dominio es su disposición como segmentos cortos, rectos, y discontinuos altamente fallados, algunos pocos levemente plegados (Palencia, 2007).

9. CONCLUSIONES

- Con base en la cartografía geológica detallada, escala 1: 1500. Fue posible identificar y georeferenciar la presencia de; suelos meteorizados, mantos de carbón con espesores potencialmente explotables, zonas de autocombustión y suelos cubiertos. Información de importancia, para el enriquecimiento del modelo geológico del depósito.
- Después de realizar la integración cartográfica entre los trabajos efectuados por Palencia (2007) y la información obtenida en este proyecto, se logra; obtener una cobertura de 0.9 Km², elaborando un mapa detallado a escala 1: 2500 que integra; cartografía geológica, de usos y cubiertos del suelo, e interpretación de indicadores cinemáticos. Aumentando así el conocimiento geológico en áreas de nueva minería.
- Mediante la cartografía geológica ejecutada se obtiene mayor precisión en la traza de la Falla Tabaco Uno. Se tiene en cuenta esta en la generación de la Sección A – A', en la cual marca importante influencia en los desplazamientos de las unidades cartografiadas. Se relaciona con la Falla Tabaco Palencia con la cual comparte similitudes en el sentido y dirección de su traza (NE –SW), con buzamiento de entre 30 y 35° al SE. Se sugiere sea clasificada como una falla antitética.
- Mediante la elaboración de la Sección B – B' se propone dar continuidad a las fallas cartografiadas, prolongando sus trazas en 80 y 40 metros al NNW respectivamente. Como producto de la correlación de mantos de carbón cortados por las trazas las fallas se plantea la presencia de segmentos del manto 85 aflorando al NE de la traza de dichas fallas.

- Se identifican y caracterizan dos fallas de rumbo con trazas en dirección NW – SE una subparalela de la otra y buzamiento de alrededor 50° al NE, las cuales marcan lineamientos similares a la traza de la Falla Samán. Sugiriendo que esta zona se encuentra bajo el dominio estructural de dicha falla, el cual se propone se prolonga en sentido NNW. Estando esta zona afectada por sus esfuerzos, los cuales desplazan y afectan los mantos de carbón cortados por su traza.
- El estilo estructural dominante identificado al NW del Anticlinal de Tabaco está enmarcado por planos de estratificación con tendencias de dirección de buzamiento al este con ángulos entre los 260 y 290° y buzamientos entre los 10 y 30°. Plegamientos asimétricos de tipo apretado, principalmente anticlinales con vergencia horaria y antihoraria, asociados a fallamientos que en algunos sectores muestran la presencia de harina de falla y material triturado. Sugiriendo la presencia de deformación frágil en la zona, la cual permite el desarrollo de los descritos indicadores cinemáticos.

10. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios que complementen los trabajos realizados en el área y sus alrededores, como el análisis e interpretación de fotografías aéreas y/o imágenes LANDSAT.
- Se sugiere realizar secciones geológico estructurales pozo a pozo al norte de la Sección B –B´, con trazas paralelas o subparalelas a estas. Con el fin de continuar caracterizando la traza de la falla de rumbo cartografiada en este proyecto.

GLOSARIO¹

BLOQUE DE FALLA: Conjunto de materiales situados a cada lado del plano de falla. Los bloques o labios de falla se nombran de acuerdo a su posición respecto del plano de falla; el bloque o labio superior cuando está por encima del plano de falla y el bloque o labio inferior cuando se encuentra cuando está por debajo de mismo.

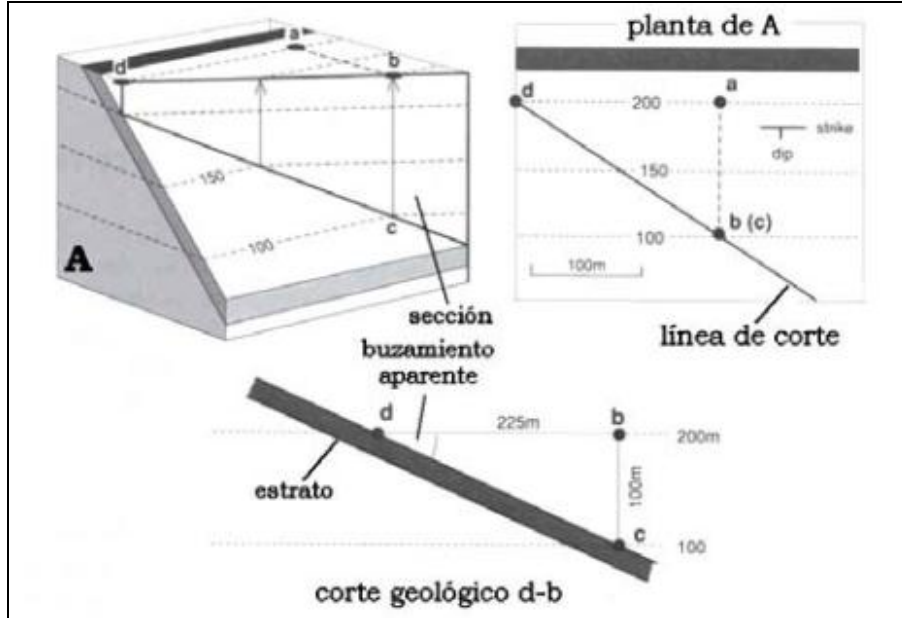
BUZAMIENTO: Angulo que forma la superficie de un estrato con la horizontal, medido en el plano que contiene la línea de máxima pendiente.

BUZAMIENTO APARENTE: Angulo que se forma respecto de la horizontal un plano geológico inclinado, medido en una dirección no perpendicular al rumbo de dicho plano (Figura 47).

BUZAMIENTO REAL: Angulo que forma respecto de la horizontal un plano geológico medido en dirección estrictamente perpendicular a la dirección de la capa del mismo plano. Es el ángulo de inclinación máximo que presenta el plano (Figura 48).

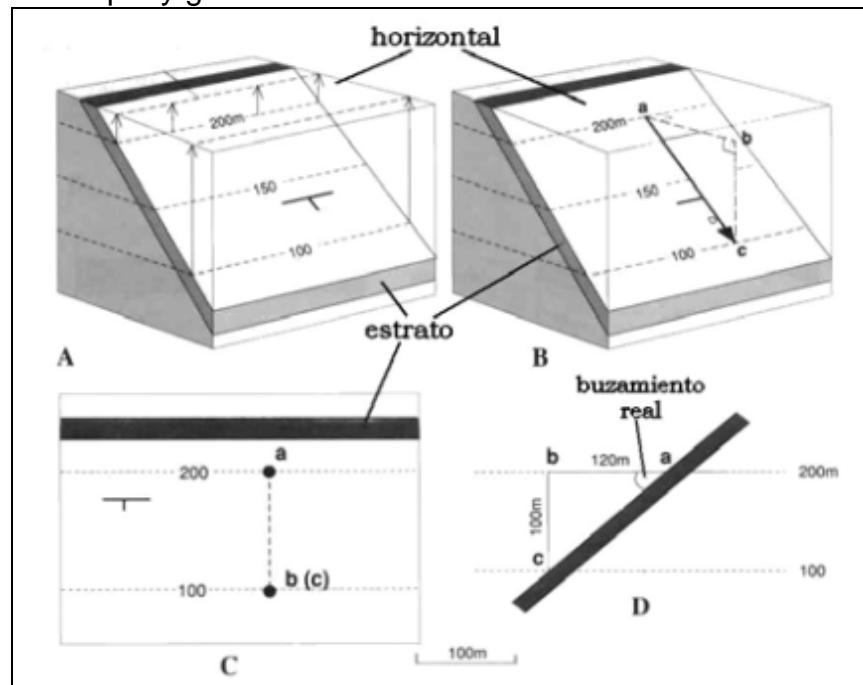
¹ <http://es.scribd.com>

Figura 47. Concepto y cálculo de buzamiento aparente.



Fuente: Tomado de Powell, D. 1992.

Figura 48. Concepto y grafica de buzamiento real.



Fuente: Tomado de Powell, D. 1992.

CLINKER: Roca pirometamórfica formada por la alteración térmica extrema de lodolitas y areniscas durante la combustión natural de los mantos de carbón. Es un material poroso con una alta dureza y tonalidad roja.

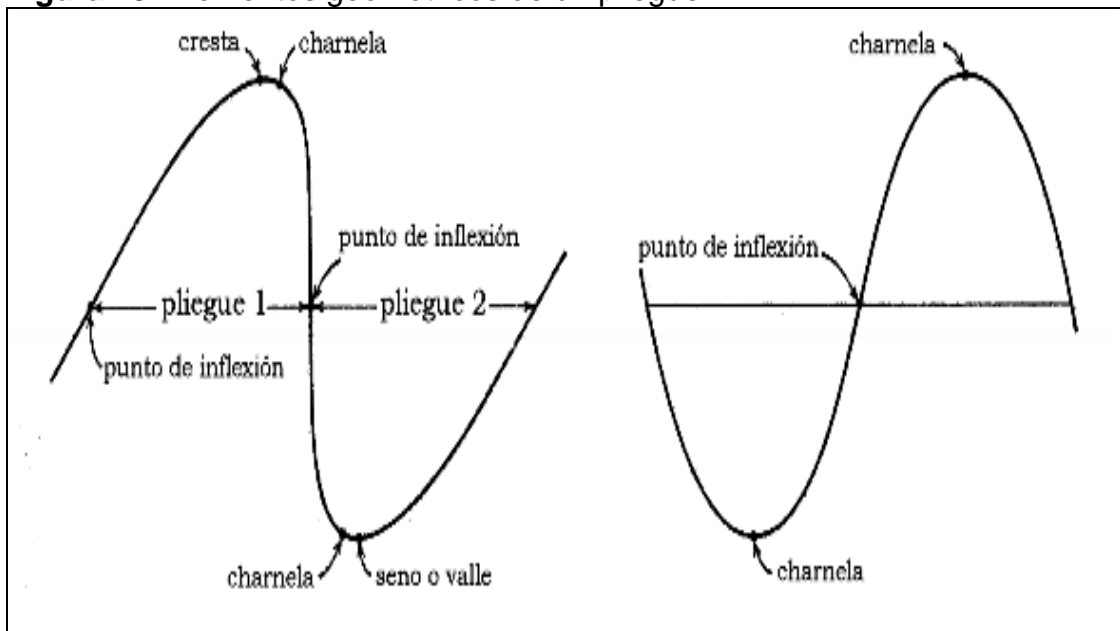
DEFORMACIÓN DÚCTIL: Zona de deformación caracterizada por su apariencia fluida con plegamientos disarmónicos y ausencia de brechamiento ó huellas de fricción.

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DEL PLIEGUE:

- **AMPLITUD:** Distancia que separa los puntos de inflexión de la cresta o valle de una superficie plegada, medida de forma perpendicular a la superficie media (Figura 49).
- **CHARNELA - ZONA DE CHARNELA:** alineación de puntos dentro de la superficie plegada que han experimentado la máxima deformación. La zona de charnela es la zona inmediatamente adyacente a la charnela.
- **CRESTA:** Punto del pliegue que se encuentra a mayor cota topográfica.
- **EJE:** Línea imaginaria que pretende comportarse como eje de un cilindro, es la línea generatriz ideal de cualquier pliegue.
- **FLANCO:** Zonas adyacentes a la zona de charnela y que comparativamente ha experimentado una deformación menos, llegando a ser nula en los puntos de inflexión.
- **LONGITUD DE ONDA:** Distancia que separa dos crestas o dos valles consecutivos en una superficie plegada.

- **PLANO O SUPERFICIE AXIAL:** Superficie geométrica ideal que une las líneas de charnela de distintas superficies plegadas, dentro de un pliegue.
- **PUNTO DE INFLEXIÓN:** Punto en los flancos de un pliegue en el que la curvatura de la superficie plegada pasa de cóncava a convexa o viceversa.
- **SENO O VALLE:** Punto del pliegue que se encuentra a menor cota topográfica.
- **SUPERFICIE O PLANO MEDIO:** Plano o superficie que une los puntos de inflexión de una superficie media.

Figura 49. Elementos geométricos de un pliegue.



Fuente: Tomado de Ragan, D.M. 1973.

ESTRÍAS DE FALLA: Rasguños longitudinales presentes en el plano de falla, son indicadores de la dirección y sentido del movimiento. Para Cerrejón solo son tenidas en cuenta aquellas estrías no arcillosas que presentan mineralización.

FALLA: Superficie de discontinuidad deformacional a lo largo de la cual hay evidencias de que se ha producido el desplazamiento apreciable de las masas rocosas que la flanquean. El plano de falla es la propia superficie de la falla.

FORMACIÓN: Unidad litoestratigráficas fundamental. Cuerpo de rocas identificado por sus características litológicas y su posición estratigráfica.

GRUPO: Unidad litoestratigráficas de rango mayor que la Formación, comprende dos o más formaciones adyacentes.

INTERBURDEN: Espacio de separación entre dos mantos de carbón adyacentes mantos de carbón.

MANTO: Yacimiento mineral de forma tabular, pudiendo ser o no horizontal generalmente confinado en un horizonte estratigráfico.

MODELO GEOLÓGICO: Representación matemática geoespacial de un depósito mineral (estratiforme en el caso de Cerrejón) con intereses económicos, que tiene un sentido predictivo de las propiedades geológicas (calidad, volumen y estructura) de este en el subsuelo.

ORIENTACIÓN: Disposición de un plano o línea estructural en el espacio, por lo general relacionado con una dirección geográfica horizontal.

PARED ALTA (HIGH WALL): Limite inicial de minería constituido por una pared vertical en la cual se puede observar toda la secuencia estratigráfica minada, que ocasionalmente es interrumpida por rampas de acceso a los diferentes niveles.

PARED BAJA (FOOT WALL): Limite final de minería asociado al respaldo o piso de un manto determinado.

PLIEGUE: Curva desarrollada sobre la superficie planar (estratos o cualquier tipo de foliación) como resultado de la actuación de esfuerzos.

SALTO O DESPLAZAMIENTO: Movimiento relativo sobre un plano de falla, medido desde un bloque de la falla hasta otro. Los movimientos de los bloques alrededor del plano de falla pueden referirse a varias formas dentro de las cuales y por la temática del proyecto consideramos definir las siguientes:

- **FALLAS DE CABALGAMIENTO:** Se trata de un tipo de Falla inversa que debido a la acción de empujes tangenciales presenta un plano de falla de escaso buzamiento ($<45^\circ$), produce dislocaciones y desplazamientos de considerable a gran extensión.
- **FALLA DE RUMBO:** falla cuyo desplazamiento se da en el plano horizontal a lo largo de su rumbo.
- **FALLA DE RUMBO DEXTRAL:** Falla de rumbo en la que el desplazamiento relativo de las capas por acción de la falla se da en el sentido de las manecillas del reloj (interpretado desde arriba o parte superior).

- **FALLA DE RUMBO SINISTRAL:** Falla de rumbo en la que el desplazamiento relativo de las capas por acción de las falla se da en el sentido de las manecillas del reloj (interpretado desde arriba o parte superior).
- **FALLA INVERSA:** Falla en la que el bloque colgante se desplaza hacia arriba del bloque yacente, produce un aumento en el “interburden” entre los mantos afectados. Asociados a este generalmente se observan pliegues de arrastre.
- **FALLA NORMAL:** Falla en la que el bloque colgante se desplaza hacia abajo con respecto al bloque yacente y produce una reducción de “interburden” entre los mantos afectados.

TRAZA: Línea resultante de la intersección de cualquier plano geológico con la superficie del terreno, proyectada sobre un mapa. Sus características geométricas son indicadores valiosos de la orientación y demás atributos geométricos de los planos geológicos.

VERGENCIA: Es la dirección de rotación aparente de un pliegue, definido por la orientación del plano axial y la posición del flanco largo sobre el flanco corto.

VERGENCIA ANTIHORARIA: Cuando el plano axial de un pliegue asimétrico cae en el sentido contrario al movimiento de las manecillas del reloj, visto en corte, en dirección del cabeceo.

VERGENCIA HORARIA: Se presenta cuando el plano axial de un pliegue asimétrico cae en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj, visto en corte, en dirección del cabeceo.

BIBLIOGRAFÍA

- **AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS.** Reconstrucción de la historia termal en los sectores de Juruaco y Cerro Cansona – Cuenca del Sinú-San Jacinto y en el Piedemonte Occidental de la Serranía del Perijá entre Codazzi y la Jagua de Ibirico – Cuenca de Cesar-Ranchería. Bogotá, Colombia. ANH. 2009.
- **AROCA ACOSTA, J.** Reinterpretación geológica de la zona sur bloque Conejo-Fonseca en carbones del Cerrejón Limited. Medellín, Colombia. Universidad Nacional. 2012.
- **AUDEMARD, F.E & AUDERMARD, F.A.** Structure of the Merida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. Tectonophysics, 2001. 6509, 25p.
- **BABIN, R. & GOMEZ, D.** Problemas de Geología Estructural. Análisis estructural mediante diagramas de contornos. Reduca (Geología). Serie Geología Estructural. 2 (1): 148-192. 2010.
- **BAYONA, G., JARAMILLO, C., RUEDA, M., PARDO, A., CHRISTIE, A. & HERNANDEZ, G.** Important paleotectonic and chronostratigraphic considerations of the Late Paleocene in the northernmost Andes as constrained by Paleocene rocks in the Cerrejón coal mine, Guajira, Colombia. Memorias en CD de la tercera convención técnica de la Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del petróleo. Bogotá. 2004. p.14.
- **CÁCERES H., CAMACHO R., & REYES J.** The Geology of the Ranchería Basin Ecopetrol 19 th Field Conference. 1980.

- **CÁCERES, C.; MOLINA, J. y BERNAL, J.** Informe Geológico Final, Pozo El Molino 1X. En: Reporte interno de ECOPETROL S.A. Bogotá, 1981.
- **CARBONES DEL CERREJÓN**, a. Disección por niveles de un cinturón andino deformado: Observaciones preliminares en la mina de carbón del Cerrejón, Guajira. Presentador, Portilla H, Memorias X Congreso Colombiano de Geología, Bogotá.
- **CARBONES DEL CERREJÓN.** Aplicabilidad de conceptos de estratigrafía de secuencias en depósitos continentales: observaciones preliminares en la mina de carbón del Cerrejón, Guajira. Memorias X Congreso Colombiano de Geología, Bogota. 2005.
- **CARDOZO, L. & GOMEZ, C.** Geología del depósitos de carbón El Cerrejón en el sector Sarahita-Guajira. Tesis de grado, Fac. Ciencias, Univ. Nacional. Bogotá. 1980.
- **CASE, J.E., SHAGAM, R., GIEGENGACK, R.F.** Geology of the northern Andes; an overview in Dengo, G., and Case, J.E., eds., The Caribbean region Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology North America, vol H. 1990.
- **CEDIEL, F.; MOJICA, J. & MACÍA, C.** Las Formaciones Luisa, Payandé, Saldaña. 1981.
- **CHICA, A.** Notas del curso de geología estructural. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de minas. 1984. 140pp.
- **COWIE, P. & SCHOLZ, C.** Displacement-length scaling relationship for faults: data synthesis and discussion. Journal of Structural Geology, vol 14, No 10, pp. 1149-1156. 1992.

- **DAWERS, N. ANDERS, M. & SCHOLZ, C.** Fault length and displacement: Scaling laws. *Geology*, v.21, pp. 1107-1110. 1993.
- **DELGADO, J.; PADILLA, F. & BARRIENTOS, V.** Prácticas de GEOLOGÍA, Mapas Geológicos y Problemas. Coruña, España. Universidad Da Coruña. 2010.
- **DELGADO, J. & PADILLA, F.** Prácticas de Ingeniería y Morfología del Terreno Mapas Geológicos y Problemas Geométricos – Versión 1 –. Coruña, España. Universidad Da Coruña. 2002.
- **DE PORTA, L.** Lexique stratigraphique: Colombie, tertiaire et quaternaire. Volume V, Fascicule 4b. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique. (1974).
- **GARCÍA, C.** Proyecto Cesar – Ranchería, Informe Final, Tomo III, Geofísica. Reporte interno no publicado, ICPECOPETROL, 103 pp. 1990.
- **GARCIA, G.** Estudio de Secciones Estructurales del Área Conejo, Mina el Cerrejón. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 2010.
- **GEOESTUDIOS LTDA.** Cartografía Geológica Cuenca Cesar – Ranchería, Informe Final. Bogotá, Colombia. ANH. 2006.
- **GIL, A. y MARTINEZ H.** Análisis micro facial del Grupo Cogollo, y Formación La Luna, cuenca Cesar Ranchería, Guajira, Colombia. Trabajo de grado (Geólogo). Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias. Bogotá, 1990.

- **GOMEZ, X.** Revisión de la Interpretación Geológica Estructural del área de Bruno en el depósito carbonífero del Cerrejón en el Departamento de la Guajira. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 2012.
- **GONZALEZ, F.** Cartilla de Estandarización de Cartografía Geológica. Carbones del Cerrejón Limited. 2011.
- **GOVEA, C. y DUEÑAS, E.** Informe geológico preliminar de la Cuenca del Cesar. Informe 390, pp. 37. Ecopetrol. Bogotá, 1975.
- **HERNANDEZ, M.** Memoria Explicativa Geología Plancha 48, Jagua de Ibirico. Escala 1:100.000, INGEOMINAS. Bogotá, 2003.
- **INGEOMINAS, ARIAS, A., MORALES, C.,** Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Cesar. Memorias 1999.
- **INGEOMINAS.** Estándares Cartográficos de Manejo de Información Gráfica para Mapas Geológicos Departamentales y Planchas escala 1:100.000, Versión 1.1. INGEOMINAS. 2001.
- **INGEOMINAS.** Estándares de Presentación Cartográfica, Versión 1.1 Escalas 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 y 1:2.000. INGEOMINAS. 2004.
- **JULIVERT, M.** Curso de geología estructural. Asociación de geólogos y geofísicos del petróleo. Bogotá. 1986. 253pp.
- **KELLOG, J. & BONINI, W.** Subduction of the Caribbean plate and basement uplifts in overriding South American plate. Tectonics. 1982.
- **KELLOGG, J.** Cenozoic Tectonic history of the Sierra de Perijá, Venezuela - Colombia, and adjacent basins. 1981.

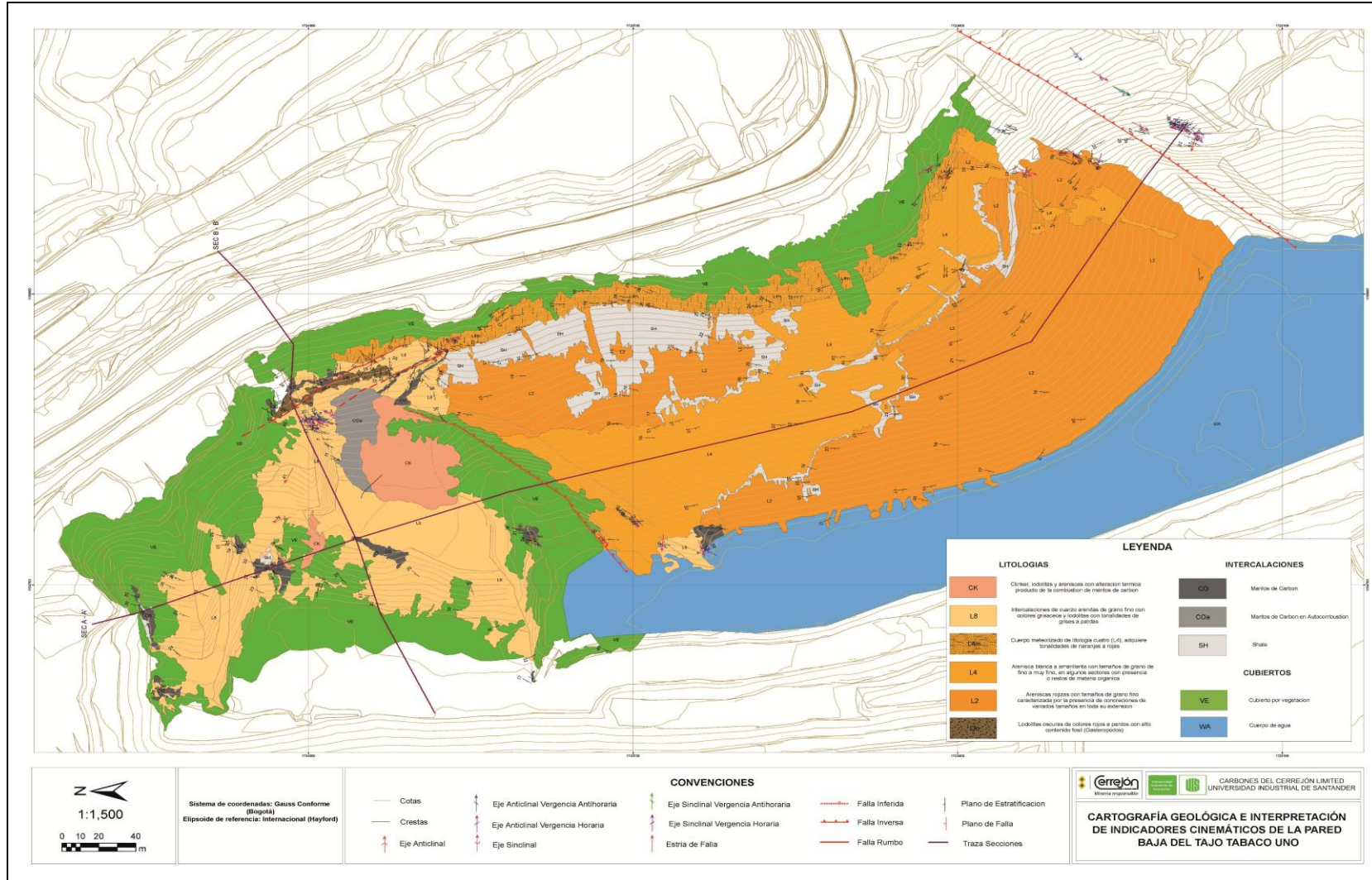
- **LAMUS, F.; BAYONA, G.; CAICEDO, J. & TCHEGLIAKOVA, N.** Análisis de procedencia de la sucesión Paleocena en el sector norte de la cuenca Cesar-Ranchería. Implicaciones en los modelos tectónicos de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá. Carbones del Cerrejón LLC, informe interno. 2006.
- **MARSHAK, S. & MITRA, G.** Basic Methods of Structural Geology. Prentice hall, Upper Saddle River, New Jersey. 1988. 446pp.
- **MARTÍNEZ, J.** Geología Estructural y Dinámica Global. Departamento de Geología Universidad de Salamanca. Salamanca, España. 2003.
- **MILLER, J.** Directrices Tectónicas en La Sierra de Perijá y Partes Adyacentes de Venezuela y Colombia. En: Boletín Geológico Ministerio de Minas, Publicación Especial, Vol. 3, Mem. 3 Congr. Geol. 2, pp. 685-718. Caracas, 1960.
- **MONTES, C.; BAYONA, G.; JARAMILLO, C.; OJEDA, C.; MOLINA, M. & HERRERA, I.** Uplift of the Sierra Nevada de Santa Marta and subsidence in the Cesar-Rancheria valley: Rigid-beam pivot model. 6^a international symposium of Andean geodynamics memoir. 2005.
- **PALENCIA, J.** Interpretación Estructural y Cinemática del anticlinal de Tabaco en la mina El Cerrejón, Guajira. Medellín, Colombia. Universidad EAFIT. 2007.
- **PINDELL, J.L., BARRET, S.F.** Geological evolution of the Caribbean region; a plate-tectonic perspective in Dengo, G., and Case, J.E., eds., The Caribbean region: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, vol H. 1990.

- **PINDELL, J.L.** Regional synopsis of Gulf of Mexico and Caribbean evolution. GCSSEPM Foundation 13th Annual Research Conference. Department of Earth Sciences, Fairchil Center, Dartmouth College, p.251-274. 1993.
- **PORTILLA, H.** Disección por niveles de un cinturón andino deformado: Observaciones preliminares en la mina de carbón del Cerrejón, Guajira. Bogotá. Memorias X Congreso Colombiano de Geología. 2005.
- **POWELL, D.** Interpretation of geological structures through maps. An introductory practical manual. Longman Scientific & Technical. 176 pp. 1992.
- **QUINTERO, J.A., CANDELA, S.A., RÍOS, C.A., MONTES, C., MENDOZA, W.G., JARAMILLO, C., URIBE, C., PARDO, S., SOCHA, S.,** (en preparación). Combustión espontánea de carbón y generación de clinker en el depósito carbonífero del Cerrejón, La Guajira. Carbones del Cerrejón.
- **RAGAN, D.M.** Structural Geology. An introduction to Geometrical Techniques, 2ª Ed.; John Wiley & Sons, 208 pp. 1973.
- **RAMOS, J.** Ambientes de depósitos relacionados con los parámetros de calidad de los carbones del Cerrejón “Bloque B”. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Tesis de Grado. 158 pp. 1990.
- **RINALDI, A.; BELLIZI, L.; TRUSKOWSKI, I., y ZAPATA, E.** Estudio Bioestratigrafico del Grupo Cogollo en la Cuenca de Maracaibo, Occidente de Venezuela. En: Memorias del X Congreso Colombiano de Geología. p 1-11. Bogotá, 2005.

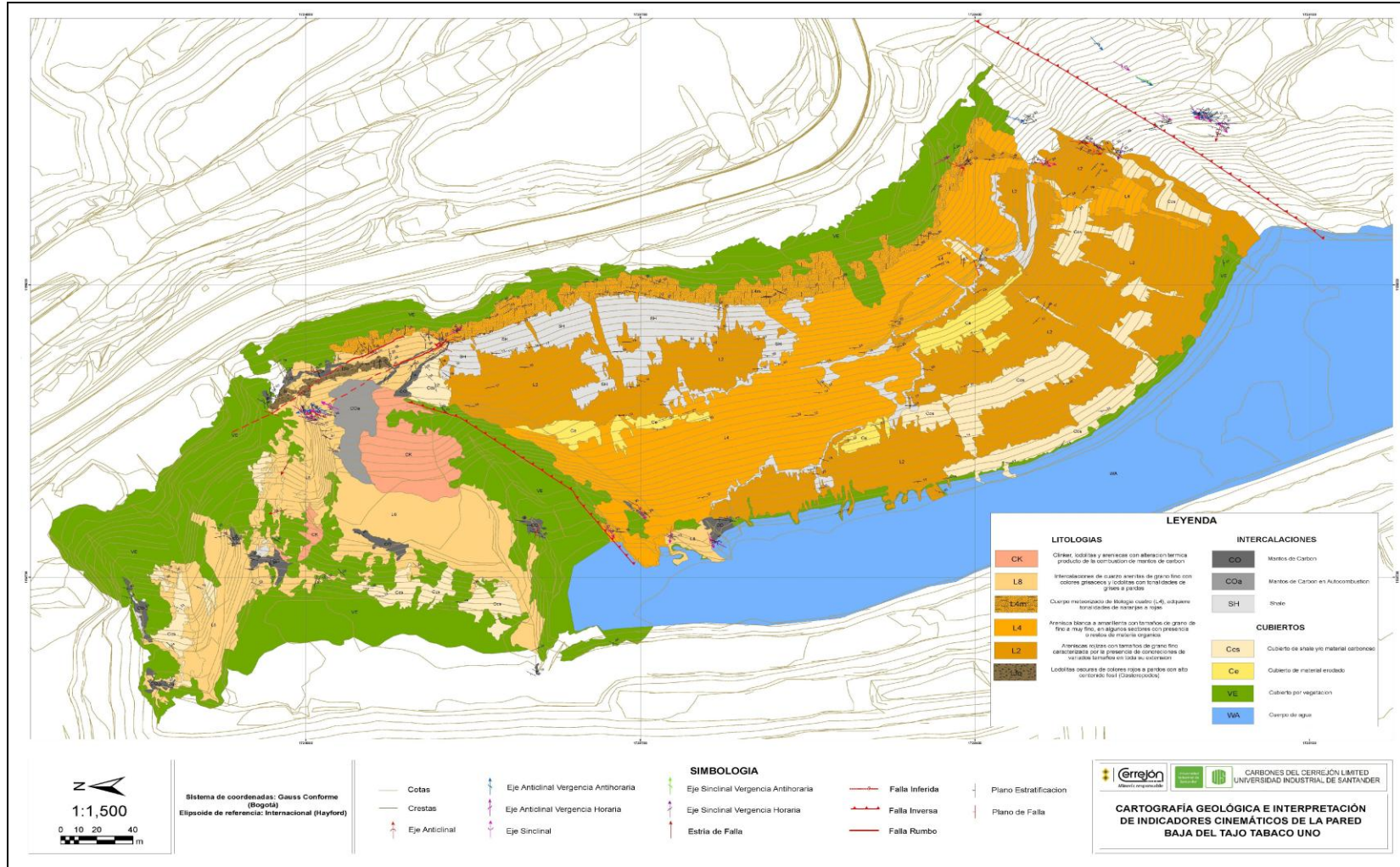
- **RUIZ, M.** Cartografía estructural del flanco occidental del anticlinal de Tabaco uno, en la mina de carbones del Cerrejón. Medellín. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. 2006.
- **SIMPSON, B.** Geological Maps. Pergamon Press. 99 pp. 1968.
- **TABOADA, A., RIVERA, L.A., FUENZALIDA, A., CISTERNAS, A., PHILIP, H., BIJWAARD, H., OLAYA, J., RIVERA, C.** Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). Tectonics, vol. 19, No. 5, pp. 787- 813. 2000.
- **TSCHANZ, C.; JIMENO, A. y CRUZ, J.** Mapa geológico de reconocimiento de la Sierra Nevada de Santa Marta. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá, 1969.
- **UJUETA, G. y LLINAS, R.** Reconocimiento Geológico de la parte más septentrional de la Sierra de Perijá. Geología Colombiana No. 17. pp. 197-209. Bogotá, 1990.
- **WARD, D.; GOLDSMITH, R.; CRUZ, J. & RESTREPO, H.** Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander. Ingeominas. Boletín Geológico 21:1-132. Bogotá. 1973.
- **WOKITTEL, R.** Bosquejo geográfico y geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá. Forero, 1972 FORERO, A. Estratigrafía del Pre cretácico en el flanco occidental de la Serranía de Perijá. Universidad Nacional, Geología Colombiana. Vol. 7, pp. 7-78. Bogotá, 1957.

ANEXOS

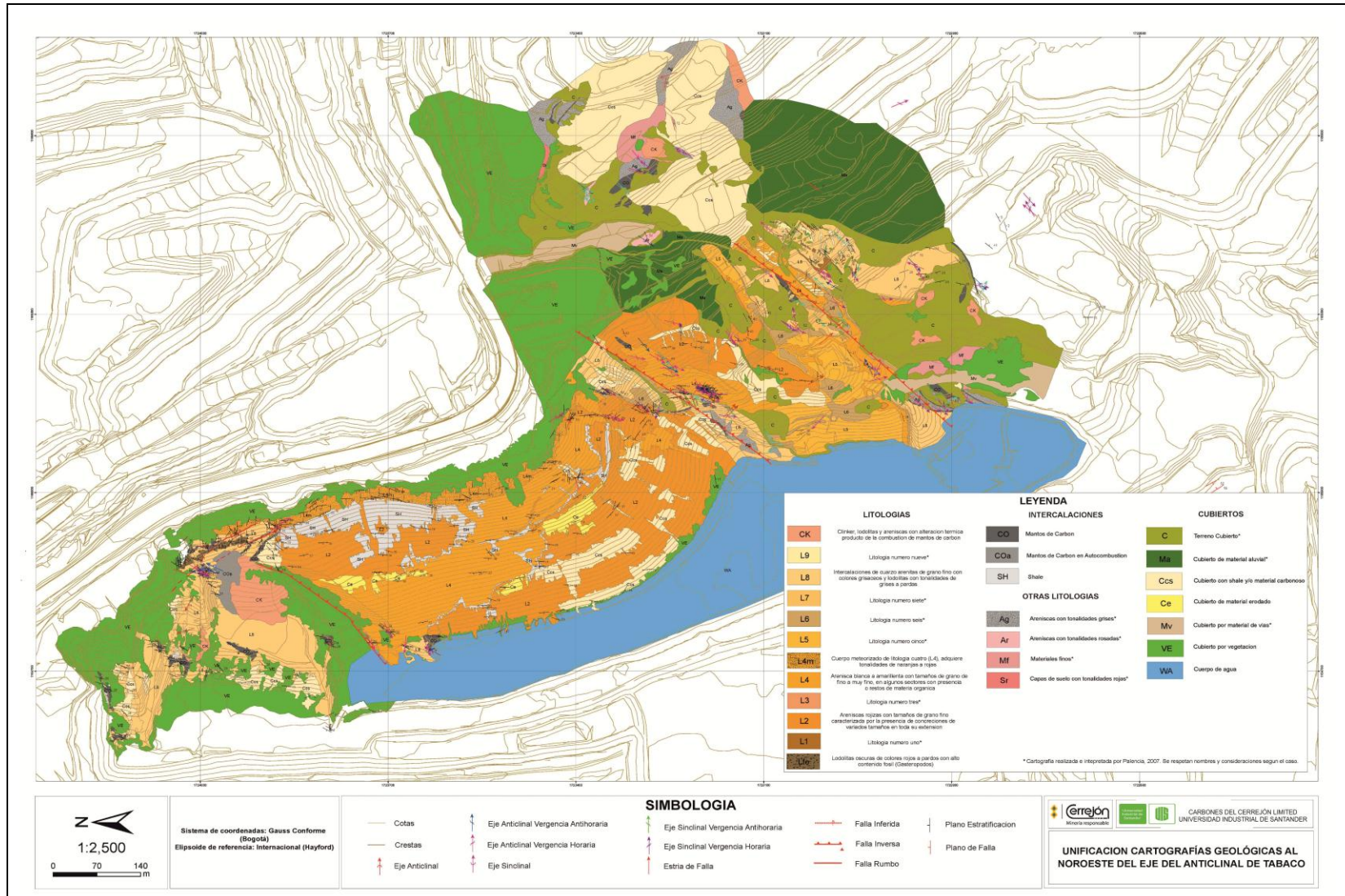
Anexo A. Mapa Geológico, escala 1:1500.



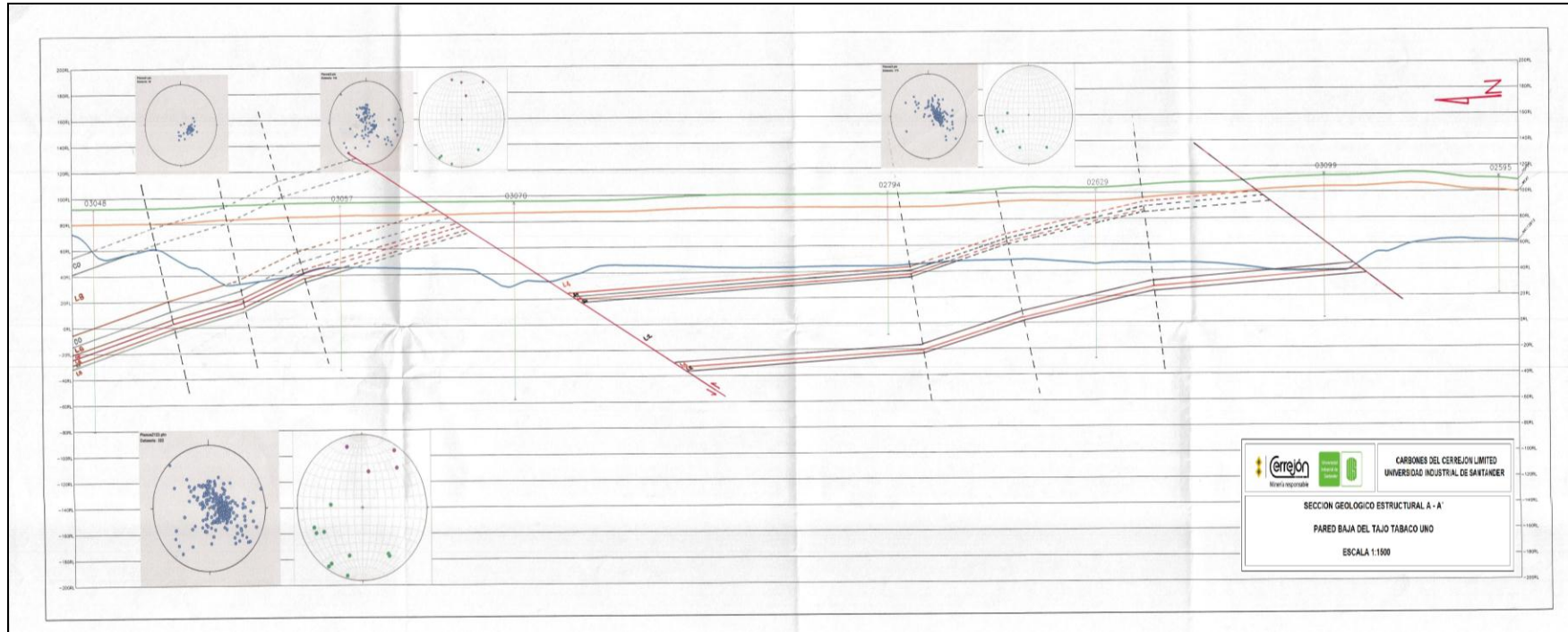
Anexo B. Mapa Geológico - Usos del suelo, escala 1: 1500.



Anexo C. Mapa Geológico Proyecto Unificación, escala 1: 2500.



Anexo D. Sección A - A', escala 1: 1500.



Anexo E. Sección B - B', escala 1: 1000.

