

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ALTO DE FLORENCIA EN CERCANÍAS AL
MACIZO DE GARZÓN, CAQUETÁ, COLOMBIA

JEAN PAUL DÍAZ MALDONADO
CÉSAR EDUARDO HERRERA QUINTERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA

2015

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ALTO DE FLORENCIA EN CERCANÍAS AL
MACIZO DE GARZÓN, CAQUETÁ, COLOMBIA

Trabajo de grado para optar el título de
Geólogo

JEAN PAUL DÍAZ MALDONADO
CÉSAR EDUARDO HERRERA QUINTERO

Director
WILMAN ROLANDO RAMÍREZ ROJAS
Geólogo

Codirector
Geólogo, PhD. ELISEO TESÓN DEL HOYO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2015

DEDICATORIA

Jean Paul

A mi madre María del Carmen Maldonado Roa, a mi padre Juan Carlos Díaz Ardila, y a mi hermano Diego Armando Díaz Maldonado, quienes con su ejemplo y apoyo me han permitido cumplir esta meta; por último y no menos importante a mi sobrino Juan Manuel Díaz Niño quien con su inocencia y ternura me recordó que todos llevamos un niño interior el cual vive en búsqueda de la felicidad y cree que todo es posible.

Cesar Eduardo

A mi madre Rocío y mi padre Cesar, quienes me han formado con valores y principios, apoyándome durante mi vida y brindándome su afecto, a Kelly mi hermana y Gabriela mi sobrina por su compañía y ternura, a Camila mi novia por su amor incondicional, a mi Tía Trina y Héctor por su ayuda y dedicación, a mi familia por sus consejos y en especial a todos los que me han dado una buena enseñanza para la vida y mi formación.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director Wilman Rolando Ramírez Rojas por su acompañamiento, consejos, tiempo y paciencia durante el desarrollo de este proyecto.

A nuestras Familias quienes han sido un pilar fundamental durante nuestro crecimiento personal y profesional.

Al Instituto Colombiano de Petróleo y a sus profesionales por permitir y apoyar este tipo de actividades en las que nosotros los estudiantes tenemos un contacto real con las aplicaciones de nuestra profesión y por facilitarnos el uso de los programas como Move 2011 y Global Mapper 13, al igual que de información bibliográfica.

Al, PhD Eliseo Tesón, por brindarnos consejos y orientaciones, admirables de sus conocimientos.

Al Profesor MSc Francisco Velandia quien amablemente nos ayudó durante el desarrollo del proyecto.

A todos nuestros Profesores, Amigos y Compañeros quienes nos aconsejaron y enseñaron en cada una de las etapas de nuestra vida universitaria.

A la Universidad Industrial de Santander por ser un espacio de transmisión y generación de conocimiento en el que desarrollamos nuestra formación profesional y además por permitirnos el uso del software ArcGIS 10.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	21
1. LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	22
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
2.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	24
3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	25
4. OBJETIVOS.....	26
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	26
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	26
5. MARCO DE REFERENCIA.....	27
5.1. GEOLOGÍA REGIONAL Y EVOLUCIÓN	27
5.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	28
5.3. ESTRATIGRAFÍA	31
5.3.1. Basamento.....	31
5.3.2. Paleozoico.....	31
5.3.3. Triásico – Jurásico.	32
5.3.4. Cretácico.	32
5.3.5. Paleoceno:	32
5.3.6. Eoceno Superior.....	33
5.3.7. Oligoceno a Plioceno.....	33
6. MARCO TEÓRICO	36
6.1. SECCIONES ESTRUCTURALES BALANCEADAS.....	36
7. METODOLOGÍA	42
8. RESULTADOS	49
8.1 SECCIONES ESTRUCTURALES BALANCEADAS.....	53
8.1.1 Sección (A-A')	54
8.1.2 Sección (B-B'')	59
8.1.3 Sección (C-C'')	64
8.1.4 Sección (D-D'')	69

8.1.5 Sección (E-E'')	74
8.1.6 Sección (F-F'')	79
8.1.7 Sección (G-G'')	84
8.1.8 Sección (H-H'')	89
.....	93
8.1.9 Sección (I-I'')	94
8.1.10 Sección (J-J'')	99
8.1.11 Sección (K-K'')	104
8.2 MODELO GEOLÓGICO 3D	108
9. CONCLUSIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXOS	119

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Metodología empleada en el presente proyecto.	42
Tabla 2: información base para la realización del mapa geológico de la zona y los cortes geológicos.	43
Tabla 3: Información de pozos en base a la cual se determinó el espesor de algunas de algunas formaciones (recopilados en el informe de Reyes et al., 1997).	51
Tabla 4: Descripción de la Sección A-A".....	55
Tabla 5: Descripción de la Sección B-B".....	60
Tabla 6: Descripción de la Sección C-C".....	65
Tabla 7: Descripción de la Sección D-D".....	70
Tabla 8: Descripción de la Sección E-E".....	75
Tabla 9: Descripción de la Sección F-F".....	80
Tabla 10: Descripción de la Sección G-G".....	85
Tabla 11: Descripción de la Sección H-H".....	90
Tabla 12: Descripción de la Sección I-I".....	95
Tabla 13: Descripción de la Sección J-J".....	100
Tabla 14: Descripción de la Sección K-K".....	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localización del área de trabajo con su respectivo mapa geológico; en la leyenda se destaca las edades de las principales unidades cronoestratigráficas. Modificada de Gómez et al., 2007.	22
Figura 2: Localización del área de trabajo (polígono blanco), en el Mapa de Anomalía Magnética de Bouguer de las Cuencas Caguán-Putumayo con relación a la disposición del alto de Florencia (región resaltada por enmallado color negro). (Modificado de Montenegro et al., 2011).	23
Figura 3: Mapa geológico del área de estudio en el que se presentan algunos rasgos estructurales del área donde está ubicado el Alto de Florencia. (Modificado de Rodríguez et al., 2009a).	30
Figura 4: Localización y extensión de las Cuencas Yari-Caguán y Putumayo (región de color morado), en el mapa de Colombia. (Modificado de Higley., 2001.)	34
Figura 5: Columna estratigráfica generalizada de la Cuencas Putumayo, Caguán y Llanos. (Tomado de Rodríguez et al., 2009b).....	35
Figura 6: Ejemplo de una sección estructural balanceada (superior) y retrodeformada (inferior), del fold-and-thrust-belt de la región de Zagros, Irak, en el que se evidencia un acortamiento de 85 Km. (Tomado de Fossen, 2010.)	36
Figura 7: Ejemplo del desarrollo y configuración de fallas en llana (flat) y rampa (ramp). a) corresponde al estado inicial de la secuencia sin deformación. b) es el estado deformado de la secuencia luego de ser comprimido, en donde HW es el bloque colgante y FW es el yacente. c) corresponde al estado deformado luego de extensión (HW es el bloque colgante y FW es el yacente). (Tomado de Richard y Groshong, 2006).	37
Figura 8: Muestra el desarrollo de un Fault-Bent-Folding, así como los ejes de sus flancos (Tomado de Woodward et al., 1985).	38
Figura 9: Muestra el desarrollo de un Fault-Propagation-Folding, así como la configuración de ejes del anticlinal. (Tomado de Woodward et al., 1985).	39
Figura 10: Formación de un pliegue de despegue a partir de una falla que se propaga por la base de la unidad, se evidencia el acortamiento, así como la configuración de los ejes del anticlinal. (Modificado de Poblet y Mclay, 1996).	40
Figura 11: A) ejemplo de falla inversa a partir de la cual se desarrollara la imbricación. B) configuración de un abanico imbricado (ya avanzó la deformación), C) ejemplo de dúplex. (Modificado de Ragan, 2009).	41

Figura 12 : Mapa geológico del área de trabajo en el que se evidencia la ubicación y disposición de las once secciones estructurales (desde la sección A-A" al norte, hasta la K-K" en lo más sur del área de trabajo).....	47
Figura 13: Comparación entre el mapa de la Geología de las planchas 367 Gigante, 386 San Vicente del Caguán, 389 Timaná, 390 Puerto Rico, 414 El Doncello y parte de la Plancha 391 Lusitania (Escala 1:200.000) (Rodríguez et al., 2003) en la parte superior. En la parte inferior se encuentra el mapa de control de campo de un sector de la cuenca del Caguán-Putumayo (Escala 1:50.000) (Rodríguez et al., 2009a). Este análisis fue realizado en el software Global Mapper 13, en donde se muestran como ejemplo las siguientes diferencias: en A) se indica el trazo de la falla Doncello (falla inversa) acorde con la geomorfología, situación distinta en B) (mapa de Rodríguez et al., 2009a) donde la falla Doncello se encuentra trazada más al norte y con una falla adicional que juntas, se encuentran menos acordes con la geomorfología del lugar.	50
Figura 14: Ubicación en el Mapa Geológico de la Sección A-A' y vista representativa de toda su extensión mostrando las regiones que tendrán acercamiento.	54
Figura 15: Acercamiento de la región "1", al NW de la sección A-A" en la que se aprecia la disposición del Gneis de Guapotón delimitado por las fallas de Santa Helena y las Doradas.....	56
Figura 16: Acercamiento de la región "2" en la que se muestra la imbricación existente entre las Fallas San Pedro Central y Oeste; también se aprecian difuminadas las litologías que fueron erosionadas.	57
Figura 17: Acercamiento de la región "3" mostrando el sistema de Fallas del Caguán, así como a la Falla de Paujil la cual pone en contacto a la secuencia sedimentaria con el basamento que en este caso es el Macizo de Garzón.	58
Figura 18: Ubicación de la Sección B-B" en el mapa Geológico y vista de su extensión en la que se destacan las tres zonas de acercamiento.	59
Figura 19: Región "1" en la que se puede ver el trazo de falla que corta al Gneis de Guapotón, además se evidencia el corte de todas las formaciones litológicas por parte de la Falla de Florencia, así como la fosilización de la falla de las Hermosas por parte de la Formación Orteguzza.	61
Figura 20: Región "2" en la que se puede apreciar la imbricación interpretada entre las Fallas San Pedro Central y Este (la imbricación también debe existir con la Falla de San Pedro Oeste pero la unión ocurre a mayor profundidad), así como el trazo de la falla de Río Chiquito. También se muestra como todas las fallas están fosilizadas por la Formación Orteguzza.	62
Figura 21: Acercamiento de la región "3" en el que las Fallas de Doncello y Paujil afectan a toda la secuencia litológica conformada por Basamento, Rumiyaco,	

Pepino y Orteguaza (esta última incluyendo a Intra-Orteguaza de color verde amarillento).....	63
Figura 22: Ubicación de la Sección C-C" en el mapa Geológico y su extensión mostrando las regiones de acercamiento.	64
Figura 23: Región "1" en la que se empieza a notar que las fallas que limitan al Gneis de Guapotón empiezan a estar mas cercanas entre ellas (se aprecia la fosilizacion de las mismas por la Formación Orteguaza). al SE se ve el trazo de la Falla deFlorenia, estructura la cual es considerada como de carácter regional...66	
Figura 24: Acercamiento de la región "2" mostrando las estribaciones norte de la Falla de Brasil (dextral), al SE de esta estructura esta la Falla de las Hermosas (ambas estructuras fuerón fosilizadas por la Formación Orteguaza); la subdivision de la Formación Orteguaza denominada como Intra-Orteguaza se representa como erodada, de color verdeamarillento claro.	67
Figura 25: Región 3 en la que nuevamente se muestra la imbricación entre las Fallas San Pedro Central y Oeste, así como el hecho de que las fallas de Doncello y El Paujil cortan a toda la secuencia litologica del área; además se alcanza a percibir un ligero aumento del grado de inclinacion de las fallas desde el SE hasta el NW.....	68
Figura 26: Ubicación de la Sección D-D" en el mapa Geológico y representación de la misma con tres recuadros de las zonas a destacar.	69
Figura 27: Acercamiento de la Región "1", el Gneis de Guapotón esta siendo limitado en este caso por la Falla 2 y la de las Doradas; se aprecia aflorando parte de la Formación Saldaña entre las Fallas 1 y 2 las cuales son inversas y cuyos buzamientos divergen.....	71
Figura 28: Acercamiento de la región "2" mostrando el trazo de la Falla de Brasil (de rumbo Dextral), como particularidad se aprecia a la Falla de las Hermosas cortando a toda la secuencia sedimentaria (Formaciones Rumiayaco, Pepino, Intra-Orteguaza y Orteguaza).	72
Figura 29: Fallas al SE de la sección todas ellas de carácter inverso y buzando al NW, además se aprecia el desplazamiento de las formaciones que se interpretó de la Falla Doncello.	73
Figura 30: Ubicación de la Sección E-E" en el mapa Geológico con su extensión y representación de los acercamientos.	74
Figura 31: Acercamiento de la región "1" mostrando las Fallas de la 1 a la 5 las cuales se encuentran al sur de la Falla de San Helena; así como la Falla normal que impidio la propagacion de la Formación Saldaña al E y SE; es notoria la union entre las Fallas 2 y de las Doradas que limitan el Gneis de Guapotón el cual sufre disminucion desde el norte (ver secciones anteriores) hacia el sur. Con respecto a	

las demas litologías, se aprecia como las Formaciones Caballos y Hondita Loma-Gorda se acuñan y adelgazan por completo al SE del acercamiento.....	76
Figura 32: Acercamiento región "2" mostrando a las Fallas de Brasil y de las Hermosas; se muestra la ubicación del pozo Aeropuerto-1 mediante el cual se controló los espesores de las Formaciones.....	77
Figura 33: Se muestra la Falla de San Pedro (las tres fallas de San Pedro Oeste, Central y Este finalmente se unen para dar un solo trazo), las Falla de Rio Chiquito y la Falla de Paujil; asi mismo se puede apreciar un ligero aumento en el grado de inclinación de las mismas desde el SE al NW.	78
Figura 34: Ubicación de la Sección F-F" y representación de su extensión.	79
Figura 35: Se aprecia claramente como la Falla Normal (entre las Fallas 1 y 4) trunca la propagación al SE de la Formación Saldaña; en esta región la Secuencia Estratigráfica esta plegada y Fallada; las Formaciones Caballos y Hondita Loma-Gorda se acuñan hacia el SE. El Gneis de Guapotón ha disminuido su espesor.	81
Figura 36: Acercamiento de la Región "2" mostrando la parte superior de la Falla de las Hermosas (la inclinación de la Falla es un poco mayor que a profundidad); el control de los espesores de las Formaciones esta a cargo del pozo Aeropuerto-1.....	82
Figura 37: Acercamiento de la Región "3" mostrando la parte superior de las Fallas San Pedro y Doncello (en la region comprendida entre estas dos estructuras se nota un aumento en el espesor de la Subdivision denominada Intra-Orteguaza). Los espesores de las Formaciones estan controlados por él pozo Montañita-1.....	83
Figura 38: Ubicación de la Sección G-G" en el mapa Geológico y representación de su extensión.....	84
Figura 39: Acercamiento Región "1" mostrando el espacio generado por el actuar de las Fallas 1 y 2 en el cual se depositó y preservó la Formación Caballos (para esta zona no hay indicios de la depositación de la Formación Saldaña).	86
Figura 40: Se aprecia un adelgazamiento de las Formaciones Rumiyaco, Pepino y Orteguaza puesto que el espesor que tienen al SE de la Falla de Florencia, es mayor al que el registra el pozo Turbia-2 (Caballos y Hondita Loma-Gorda desaparecen al NW de la Falla de Florencia).	87
Figura 41: Se aprecia la parte superior de las Fallas San Pedro y Paujil así como una ligera disminución en el espesor de las Formaciones según lo registrado por los pozos Turbia-1 al NW de la imagen y Montañita-1 al SE del actual segmento de la Sección G-G".	88
Figura 42: Ubicación de la Sección H-H" en el mapa Geológico y representación de su extensión, mostrando las tres regiones de acercamiento.	89
Figura 43: Acercamiento de la región "1" mostrando la Falla del Sistema de Borde Amazónico uniendose en profundidad con la Falla de Florencia (que es de	

caracter regional); ademas se aprecia el acuñamiento al SE de la Formación Villeta.....	91
Figura 44: Representación del acercamiento de la región "2" donde se observa en la parte superior de las Fallas de las Hermosas y San Pedro que están fosilizadas por la Formación Orteguzaza; el control de los espesores esta a cargo de los pozos Turbia-2 y Turbia-1.	92
Figura 45: Parte superior de la Falla de Paujil (su grado de inclinación es ligeramente mayor que en una región mas profunda); esta es la falla mas al SE de la sección y se puede ver que corta a toda la secuencia litologica.	93
Figura 46: Ubicación de la Sección I-I" en el mapa Geológico y su esquema, con 3 regiones de acercamiento.....	94
Figura 47: Acercamiento de la Región "1" mostrando las litologías erodadas (Formaciones Caballos, Villeta, Rumiyaco, Pepino y Orteguzaza) y los trazos de las Fallas 6 y 7 las cuales son Inversas Buzando al NW.....	96
Figura 48: Se aprecia el adelgazamiento y acuñamiento de la Formación Caballos y Villeta; también es evidente como el ángulo de inclinación de las Fallas de Florencia y del Sistema de Borde Amazónico es mayor cerca de la superficie que el observado a profundidad.	97
Figura 49: Acercamiento de la región "3 "mostrando la parte superior (mas cercana de la superficie) de las Fallas Las Hermosas, San Pedro Y Paujil (esta ultima no fosilizada por la Formación Orteguzaza). En comparacion con la zona NW de esta sección el grado de erosión no ha sido tan fuerte y las Formaciones aun se preservan.....	98
Figura 50: Ubicación de la Sección J-J" en el mapa Geológico y su representación con tres regiones de acercamientos.	99
Figura 51: Acercamiento de la Región "1" mostrando la parte superior de las Fallas 6 y 7 que afectan a la secuencia (Formaciones Caballos, Villeta, Rumiyaco, Pepino e Intra-Orteguzaza), las cuales finalmente son fosilizadas por la Formación Orteguzaza.....	101
Figura 52: Las Fallas de Florencia y del Sistema del Borde Amazónico están cortando a toda la Secuencia; las Formaciones Caballos y Villeta se adelgazan al SE de la sección.	102
Figura 53: Acercamiento de la región "3" mostrando el trazo de la Falla de las Hermosas que en este caso esta siendo fosilizada por la Formación Orteguzaza; tambien se aprecia la variación en el espesor de la subdivision Intra-Orteguzaza y el adelgazamiento de la Formacion Villeta.	103
Figura 54: Ubicación de la Sección K-K" en el mapa Geológico y el esquema con los acercamientos.....	104

Figura 55: Acercamiento región "1" mostrando la secuencia sedimentaria que fue erodada (parte del Basamento y Formaciones Caballos, Villeta, Rumiyaco, Pepino y Orteguaza) y la afectación que las fallas 6 ,7 y Florencia genera en estas (la Falla de Florencia es la única en esta zona que no es fosilizada por la Formación Orteguaza).....	106
Figura 56: Se muestra la parte superior de la Falla del Sistema del Borde Amazónico (en donde la inclinación de la falla es mayor), además se aprecia como las Formaciones Caballos y Villeta se adelgazan y acuñan hacia el SE (zona resaltada por elipse azul), el control de los espesores de las Formaciones esta a cargo del Pozo Mandarinina-1.....	107
Figura 57: Modelo Geológico 3D realizado en base a las secciones estructurales, mostrando la configuración de las principales fallas (color rojo) y ubicación de las secciones.....	109
Figura 58: Modelo 3D mostrando la disposición del basamento (superficie color fucsia) y las Fallas que lo afectan (en color rojo); además se hace muestra la distribución de la Formación Saldaña desde una vista en planta (color aguamarina).....	110
Figura 59: Modelo 3D mostrando la disposición tentativa de la Formación Caballos (en color verde); se representa un imagen de perfil con el Basamento (color fucsia) y la Formación Caballos siendo cortadas por las Fallas 7, Florencia y del Sistema de Borde Amazónico.....	111
Figura 60: Modelo 3D mostrando A) la depositación hasta la Formación Rumiyaco (color naranja), B) acercamiento y vista de perfil mostrando el acuñamiento y adelgazamiento de las Formaciones Caballos (color verde claro) y Villeta (color verde oscuro). C) vista de perfil de misma zona de la Figura "B" pero con la depositación de la Formación Pepino (color amarillo).	112
Figura 61: Modelo 3D mostrando A) la ubicación de las Fallas de Florencia, Borde Amazónico, 6 y 7 al igual que el Pozo Mandarinina-1, y la fosilización de las Fallas 6 y 7 por la Formación Orteguaza (color crema), B) Representación de la Topografía con las Formaciones Orteguaza (color crema), IntraOrteguaza (color Amarillo verdoso), Pepino (color amarillo), Rumiyaco (color naranja), Villeta (color verde oscuro) y Caballos(color verde claro).	113

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. MAPA GEOLÓGICO DE FLORENCIA, CAQUETÁ-COLOMBIA Y SUS ALREDEDORES.	119
ANEXO B. SECCIONES ESTRUCTURALES BALANCEADAS.	119
ANEXO C. MODELO GEOLÓGICO EN 3D DEL ÁREA DE TRABAJO.....	119

RESUMEN

TITULO: Análisis estructural del Alto de Florencia en cercanías al Macizo de Garzón, Caquetá, Colombia*.

AUTORES: Cesar Eduardo Herrera Quintero
Jean Paul Díaz Maldonado **

PALABRAS CLAVE: Geología Estructural, Sección Geológica Balanceada, Modelo Geológico 3D.

DESCRIPCIÓN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de conocer la configuración geológico-estructural del alto de Florencia al este del Macizo de Garzón. se inició con la compilación y digitalización del mapa geológico del área, con ayuda de los software ArcGIS 10 y Global Mapper 13; a partir de dicho mapa se desarrollaron once Secciones Geológicas Balanceadas, con el uso del software Move 2011; secciones en las que se incluyó información de pozos y de datos estructurales de rumbo e inclinación de los estratos; para así durante la etapa final desarrollar un Modelo Geológico en 3D en el que se compiló toda la información obtenida, mostrando la posible disposición de las fallas y demás estructuras geológicas presentes.

A partir de lo anterior fue posible concluir que la región analizada está dominada por fallas inversas y de alto ángulo, las cuales buzan al NW, dispuestas predominantemente sobre el Macizo de Garzón hacia el norte y afectando a la secuencia sedimentaria hacia el centro y el sur-oeste del área de trabajo; todas ellas correspondiendo a un régimen compresivo con dirección general NW-SE.

*Trabajo de grado

**Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Geología. Director Geólogo Rolando Ramírez. Codirector Geólogo PhD. Eliseo Tesón del Hoyo.

ABSTRACT

TITLE: Structural analysis of the Florencia's Hight near to the Garzón's Massif, Caquetá, Colombia.*

AUTHORS: Cesar Eduardo Herrera Quintero
Jean Paul Diaz Maldonado **

KEYWORDS: Structural Geology, Geological Section Balanced, 3D Geological Model.

DESCRIPTION

The present study was conducted to know the geological-structural configuration of the Florencia's Hight to the east of the Garzón's Massif. it began with the compilation and digitization of the geological map of the area, using the ArcGIS 10 and Global Mapper software; from that map eleven Geological Sections Balanced, using the Move 2011 software were developed; sections in which well information and structural data thumb and inclination of the strata was included; in this way during the final stage, develop a 3D Geological Model in which all information obtained was compiled, showing the results similarly to the true disposition of the faults and others geological present structures.

From the above was possible to see that the analyzed region is dominated by inverse and high angle faults, which dip to the NW, disposed predominantly in the Massif Garzón towards the north and affecting the sedimentary sequence toward the center and southwest of the work area; all of them corresponding to a compressive regime generally NW- SE direction.

*Degree Project

**Faculty of Physical and Chemistry Engineering's. School of Geology. Director Geologist Rolando Ramírez. Sub-Director Geologist PhD. Eliseo Tesón del Hoyo.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la configuración estructural detallada del alto de Florencia en cercanías al Macizo de Garzón es un aspecto de relevancia para los procesos exploratorios que se adelantan en la zona, al establecer la disposición y arquitectura de esta parte de la Cuenca (Yarí-Caguán), la cual tiene numerosos rezumaderos de hidrocarburos en cercanías a la ciudad de Florencia.

Con el presente informe se pretende mostrar la configuración geológico-estructural de dicha región del departamento de Caquetá, mostrando los resultados de la digitalización del mapa geológico a partir de la integración cartográfica de mapas existentes (mapa Geológico Área Florencia (Escala 1:25.000) (GRP-Ecopetrol, 2013), el mapa de control de campo de un sector de la cuenca del Caguán-Putumayo (Escala 1:50.000) (ANH, 2009) y el mapa de la Geología de las planchas 367 Gigante, 386 San Vicente del Caguán, 389 Timaná, 390 Puerto Rico, 414 El Doncello y parte de la Plancha 391 Lusitania (Escala 1:200.000) (Ingeominas del 2003)); se realizaron once secciones estructurales balanceadas en las que se usó información de pozos (Aeropuerto-1, Turbia-1, Turbia-2, Montañita-1 y Mandarina-1, recopilados en el informe de Reyes et al., 1997) y de inclinaciones; finalmente se hizo un modelo estructural 3D en el que se extrapola la información de las secciones estructurales y del mapa realizado procurando una mejor representación de la configuración interpretada de la información obtenida.

1. LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La zona de trabajo corresponde a una región del alto de Florencia ubicada en cercanías al Macizo de Garzón, al este de la Cordillera Oriental. Este alto estructural se encuentra ubicado cerca de la margen NE de la cuenca Putumayo y al SW de la cuenca Yarí-Caguán; parte de su área de propagación está incluida en las Planchas 389, 390, 413 y 414 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi Escala 1:100.000; La Figura 1 muestra la zona de estudio la cual se localiza en el departamento del Caquetá.

Figura 1: Localización del área de trabajo con su respectivo mapa geológico; en la leyenda se destaca las edades de las principales unidades cronoestratigráficas. Modificada de Gómez et al., 2007.

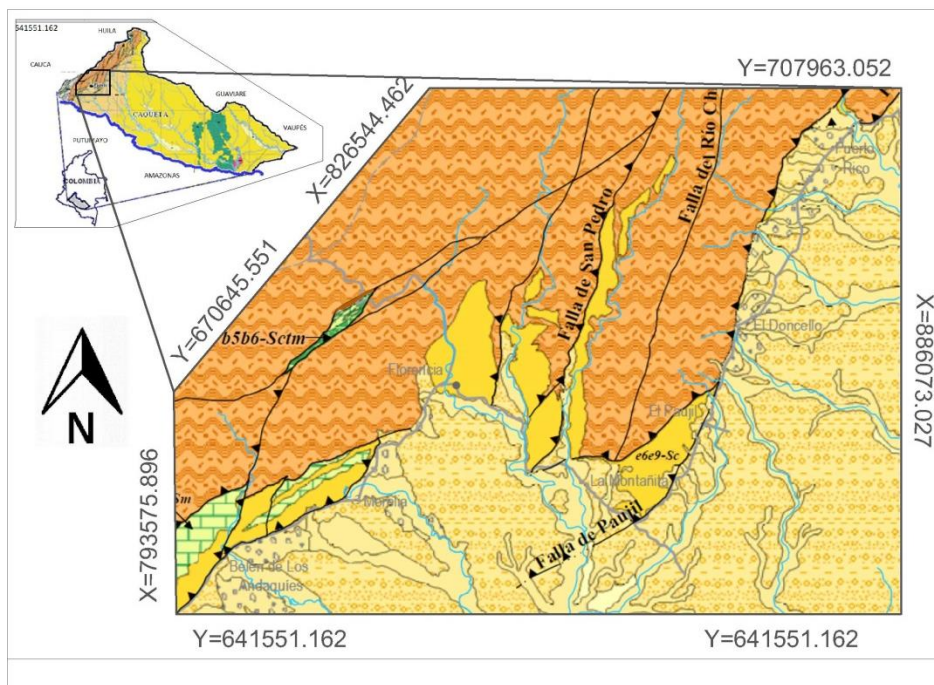
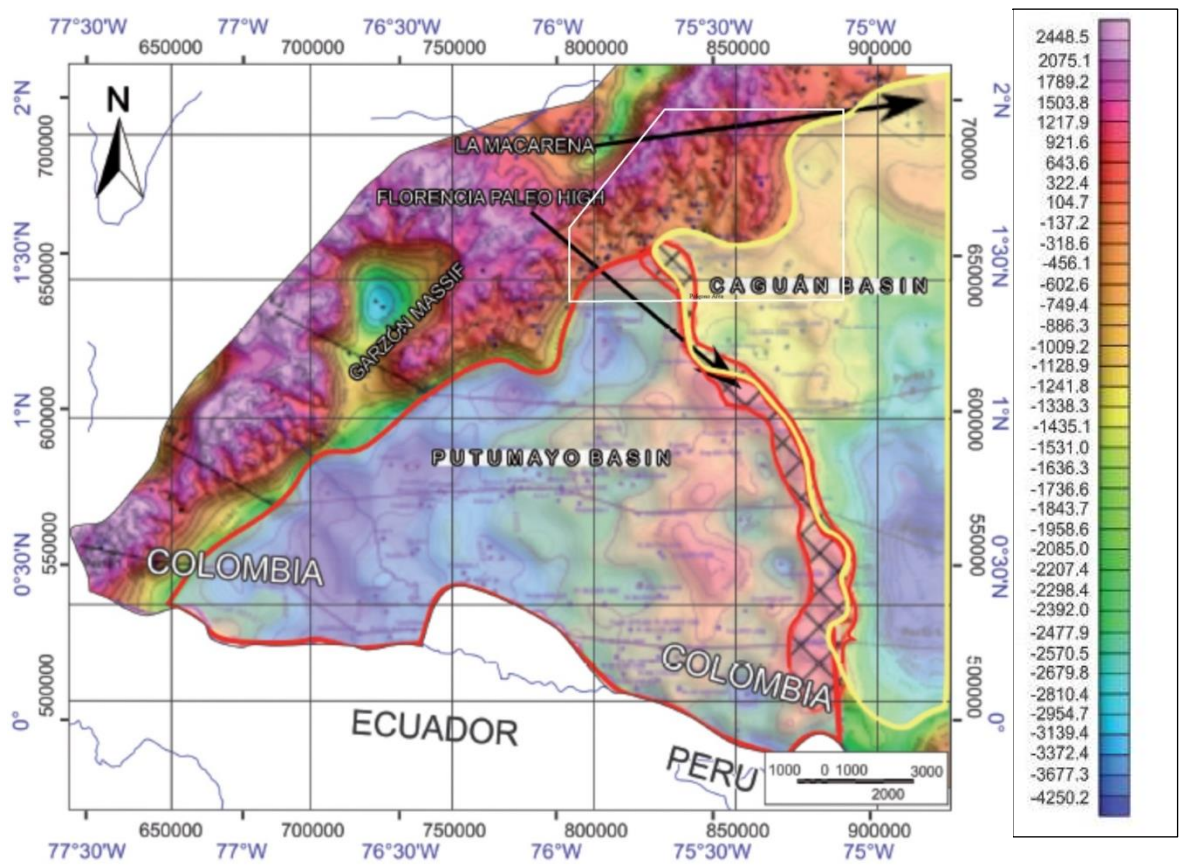


Figura 2: Localización del área de trabajo (polígono blanco), en el Mapa de Anomalía Magnética de Bouguer de las Cuencas Caguán-Putumayo con relación a la disposición del alto de Florencia (región resaltada por enmallado color negro). (Modificado de Montenegro et al., 2011).



2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Alto de Florencia es una zona ubicada al sur de la Cuenca Yará-Caguán con interés exploratorio dada la presencia de rezumaderos (oil seeps) ,así como la cercanía a cuencas conocidas y productoras como la de Putumayo (al sur); en base a esto uno de los primeros elementos a definir en pro de su explotación es la identificación de su configuración geológica y estructural, que de forma general se sabe es el resultado de la superposición de al menos dos estilos estructurales; uno de mayor magnitud que es un fault-bend-fold con vergencia al este y un segundo evento que generó fallas inversas que buzcan al oeste, las cuales están sobre los pliegues originados en el primer evento (Reyes et al., 1997); Aunque desde el punto de vista regional esta información es importante, este trabajo pretende servir como aporte al conocimiento detallado de las características estructurales del Alto de Florencia y que contribuya a los proyectos exploratorios presentes en las zonas de interés.

2.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo es la configuración y estilo estructural del Alto de Florencia al oriente del Macizo de Garzón?

¿Cuáles son las estructuras geológicas del alto de Florencia que se consideran como atractivas desde el punto de vista exploratorio para hidrocarburos?

3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La configuración estructural del Alto de Florencia en la Cuenca Yará-Caguán está relacionada a un frente de deformación oblicuo que puede ser producto de la superposición de dos eventos tectónicos; uno de ellos correspondiente a deformación de tipo piel gruesa (thickskinned), cuyo empuje proviene desde el oeste, generando una configuración de fault-bend-fold con vergencia al este; a partir de la cual y como segundo método de propagación del acortamiento se desarrollan fallas de retrocabalgamiento imbricadas de tipo piel delgada (thinskinned), las cuales buzcan al este con vergencia al oeste.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la configuración estructural del Alto de Florencia por medio del análisis geométrico de unidades estratigráficas y la construcción de secciones estructurales en alrededores de Florencia.

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a. Consolidar la información cartográfica existente mediante la construcción de un mapa geológico que comprenda la región del alto de Florencia en la cuenca Yará-Caguán.
- b. Construir once secciones estructurales balanceadas en base a la cartografía geológica unificada del alto de Florencia.
- c. Desarrollar un modelo Geológico 3D en base a las secciones estructurales balanceadas en el que se muestre la configuración y geometría de las estructuras geológicas (pliegues, Fallas, etc.) presentes en el área de trabajo.

5. MARCO DE REFERENCIA

En el marco de referencia se representan tres subcapítulos que especifican los aspectos geológicos importantes del área de estudio dentro de los cuales se indican algunas características de la Cuenca Yarí-Caguán y del sector del Alto de Florencia, estos subcapítulos son: geología regional y evolución, geología estructural y estratigrafía.

5.1. GEOLOGÍA REGIONAL Y EVOLUCIÓN

La región noroeste de Suramérica ha sido deformada por la convergencia de las placas de Nazca y Caribe, las cuales subducen bajo la placa continental suramericana (Taboada et al., 2000), creando de este modo los sistemas de Cordilleras de Colombia: Occidental, Central y Oriental (Cooper et al., 1995 y Taboada et al., 2000).

El basamento cristalino de la Cuenca Yarí-Caguán, está compuesto por neises, cuarcitas, y diques pegmatíticos, lo cual es característico del Proterozoico y se presenta en el Macizo de Garzón, como en el Cratón Amazónico; Suprayaciendo este basamento se encuentra rocas sedimentarias correspondientes al Paleozoico inferior (Reyes et al., 1997) presentando una apariencia arenosa y con impregnaciones locales de hidrocarburos, estos sedimentos se reportan con cierto metamorfismo hacia la zona norte de la Serranía de la Macarena. Seguidamente aparecen vulcanitas rojas del Triásico-Jurásico acompañadas de eventos de rifting (Etayo et al., 1983; Fabre., 1987; Pindell., 1993; Cooper et al., 1995, en, Reyes et al., 1997).

Los eventos de rifting continuaron durante el Cretácico Inferior en la Cordillera Oriental (al norte de la Macarena), aunque allí, y para este tiempo, se ha postulado una cuenca localizada detrás de un arco magmático (back - arcbasin) relacionada con subducción al oeste de Colombia (Fabre., 1987; Cooper et al., 1995, en, Reyes et al., 1997). Probablemente estos eventos no afectaron directamente, sino

marginalmente al área de Yará-Caguán, que permaneció emergida a juzgar por la ausencia de registro sedimentario de ésta edad (Reyes et al., 1997)

El levantamiento de la Cordillera Central propició cuencas de Foreland hacia la zona de la Cordillera Oriental y las cuencas del Putumayo y Llanos (Gómez et al., 2005), pero de manera general en la Cuenca Yará-Caguán solo se depositaron sedimentos hacia el Eoceno, los cuales suprayacen el basamento cristalino y las rocas del Paleozoico (Reyes et al., 1997). Los depósitos del Eoceno y del Oligoceno fueron cubriendo sucesivamente el cratón hacia el este en las Cuencas de Llanos, Putumayo y Yará-Caguán (Cooper et al., 1995; Bayona et al., 2008).

5.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

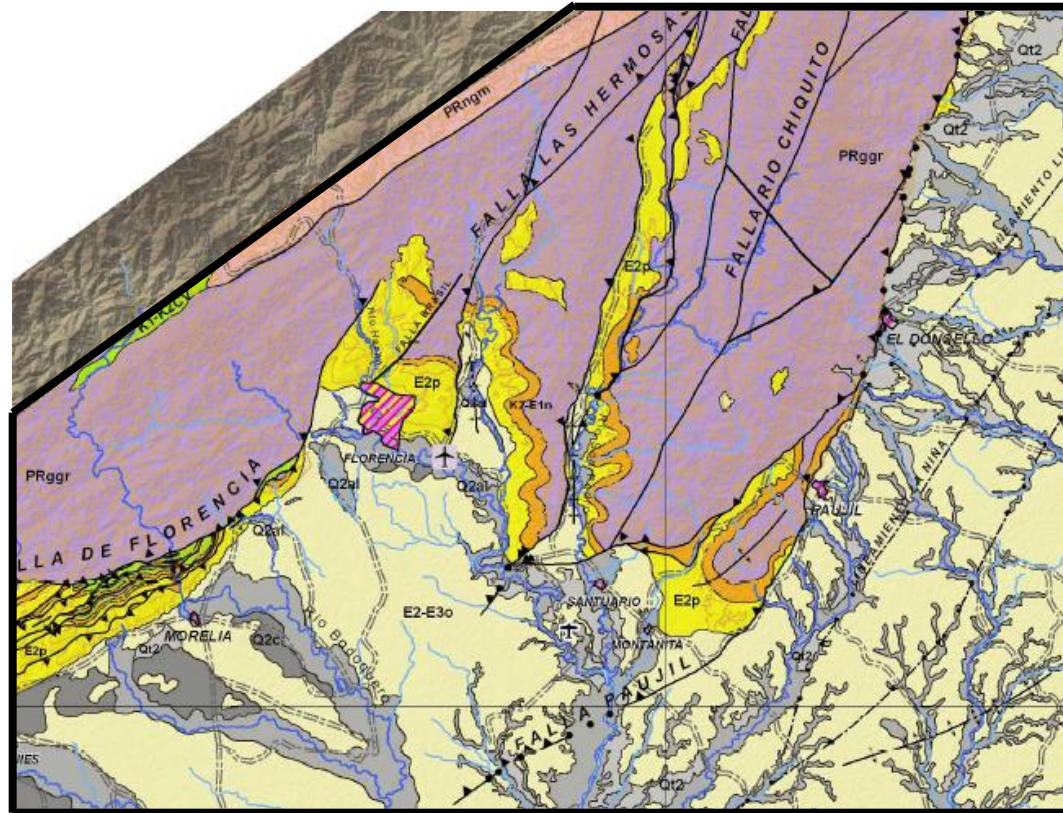
Desde un punto de vista regional existen grupos de fallas, unas inversas subverticales y normales fosilizadas en el Cretácico, otras que fueron fosilizadas en el Paleógeno y finalmente fallas inversas subverticales que buzán al oeste las cuales afectan toda la secuencia litológica (Reyes et al., 1997).

Dentro de las direcciones preferenciales de las fallas y estructuras geológicas, en la cuenca Yará-Caguán, se pueden destacar tres rumbos principales; uno de ellos es el NE-SW y las estructuras que lo tienen están ubicadas hacia el este y son paralelas a la cordillera oriental, predominando en la zona de Florencia, estas fallas cortan otro grupo de estructuras con dirección NW-SE (a N-S) que son comunes en los alrededores de la Serranía de la Macarena limitándola al este y oeste, y que son menos evidentes en la zona de trabajo; finalmente está la dirección este-oeste con algunas fallas con componente de rumbo, producto de un evento más reciente que desplazó algunas fallas, entre ellas las de dirección NE-SW; éstas estructuras no son fácilmente identificables en la zona de trabajo presentándose como ligeros lineamientos y controlando algunos cursos de agua (Reyes et al., 1997).

Los rasgos estructurales presentes en el alto de Florencia escritos de oeste a este son:

Las estribaciones norte de la falla de Florencia la cual es inversa buzando al oeste, la Falla de las Hermosas con similar comportamiento, la Falla de Brasil de menor extensión y comportamiento de rumbo, seguidas por la zona más sur de las Fallas de San Pedro y la Falla de Rio Chiquito; en la región más este se encuentra el anticlinal Montañita y la Falla Paujil luego de la cual hay disminución en la presencia de grandes estructuras predominando lineamientos como el de Lusitania y la Niña en dirección NE-SW (Rodríguez et al., 2009a). (Ver Fig. 3)

Figura 3: Mapa geológico del área de estudio en el que se presentan algunos rasgos estructurales del área donde está ubicado el Alto de Florencia. (Modificado de Rodríguez et al., 2009a).



Q2al	Depósitos Aluviales.	E2-E3o	Formación Orteguaza.	K1-K2cV	Formaciones Caballos- Villeta.
Q2c	Depósitos Coluviales.	E2p	Formación Pepino.	PRggr	Complejo Garzón.
Q12	Terrazas Medias.	K2-F1n	Formación Neme.	PRngm	Neis de Guapotón.

Es importante mencionar que a pesar de que la zona de estudio presenta estructuras que corresponderían a régimen compresivo desde un punto de vista local, esto puede variar si se toma en cuenta estructuras geológicas regionales que estén cerca, como es el caso del sistema de fallas de Algeciras el cual se encuentra hacia el NW de la actual zona de estudio, propagándose al norte con azimut NE, próximo a lo que sería la región oeste del macizo de Garzón y extendiéndose al sur con este mismo azimut hasta llegar al ecuador; el comportamiento del sistema de fallas en mención es predominantemente dextral (Velandia et al., 2005), lo que pudo otorgar componente de rumbo a algunas estructuras geológicas de la zona de análisis, pero sin certeza alguna.

5.3. ESTRATIGRAFÍA

En general las unidades sedimentarias en la Cuenca Yarí-Caguán se adelgazan hacia el este en dirección del Cratón Amazónico. Reyes et al., (1997) estima que el espesor sedimentario en la Cuenca está compuesto por sedimentos de edad Paleozoica hasta el reciente mencionando que éste es muy variable llegando hasta más de 4.800 m en el sector de La Uribe. A continuación se describirán las litologías de las unidades más comunes en la Cuenca:

5.3.1. Basamento: El basamento está representado por rocas del Cratón Amazónico, que hacen parte del terreno Caquetá-Amazonas (Etayo et al., 1983). El basamento se compone de rocas intrusivas y rocas metamórficas de bajo grado (Reyes et al., 1997).

5.3.2. Paleozoico: Las rocas Paleozoicas en la cuenca se observan al norte de la misma en cercanías a la Serranía de la Macarena, presentando espesores variables en los que se puede observar un adelgazamiento hacia el este; en el sector de La Uribe se calcula a partir de sísmica un espesor cercano a los 3.048 m (Reyes et al., 1997).

5.3.3. Triásico – Jurásico: Aunque la presencia de litologías de estos periodos, no está tan evidente dentro de la Cuenca, y no se observa ninguna secuencia sísmica que pueda interpretarse de esta edad; se sabe de la presencia de la formación Saldaña sobre el macizo de Garzón al sur del neis de Guapotón, constituida por una secuencia volcanosedimentaria de arenitas arcósicas a líticas, que son levemente conglomeráticas con clastos subangulares que puede presentar intercalaciones delgadas de arcillolitas y en menor proporción de andesitas (Gómez et al., 2007).

5.3.4. Cretácico: En la zona al sur del Alto de Florencia se reportan rocas desde el Aptiano hasta el Campaniano, representando tres ciclos sedimentarios principales (Beicip., 1988, en Reyes et al., 1997).

- Aptiano: se da un ciclo transgresivo que correspondería al depósito de areniscas principalmente estuarinas de la Formación Caballos la cual es un importante reservorio en la cuenca del Putumayo.

- Albiano: desde ésta edad hasta el Campaniano se genera una plataforma calcárea, que corresponde a los depósitos inferiores de la Formación Villeta.

- Campaniano: se tiene un ciclo regresivo con depósitos de mar restringido y areniscas deltaicas y estuarinas correspondientes a la parte superior de la Formación Villeta.

En general los sedimentos del Cretácico de la Cuenca Yarí-Caguán son bastante arenosos e incluyen rocas desde el Albiano hasta el Campaniano en el sector de La Uribe y del Coniaciano hasta el Santoniano en el norte de la Serranía de la Macarena (Grupo Macarena) (Reyes et al., 1997).

5.3.5. Paleoceno: Reyes et al. (1997), menciona la presencia de rocas correspondientes a esta edad hacia el sur de la zona de Florencia pertenecientes a las Formaciones Neme y Rumiaco las cuales se acuñan hacia el Alto de

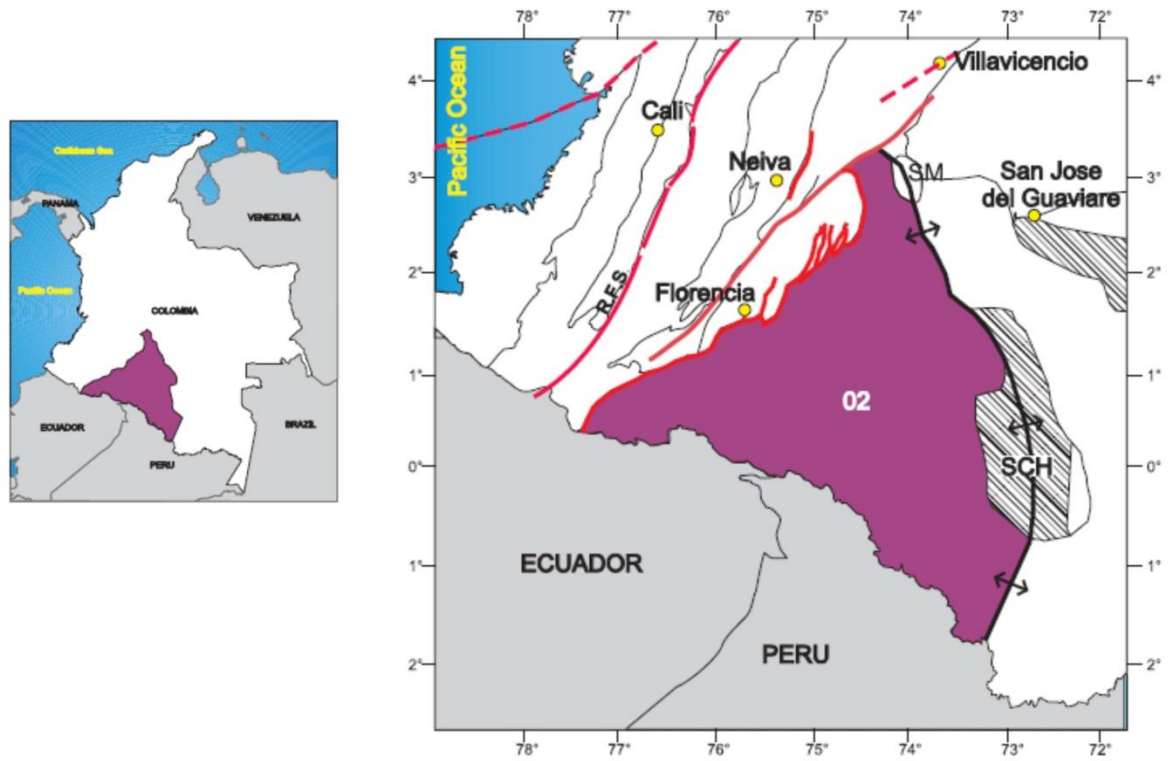
Florencia. La primera de estas está compuesta por conglomerados y areniscas conglomeráticas relacionadas con la reactivación del levantamiento del paleoalto de Florencia, la Formación Rumiyaco constituía por sedimentos de ambiente transicional (Reyes et al., 1997).

5.3.6. Eoceno Superior: Las rocas del Eoceno están representadas por las siguientes unidades: Formación Pepino (Cuenca del Putumayo y sur de la Cuenca de Yarí-Caguán), Formación Losada (sur de la Macarena) y Formación Mirador (Cuenca de los Llanos y norte de Yarí-Caguán); Generalmente las Formaciones están constituidas por areniscas localmente lodosas y conglomeráticas, de grano medio a grueso con moderada selección. Pueden presentar también areniscas lodosas con granos subangulares a angulares y están relacionadas con ambientes fluviales o de llanura costera (Reyes et al., 1997).

5.3.7. Oligoceno a Plioceno: Las formaciones de esta edad están representadas en general por depósitos de grano muy fino.

La Formación Orteguzza de edad Oligoceno presenta arcillolitas y limolitas rojo violáceo y verde, intercaladas con niveles de areniscas arcillosas con estratificación cruzada y cantidades de cintas de carbón (Reyes et al., 1997). Para el Mioceno inferior se tiene la Formación Arrayán hacia el sector de la Uribe, cambiando de nombre a Grupo San Fernando hacia la Serranía de la Macarena, y equivalente a las Formaciones Carbonera y León de la Cuenca de los Llanos. Su litología es muy similar a la Formación Orteguzza presentando también shales grises oscuros intercalados con areniscas lodosas blancas, relacionada con un ambiente fluvio-lacustre (Reyes et al., 1997).

Figura 4: Localización y extensión de las Cuencas Yari-Caguán y Putumayo (región de color morado), en el mapa de Colombia. (Modificado de Higley., 2001.)



 Rocas sedimentarias Paleozoicas Formando un alto estructural.

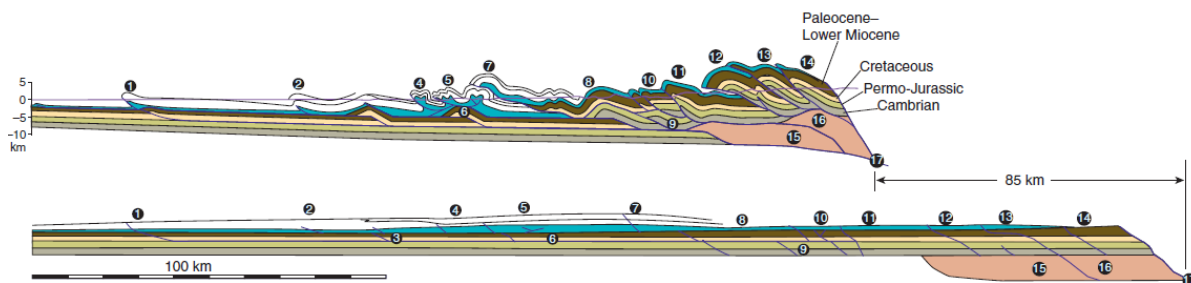
 Alto de basamento.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. SECCIONES ESTRUCTURALES BALANCEADAS

Se trata de cortes geológicos en los cuales se muestra la configuración estructural de alguna zona (litologías presentes, fallas y estructuras, etc.) de tal forma que al retrodeformarlos se conserven cualidades como espesor de estratos y longitud de los mismos, así como su área o el volumen que ocupan; no se pueden considerar como representaciones literales de la realidad, pero son de gran importancia ya que permiten una mejor interpretación estructural, mostrando la relación geológicamente razonable entre un estado inicial sin deformación hasta la configuración actual; además sirven como soporte para la estimación de cálculos de deformación tales como el acortamiento o estiramiento que sufre una sección o corte (Fossen, 2010). (Fig.5).

Figura 6: Ejemplo de una sección estructural balanceada (superior) y retrodeformada (inferior), del fold-and-thrust-belt de la región de Zagros, Irak, en el que se evidencia un acortamiento de 85 Km. (Tomado de Fossen, 2010.)

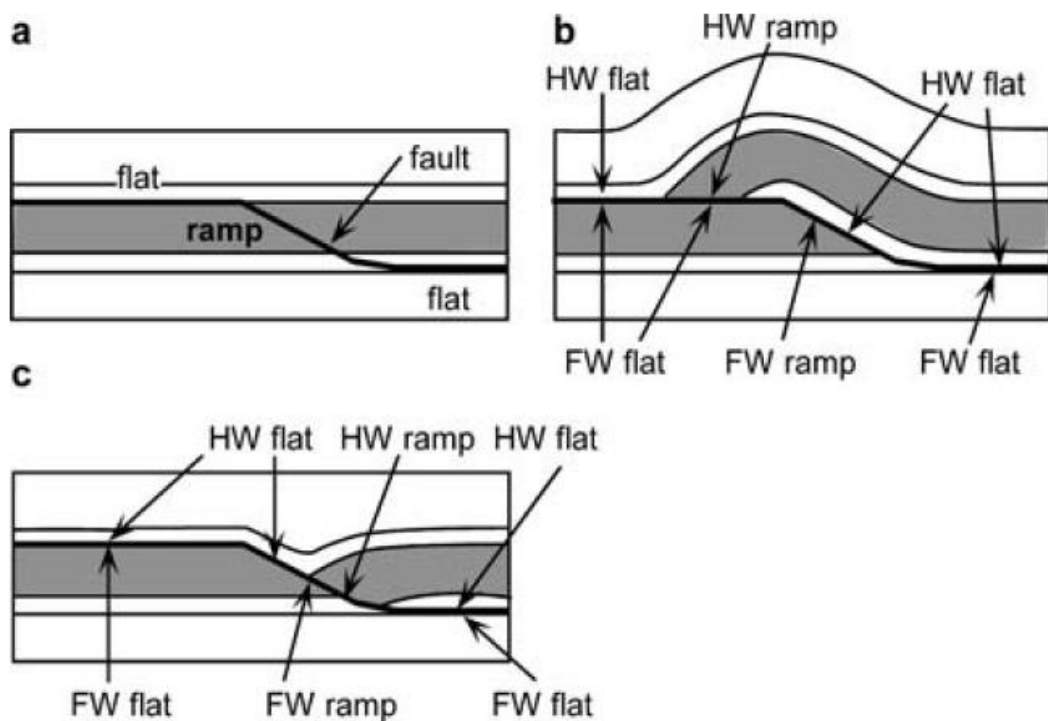


En una sección balanceada es importante tener en cuenta que ésta debe ser retrodeformable para que se pueda considerar como tal, lo cual implica que en el estado inicial (sin deformación) las capas deben estar horizontalizadas y los bloques de las fallas no pueden tener solapamientos o espacios entre ellos; además se debe reconocer que a partir de un mismo grupo de datos estructurales se puede obtener más de una interpretación o sección balanceada, por eso es

importante basar el modelo en la mayor cantidad de información existente cumpliendo conceptos estructurales.

Al momento de realizar un perfil geológico balanceado es importante analizar como es el sentido de propagación de la deformación (la vergencia de los rasgos estructurales), así como el desarrollo de las estructurales tales como las rampas o superficies inclinadas y de llanas o superficies planas (Fig. 5) las cuales son fallas inversas o normales con disposición escalonada en las que hay fracturamiento paralelo al horizonte estratigráfico (llanas) seguido por otro llamado rampas en donde los estratos son cortados oblicuamente en la según la dirección de aplicación del esfuerzo.

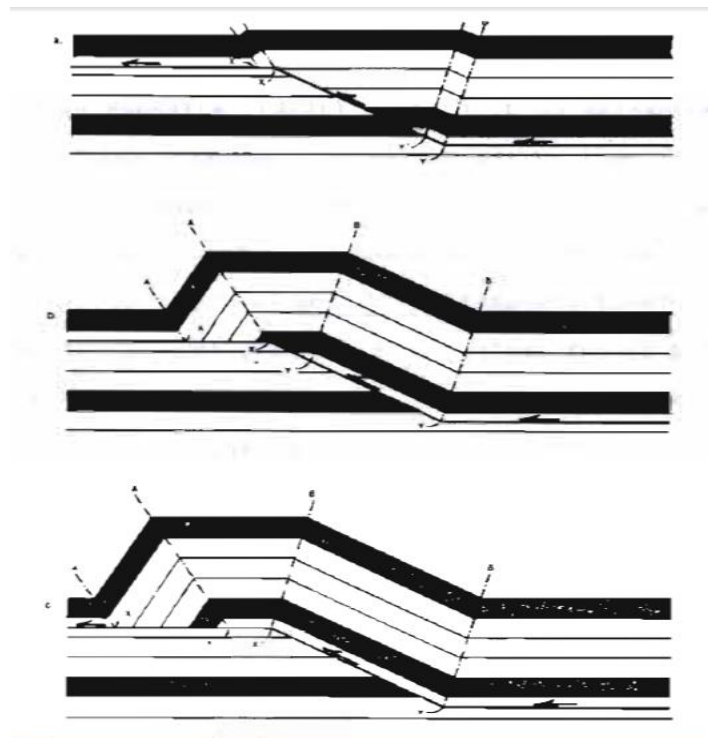
Figura 7: Ejemplo del desarrollo y configuración de fallas en llana (flat) y rampa (ramp). a) corresponde al estado inicial de la secuencia sin deformación. b) es el estado deformado de la secuencia luego de ser comprimido, en donde HW es el bloque colgante y FW es el yacente. c) corresponde al estado deformado luego de extensión (HW es el bloque colgante y FW es el yacente). (Tomado de Richard y Groshong, 2006).



Una sección estructural balanceada tiene como objetivo principal la identificación de los mecanismos que expliquen la actual configuración estructural de una zona, por esta razón es importante conocer los principales mecanismos de plegamiento entre los que se encuentran:

-Fault Bent Folding (pliegue por flexura de falla): es el plegamiento del bloque colgante que se desplaza sobre una superficie de falla no horizontal, la cual es producto de un gran salto con desprendimiento oblicuo de la secuencia litológica, bajo un régimen compresivo (Woodward et al., 1985).

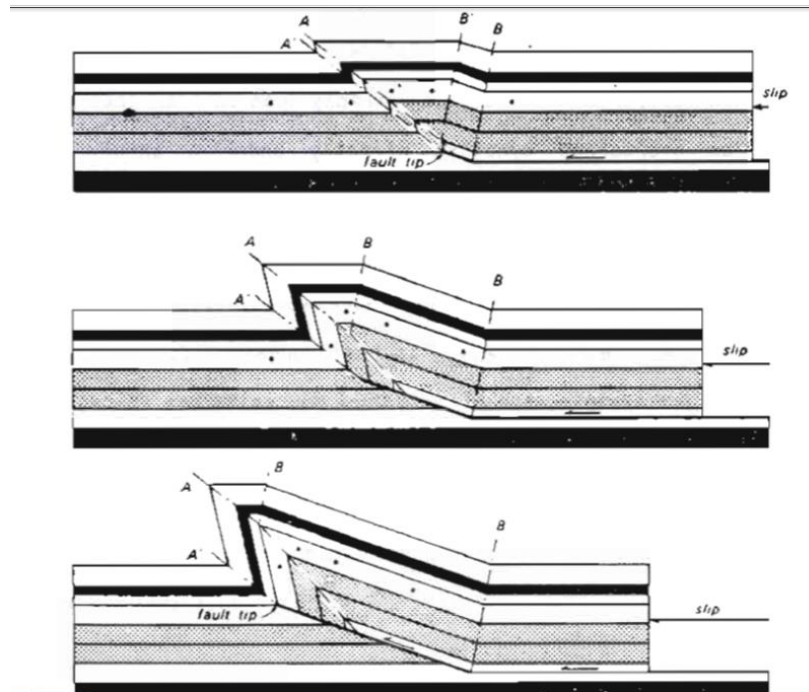
Figura 8: Muestra el desarrollo de un Fault-Bent-Folding, así como los ejes de sus flancos (Tomado de Woodward et al., 1985).



-Fault-propagating-folding (pliegue por propagación de falla): hace referencia a plegamientos formados en la parte superior de una falla de empuje, en donde las estructuras generadas son principalmente anticlinales fuertemente asimétricos, en los que se pueden generar volcamientos o inversión de los estratos en el flanco más cercano al plano de falla; este tipo de estructuras se diferencian de los Fault-

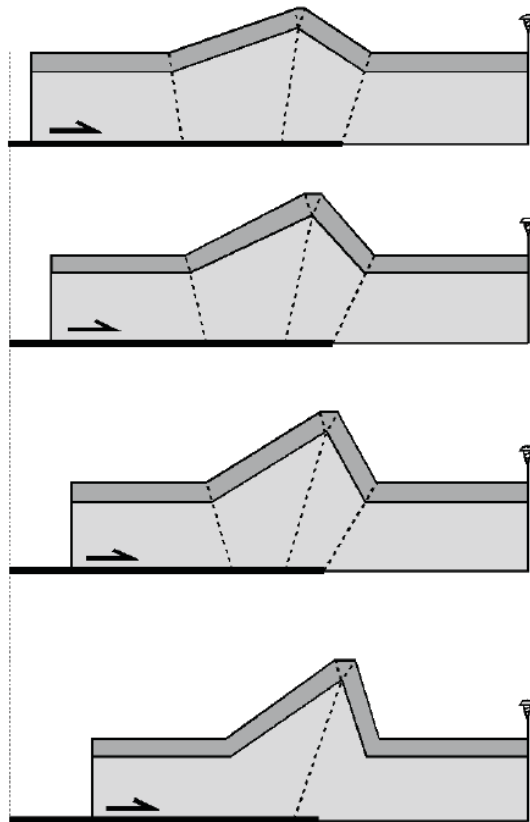
bentfolding en que al momento de repetir secuencia , el volcamiento del anticlinal es el responsable, y no la propagación de la falla como en los Fault-Bent-Folding. (Woodward, Boyer, Supe. 1985). (Fig.7).

Figura 9: Muestra el desarrollo de un Fault-Propagation-Folding, así como la configuración de ejes del anticlinal. (Tomado de Woodward et al., 1985).



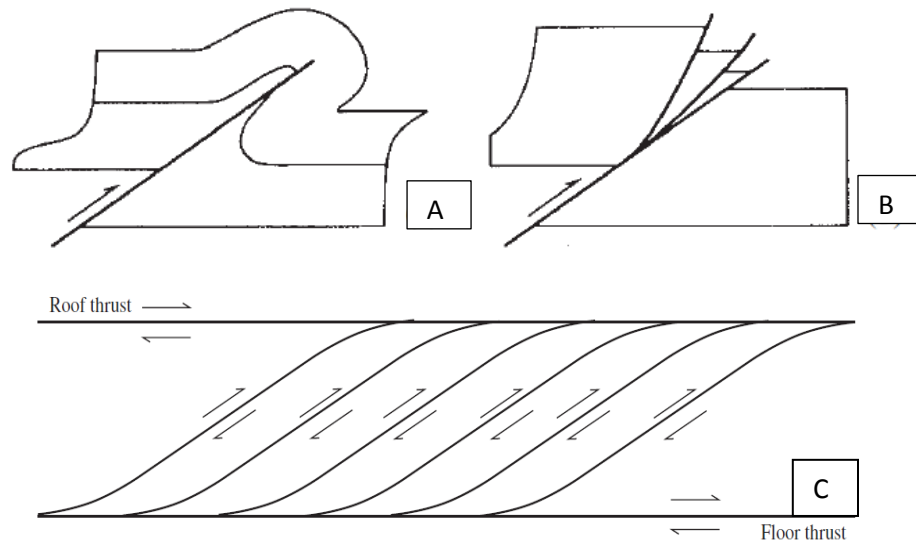
-Decollement Buckling (o pliegue de detachment): ocurre cuando en un régimen compresivo, la secuencia sedimentaria tiene una litología o superficie de menos resistencia a partir de la cual se desarrolla un despegue que con el actuar de la deformación produce un pliegue que generalmente es de tipo anticlinal. (Woodward, Boyer, Supe. 1985).

Figura 10: Formación de un pliegue de despegue a partir de una falla que se propaga por la base de la unidad, se evidencia el acortamiento, así como la configuración de los ejes del anticlinal. (Modificado de Poblet y Mclay, 1996).



Dado que las secciones estructurales balanceadas deben conservar el área de las litologías es común encontrar en ellas, fallas que ayudan al engrosamiento y acortamiento de la secuencia, las cuales pueden estar configuradas típicamente como abanicos imbricados o dúplex entre otros. (Woodward, Boyer, Supe. 1985) (Fig.9); de esta misma forma es importante tener siempre en cuenta que no todas las estructuras presentes en un corte geológico afloraran, por esta razón se debe combinar información geológico-estructural extraída de mapas con otras fuentes como los perfiles sísmicos, datos de pozos, registros de pozos, entre otros.

Figura 11: A) ejemplo de falla inversa a partir de la cual se desarrollara la imbricación. B) configuración de un abanico imbricado (ya avanzó la deformación), C) ejemplo de dúplex. (Modificado de Ragan, 2009).



7. METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizará en cuatro fases las cuales comprenden desde la búsqueda y manejo inicial de la información, incluyendo el análisis y uso subsecuente de los resultados según cada etapa, hasta la realización de los perfiles geológicos (tabla 1)

Tabla 1: Metodología empleada en el presente proyecto.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ALTO DE FLORENCIA EN CERCANÍAS CON EL MACIZO DE GARZÓN, CAQUETA, COLOMBIA.				
FASE	1	2	3	4
CONSTRUCCION.	Recopilación de la información.	Unificación de la información geológica y cartográfica.	Ubicación, Desarrollo y balanceo de perfiles geológicos.	Análisis, conclusiones y presentación de resultados.
RESULTADOS	Base de datos con los mapas geológicos existentes del alto de Florencia en cercanías al macizo de garzón.	Mapa geológico estructural del alto de Florencia en cercanías al macizo de garzón.	Once secciones estructurales balanceadas.	Analizar las secciones estructurales realizadas, interpretando el estilo estructural reinante y definir conclusiones.

FASE 1: Recopilación de la información

Búsqueda en medios físicos y virtuales entre ellas las bases de datos de la Universidad Industrial de Santander, el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP-ECOPETROL S.A.) y el Servicio Geológico Colombiano, de toda la información geológica referente al Alto de Florencia, artículos, tesis, perfiles sísmicos, información de pozos etc. Con especial importancia en los mapas geológicos

existentes y toda fuente que nos permitiese el conocimiento de la configuración estructural de la zona, (litologías presentes, sus espesores, geometría y datos estructurales, etc.)

Como resultado principal de esta fase se obtiene la siguiente información cartográfica, la cual es indispensable para el desarrollo de la fase 2:

Tabla 2: información base para la realización del mapa geológico de la zona y los cortes geológicos.

TIPO DE DOCUMENTO	NOMBRE	ESCALA	AUTOR	AÑO	FORMATO	FUENTE
MAPA	MAPA GEOLÓGICO DE COLOMBIA	1:1.000.000	Gómez et al.	2007	Pdf	SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (INGEOMINAS)
MAPA	ATLAS GEOLÓGICO DE COLOMBIA Plancha 5-13	1:500.000	Gómez et al.	2007	Pdf	
MAPA	ATLAS GEOLÓGICO DE COLOMBIA Plancha 5-14	1:500.000	Gómez et al.	2007	Pdf	
MAPA	ATLAS GEOLÓGICO DE COLOMBIA Plancha 5-18	1:500.000	Gómez et al.	2007	Pdf	
MAPA	ATLAS GEOLÓGICO DE COLOMBIA Plancha 5-19	1:500.000	Gómez et al.	2007	Pdf	
MAPA	RASGOS ESTRUCTURALES MACIZO DE GARZÓN	1:600.000	Güiza et al.	2006	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLOGICO PLANCHA 368 SAN VICENTE DEL CAGÚAN	1:100.000	Rodríguez et al.	2003	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLOGICO PLANCHA 389 TIMANÁ	1:100.000	Kassem et al.	1998	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLOGICO PLANCHA 390 PUERTO RICO	1:100.000	Kassem et al.	1998	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLOGICO PLANCHA 391 LUSITANIA	1:100.000	Rodríguez et al.	2003	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLOGICO PLANCHA 414 EL DONCELLO	1:100.000	Kassem et al.	2003	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLOGICO PLANCHAS 367, 368, 389, 390, 391, 414	1:200.000	Rodríguez et al.	2003	Pdf	
DEM	Colombia Sur (col_sur)	Resolución 30m			Adf	NASA (SRTM)
LOCALIZACION DE DATOS	SISMICA 2D	--	--	2013	Dbf	ANH

LOCALIZACION DE DATOS	REZUMADEROS	--	--	2010	Dbf	
LOCALIZACION DE DATOS	POZOS	--	--	2013	Dbf	
LOCALIZACION DE DATOS	TIERRAS	--	--	2012	Dbf	
MAPA	MAPA GEOLÓGICO CUENCA CAGÚAN PUTUMAYO	1:500.000	Rodríguez et al. (a)	2009	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLÓGICO CUENCA CAGÚAN PUTUMAYO PLANCHA 1-4 SECTOR PIEDEMONTE	1:100.000	Rodríguez et al. (a)	2009	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLÓGICO CUENCA CAGÚAN PUTUMAYO PLANCHA 2-4 SECTOR PIEDEMONTE	1:100.000	Rodríguez et al. (a)	2009	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLÓGICO CUENCA CAGÚAN PUTUMAYO PLANCHA 3-4 SECTOR PIEDEMONTE	1:100.000	Rodríguez et al. (a)	2009	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLÓGICO CUENCA CAGÚAN PUTUMAYO PLANCHA 4-4 SECTOR PIEDEMONTE	1:100.000	Rodríguez et al. (a)	2009	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLÓGICO CUENCA CAGÚAN PUTUMAYO CON CONTROL DE CAMPO FLORENCIA	1:50.000	Rodríguez et al. (a)	2009	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLÓGICO ÁREA FLORENCIA	1:50.000	Geología regional y Prospección GRP Ltda. ECOPEPETROL 2013	2013	Pdf	ICP-GRP
MAPA	MAPA GEOLÓGICO ÁREA FLORENCIA	1:25.000	Geología regional y Prospección GRP Ltda. ECOPEPETROL 2013	2013	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLÓGICO ÁREA FLORENCIA – E	1:25.000	Geología regional y Prospección GRP Ltda. ECOPEPETROL 2013	2013	Pdf	
MAPA	MAPA GEOLÓGICO ÁREA FLORENCIA – W	1:25.000	Geología regional y Prospección GRP Ltda. ECOPEPETROL 2013	2013	Pdf	

TIPO DE DOCUMENTO	NOMBRE	COORDENADAS	AUTOR	FORMATO	FUENTE
INFORMACIÓN DE POZO	POZO AEROPUERTO 1	N=666.500m ; E=837.200m	recopilados en el informe de Reyes et al., 1997	txt	ICP
INFORMACIÓN DE POZO	POZO TURBIA 1	N=651.990m ; E=835.970m	recopilados en el informe de Reyes et al., 1997	txt	
INFORMACIÓN DE POZO	POZO TURBIA 2	N=658.250m ; E=831.920m	recopilados en el informe de Reyes et al., 1997	txt	
INFORMACIÓN DE POZO	POZO MONTAÑITA 1	N=654.520m ; E=844.270m	recopilados en el informe de Reyes et al., 1997	txt	
INFORMACIÓN DE POZO	MANDARINA 1	N=644.654m ; E=798.168m	recopilados en el informe de Reyes et al., 1997	txt	

FASE 2: Unificación de la información geológica y cartográfica.

Luego de seleccionados los mapas geológicos, se introducen junto con los archivos de elevación digital del terreno (DEM – Digital Elevation Model) en el software Global Mapper 13 con el fin de superponerlos y visualizar mejor la localización y continuidad de fallas, estructuras geológicas (anticlinales, sinclinales, etc.), contactos litológicos así como la disposición y geometría de los mismos; todos los mapas tienen como sistema de coordenadas al WGS 1984 con Datum Magna-Sirgas, Colombia Bogotá.

Inicialmente se usó el software Global Mapper 13 dada la facilidad de procesar información cartográfica de diferentes formatos y la facilidad de georeferenciación de la misma, luego dicha información fue exportada e introducida al software

ArcGIS 10, en donde se inicia el proceso de digitalización del mapa geológico de la zona de trabajo (Escala 1:100.000); en zonas donde los mapas estaban superpuestos y la información no era igual (contactos o fallas no estaban en un mismo lugar), se dio prevalencia a aquellos datos que fuesen más acordes con la geomorfología de la zona (esto fue posible de notar gracias a la opción Show 3D View de Global Mapper 13); como segundo filtro se tuvo en cuenta que la información fuese reciente.

Como aspecto a resaltar se debe mencionar que en la delimitación del área de trabajo se procuró evitar la cercanía a estructuras geológicas con comportamiento de rumbo, tal es el caso de la falla Algeciras que es de carácter regional y esta al oeste de la zona de trabajo; lo anterior se realizó con el objetivo de evitar grandes desajustes en la futura realización de los cortes geológicos y su respectivo balanceo.

FASE 3: Ubicación, Desarrollo y balanceo de perfiles geológicos.

Una vez realizada la compilación y digitalización del mapa de la zona de trabajo se procede a cargarlo en el software Global Mapper 13 y sobre este se define la disposición y ubicación de las secciones estructurales a realizar teniendo en cuenta que estas estuviesen perpendiculares a la orientación de las estructuras geológicas presentes, y además que cortaran a todas las formaciones geológicas; es importante aclarar que las secciones fueron realizadas a escala 1:50.000 (mientras que el mapa es 1:100.000) con el objetivo de apreciar mejor la configuración de los estratos, especialmente aquellos que tienen espesores pequeños (ejemplo Formaciones Rumiyaco, Villeta y Caballos cuyos espesores están alrededor de los 100 metros).

Para generar los respectivos perfiles topográficos de la secciones, se usa el software Global Mapper 13, con la opción “Path Profile” (teniendo previamente activada la capa del “DEM”), este archivo debe ser guardado en formato “XYZ file” y se procede a cargarlo en el software Move 2011 junto con el mapa geológico realizado, para así iniciar con la digitalización de los perfiles geológicos (posicionamiento de contactos litológicos, fallas, y demás estructuras geológicas) no sin antes cargar también los datos de pozos y los Dips o datos estructurales que serán proyectados en las secciones o perfiles para la determinación de inclinaciones aparentes y los respectivos espesores de las formaciones litológicas. Luego de terminadas las secciones éstas fueron sometidas a una última edición con el uso de los software Corel Drawn X6 y Canvas 12.

Para facilitar la realización de la fase 4, se decidió hacer un modelo geológico 3D usando el software Move 2011, en el que se proyectara la información de todas los perfiles geológicos realizados con el fin de obtener una mejor visualización de la configuración geológica del área de estudio.

FASE 4: Análisis, conclusiones y presentación de resultados.

Con base en las secciones estructurales balanceadas y el modelo geológico 3D de la fase anterior, se realizan los respectivos análisis y discusión con ayuda de los directores, para interpretar y proponer una configuración y estilo estructural, así como zonas de posible interés exploratorio del Alto de Florencia en cercanías al Macizo de Garzón; finalizando con la redacción y edición del informe del proyecto.

8. RESULTADOS

La digitalización del mapa geológico implicó la superposición de los mapas existentes, entre los que se pueden destacar el mapa Geológico Área Florencia (Escala 1:25.000) (GRP-Ecopetrol, 2013), el mapa de control de campo de un sector de la cuenca del Caguán-Putumayo (Escala 1:50.000) (ANH, 2009) y el mapa de la Geología de las planchas 367 Gigante, 386 San Vicente del Caguán, 389 Timaná, 390 Puerto Rico, 414 El Doncello y parte de la Plancha 391 Lusitania (Escala 1:200.000) (Ingeominas del 2003); gracias a la visualización de estos en el software ArcGIS 10, se pudo notar que no siempre la ubicación de los contactos y las fallas eran iguales (algunos por su escala no reconocían ciertas litologías, etc.); lo anterior implicó el uso de conceptos geomorfológicos y es por eso que los mapas fueron proyectados sobre el modelo de elevación digital del terreno, para así corroborar que la geomorfología de los trazos de falla y de los contactos fueran los correspondientes (por ejemplo algunas fallas pasaban por zonas de valle y en algunos de los mapas no era así). (Ver Fig. 10).

La ubicación de los once perfiles geológicos, se realizó con el objetivo de conocer la disposición y espesor de todas las unidades litológicas halladas en el área de trabajo, así como la configuración de las estructuras geológicas presentes, es por eso que en el trazado de las mismas se procuró que cortaran a todas las litologías y estructuras de forma perpendicular al rumbo de las mismas; durante el desarrollo de los perfiles los cuales fueron hechos en base al mapa geológico realizado, se utilizó principalmente información de pozos y esta fue proyectada a las secciones más cercanas de acuerdo a su ubicación (esto con el objetivo de conocer los espesores de las formaciones), (ver tabla 4.); con respecto a los datos estructurales, estos fueron extraídos de los mapas geológicos usados.

Figura 13: Comparación entre el mapa de la Geología de las planchas 367 Gigante, 386 San Vicente del Caguán, 389 Timaná, 390 Puerto Rico, 414 El Doncello y parte de la Plancha 391 Lusitania (Escala 1:200.000) (Rodríguez et al., 2003) en la parte superior. En la parte inferior se encuentra el mapa de control de campo de un sector de la cuenca del Caguán-Putumayo (Escala 1:50.000) (Rodríguez et al., 2009a). Este análisis fue realizado en el software Global Mapper 13, en donde se muestran como ejemplo las siguientes diferencias: en A) se indica el trazo de la falla Doncello (falla inversa) acorde con la geomorfología, situación distinta en B) (mapa de Rodríguez et al., 2009a) donde la falla Doncello se encuentra trazada más al norte y con una falla adicional que juntas, se encuentran menos acordes con la geomorfología del lugar.

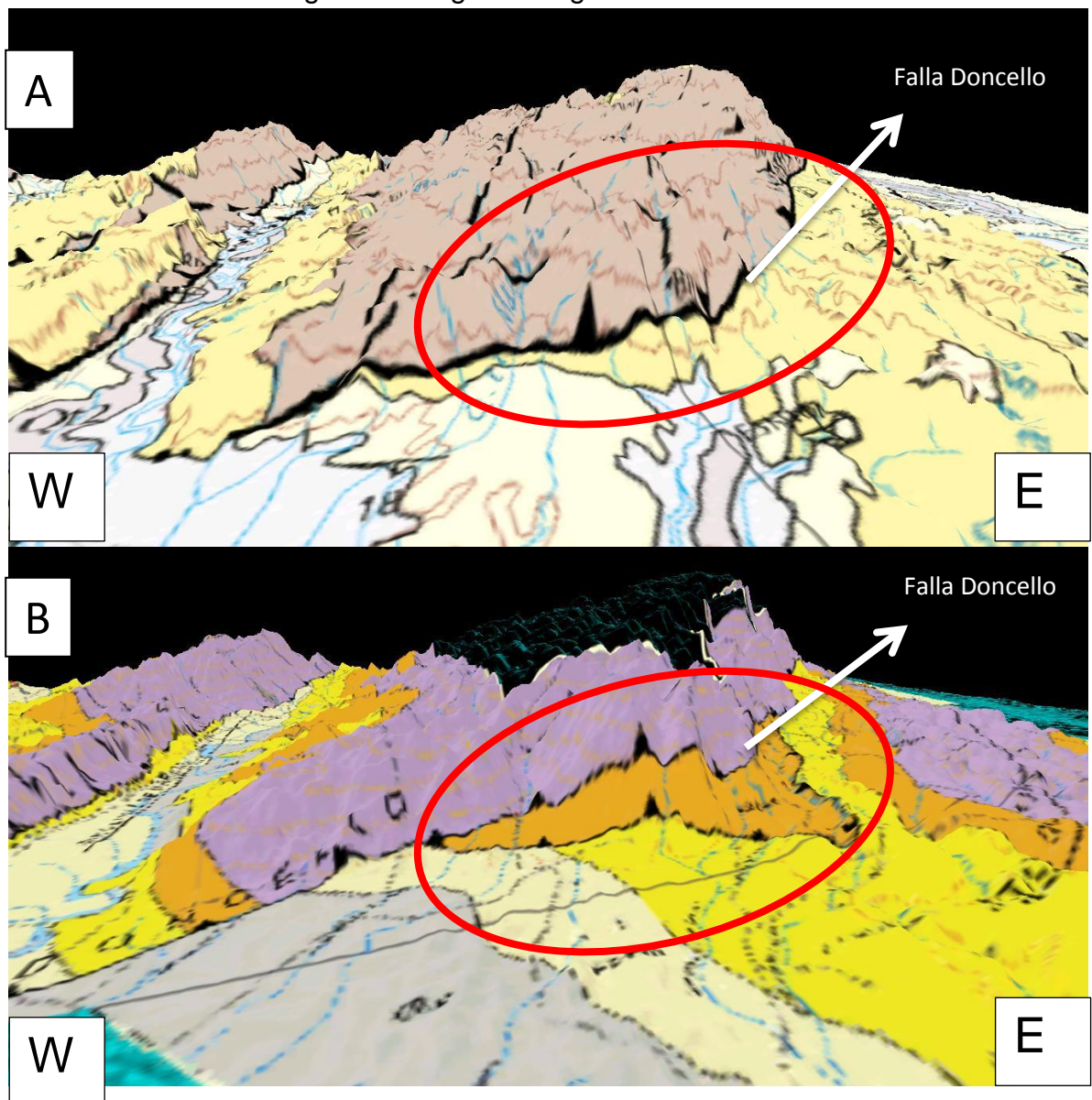


Tabla 3: Información de pozos en base a la cual se determinó el espesor de algunas de algunas formaciones (recopilados en el informe de Reyes et al., 1997).

Pozo: AEROPUERTO 1		
FORMACIÓN	ESPESOR (metros)	TOPE DE FORMACION (metros)
Orteguaza	128.016	0
Pepino	135.3312	128.016
Rumiyaco	115.5192	263.3472
Basamento	--	378.8664
Pozo: TURBIA 2		
FORMACION	ESPESOR (metros)	TOPE DE FORMACION (metros)
Orteguaza	296.2656	0
Pepino	118.2624	296.2656
Rumiyaco	109.1184	414.528
Basamento	--	523.6464
Pozo: MONTAÑITA 1		
FORMACION	ESPESOR (metros)	TOPE DE FORMACION (metros)
Orteguaza	256.032	0
Pepino	56.388	256.032
Rumiyaco	89.916	312.42
Basamento	--	402.336
Pozo: TURBIA 1		
FORMACION	ESPESOR (metros)	TOPE DE FORMACION

		(metros)
Orteguaza	399.288	0
Pepino	123.1392	399.288
Rumiyaco	85.9536	522.4272
Basamento	--	608.3808
Pozo: MANDARINA 1		
FORMACION	ESPESOR (metros)	TOPE DE FORMACION (metros)
Orteguaza	279.5016	0
Pepino	413.3088	279.5016
Rumiyaco	230.7336	692.8104
Villeta	96.01200	923.544
Caballos	106.6800	1019.556
Basamento	--	1126.236

8.1 SECCIONES ESTRUCTURALES BALANCEADAS

Fueron realizadas en el software Move 2011; en base al algoritmo *fault-Parallel Flow* del entorno 2D Move se realizó el respectivo balanceo de las secciones (se verifico que los estratos tuvieran el mismo espesor a lado y lado de los planos de falla y que los contactos concordaran entre ellos en caso de una restitución de las fallas). En la descripción de las secciones se mencionan las principales estructuras geológicas presentes (fallas, sinclinales, anticlinales) así como su una breve explicación de la configuración de las mismas, también se hace referencia a la secuencia litológica de los cortes, en donde es importante aclarar que cuando se habla de la Formación Orteguzza esto incluye a una subdivisión de la misma, denominada como “Intra-Orteguzza”, ubicada en la base de la formación, la cual tiene espesor variable y generalmente si llega a ser afectada por las fallas que se fosilizaron cuando se depositó la parte superior de la Formación Orteguzza; esta subdivisión se realizó con el objetivo de que la parte superior de la Formación Orteguzza tuviera un espesor constante el cual fuera posible balancear.

8.1.1 Sección (A-A')

Figura 14: Ubicación en el Mapa Geológico de la Sección A-A' y vista representativa de toda su extensión mostrando las regiones que tendrán acercamiento.

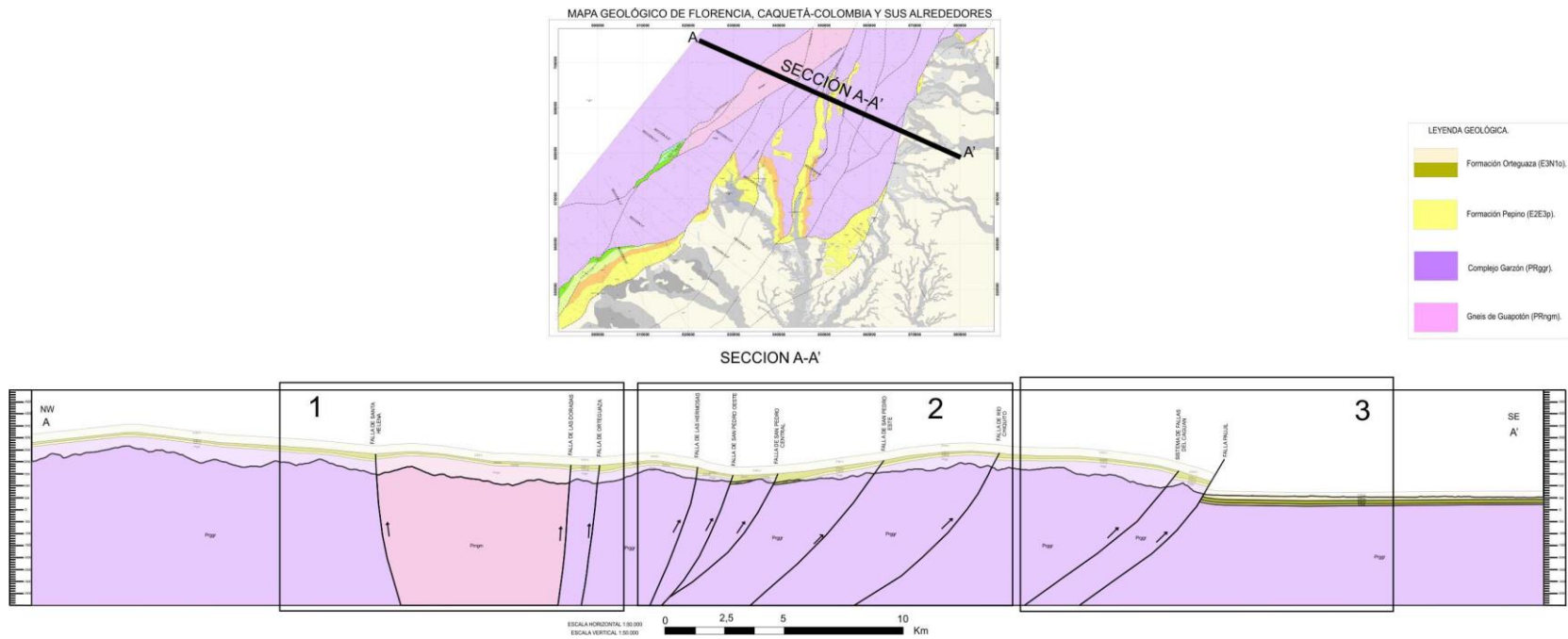


Tabla 4: Descripción de la Sección A-A".

Azimut de rumbo: 114°	Coordenadas de inicio: X:822367.442 Y:704964.032
Longitud: 63.211 Km	Coordenadas de finalización: X:880099.503 Y:679178.459
<p>Descripción:</p> <p>Es la sección ubicada más al norte del área de trabajo, descrita de NW a SE, se tiene la presencia de las fallas Santa Helena y Las Doradas las cuales tienen buzamientos opuestos (al SE y NW respectivamente), y son las que delimitan y ponen a cabalgar el Gneis de Guapotón sobre la litología que predomina en esta región norte que es el macizo de Garzón (ya que algunas de las litologías sedimentarias sub siguientes fueron erosionadas), el macizo está cortado por fallas con alto grado de inclinación buzando hacia el NW y cinemática inversa, algunas de ellas como las fallas san pedro Este, San Pedro Central , se interpretaron como imbricadas en esta zona; de forma general las fallas tienen rumbo NE y sus trazos se prolongan por el macizo sin gran variación de dicha dirección; mas al SE de esta sección se encuentran tres fallas (con igual cinemática que las anteriores) dentro de las que se puede destacar a la falla de Rio Chiquito (por su extensión) y la falla de Paujil, la cual pone en contacto al Macizo de Garzón con la secuencia sedimentaria (subhorizontal) constituida en esta región por la Formación Pepino, la Formación Orteguzza y algunos depósitos cuaternarios, además es la falla que prácticamente marca o delimita el cambio de una topografía de montañas del Macizo del Garzón, con una zona más plana hacia el este. Es importante aclarar que la única falla que corta y desplaza a toda la secuencia litológica de la zona, es la falla de Paujil, ya que las demás estructuras se consideran como fosilizadas por la formación Orteguzza (solo afectan hasta la subdivisión denominada como Intra-Orteguzza).</p>	

Figura 15: Acercamiento de la región "1", al NW de la sección A-A" en la que se aprecia la disposición del Gneis de Guapotón delimitado por las fallas de Santa Helena y las Doradas.

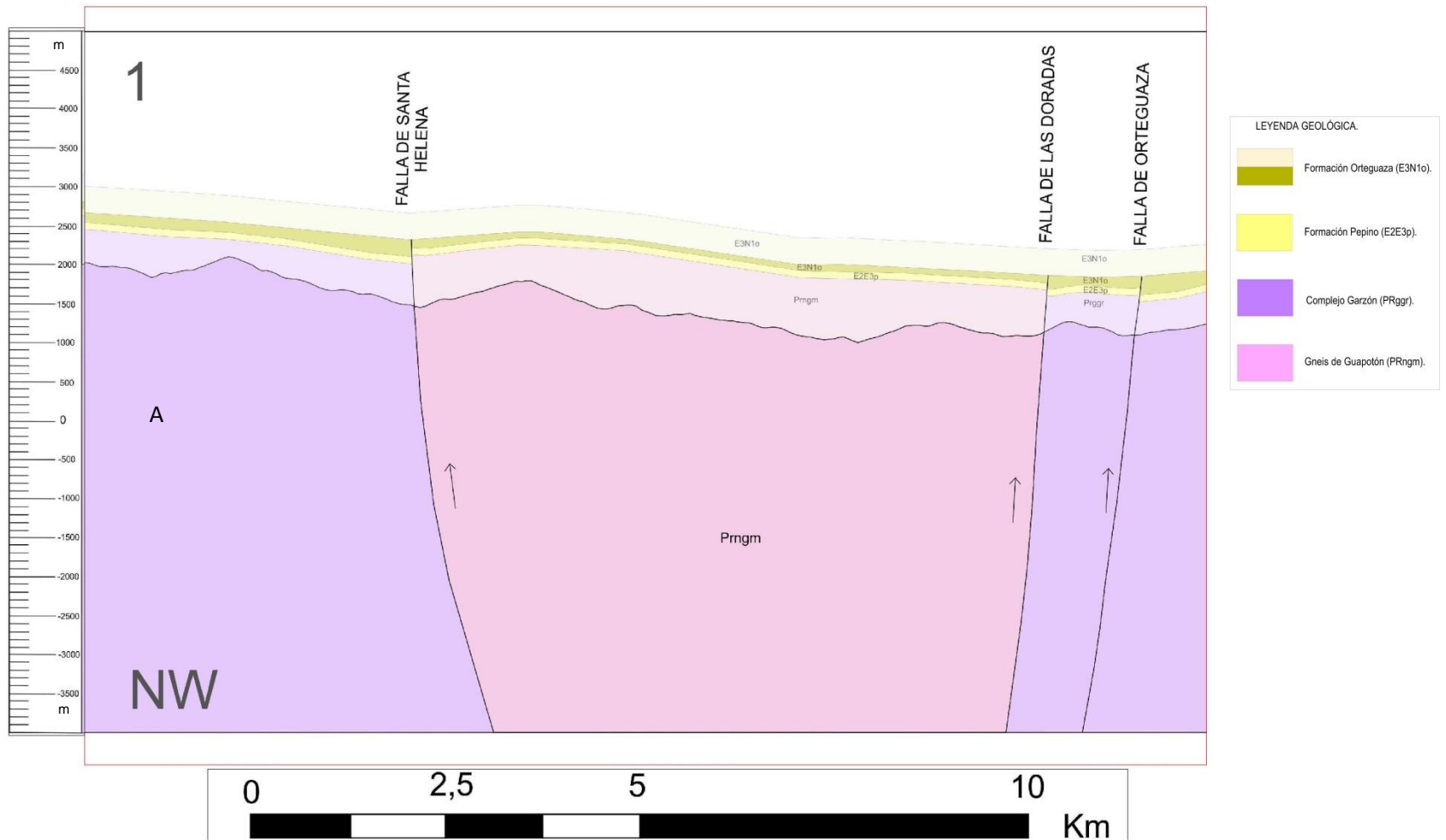


Figura 16: Acercamiento de la región "2" en la que se muestra la imbricación existente entre las Fallas San Pedro Central y Oeste; también se aprecian difuminadas las litologías que fueron erosionadas.

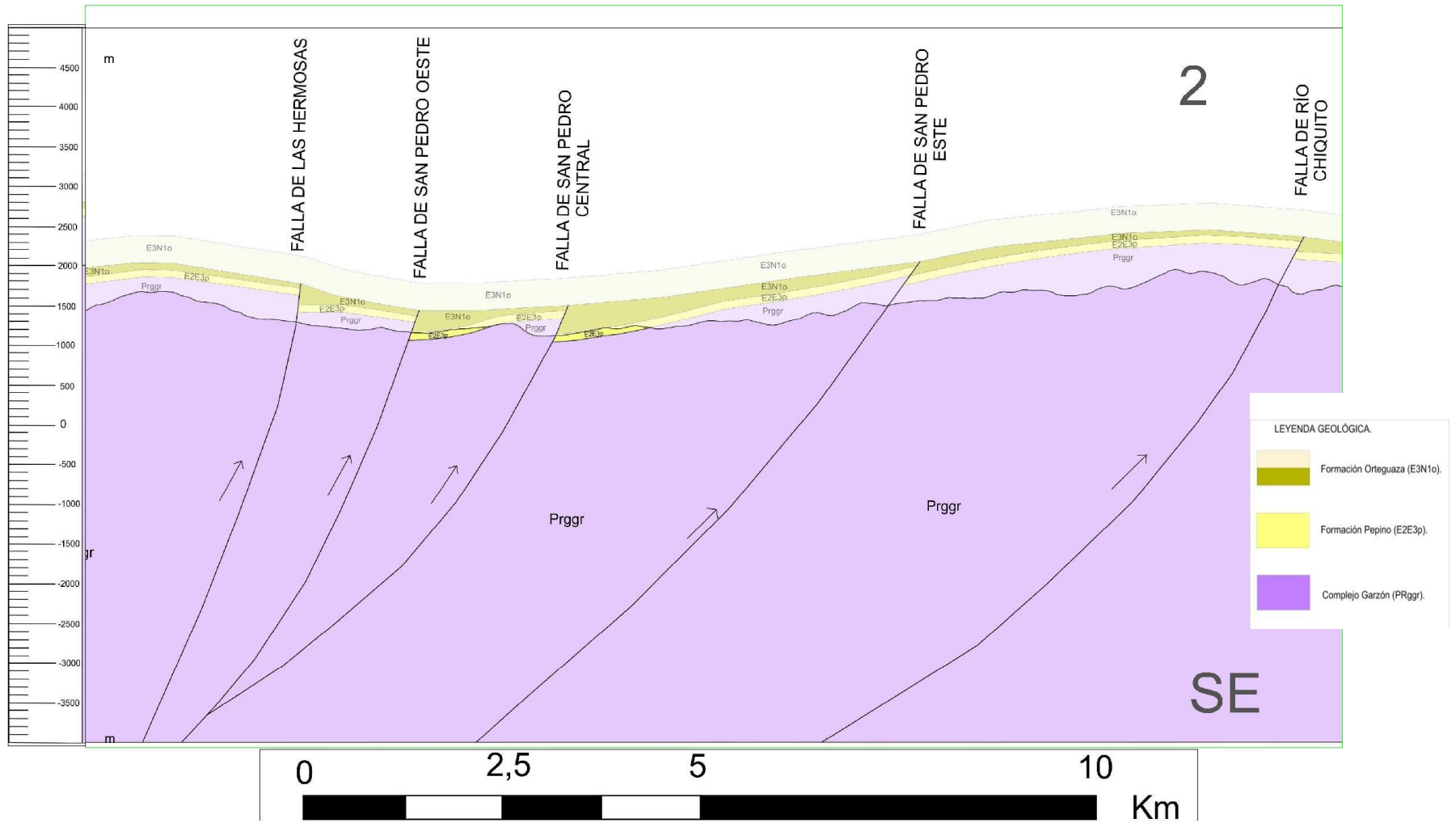
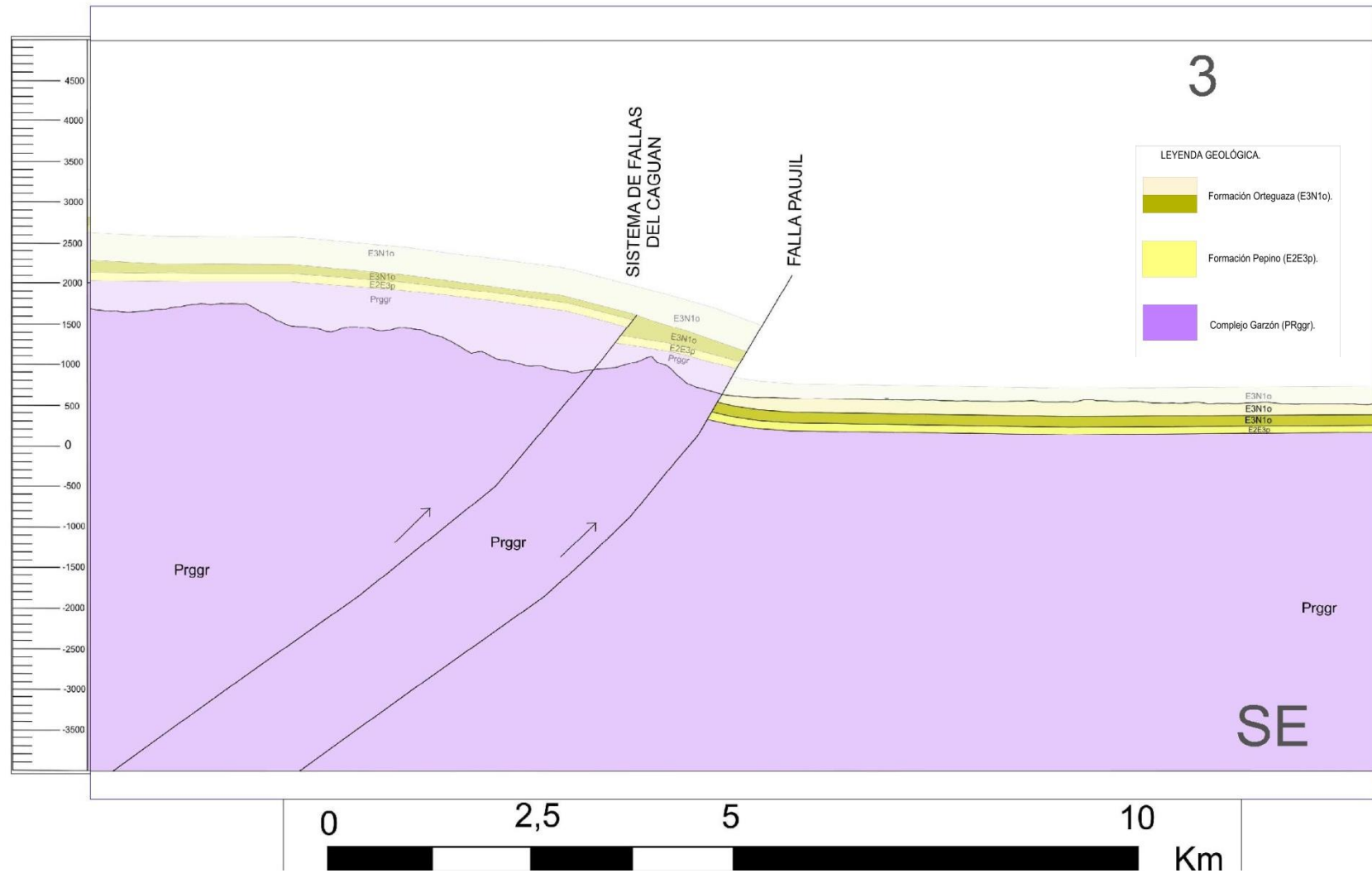


Figura 17: Acercamiento de la región "3" mostrando el sistema de Fallas del Caguán, así como a la Falla de Paujil la cual pone en contacto a la secuencia sedimentaria con el basamento que en este caso es el Macizo de Garzón.



8.1.2 Sección (B-B’)

Figura 18: Ubicación de la Sección B-B’ en el mapa Geológico y vista de su extensión en la que se destacan las tres zonas de acercamiento.

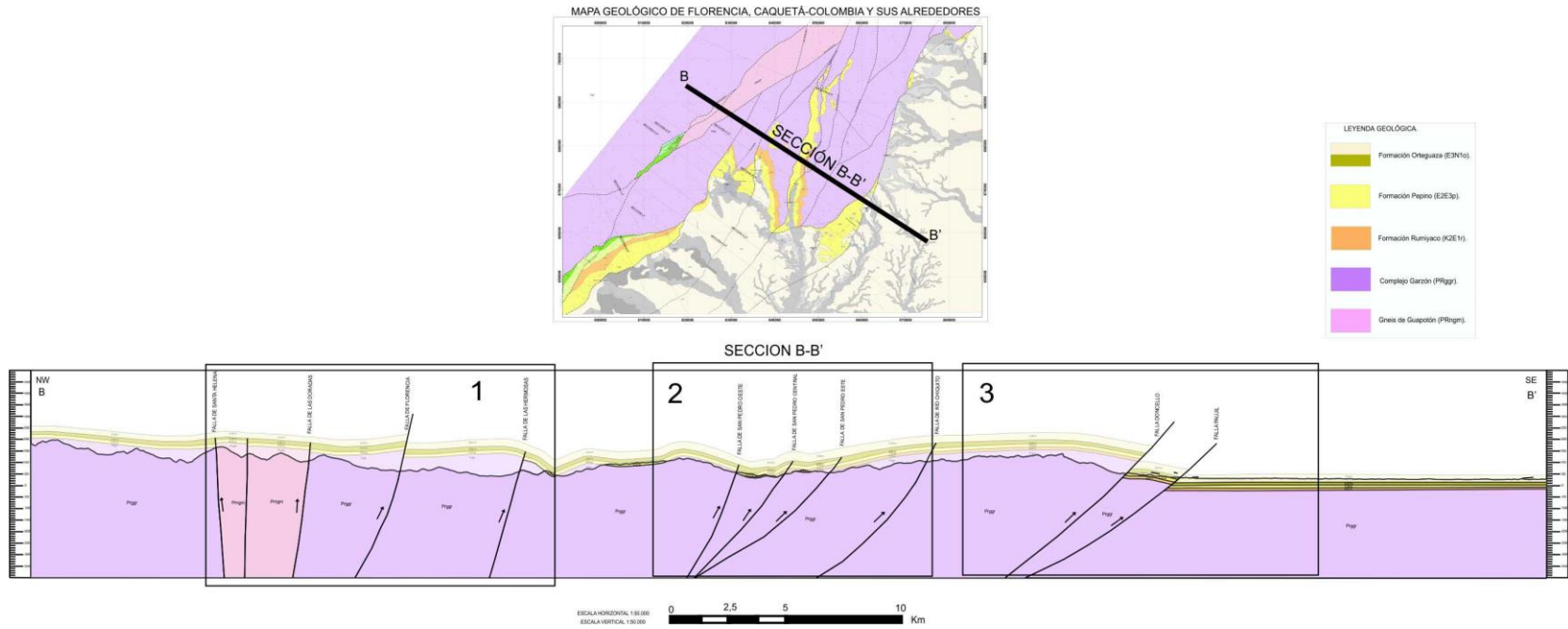


Tabla 5: Descripción de la Sección B-B".

Azimut de rumbo: 122°	Coordenadas de inicio: X:819611.554 Y:693782.224
Longitud: 65.958 Km	Coordenadas de finalización: X:875049.086 Y:658008.907
Descripción: La configuración es semejante a la sección anterior con la variación de que al este de la falla Santa Helena se desarrolló un trazo de falla con alto grado de inclinación (tentativamente buzando al NW), tiene rumbo NE, cinemática inversa y corta al Gneis de Guapotón; además en esta sección se aprecian las estribaciones más norte de la Falla de Florencia y se hace más evidente que las fallas San Pedro Oeste, San Pedro Central y San Pedro Este, están Imbricadas buzando al NW. En este caso el contacto entre la secuencia sedimentaria y el Macizo de Garzón esta favorecido por la falla Doncello, pero la secuencia sedimentaria está conformada por la Formación Rumiyaco (nueva Formación que se acuña tanto al NW como SE en el trazo de la sección), la Formación Pepino y la Formación Ortegua, más la existencia de cuaternarios. En esta sección la secuencia litológica es cortada en su totalidad por las fallas Doncello y Paujil, mientras que las demás fallas fueron fosilizadas por la Formación Ortegua (solo afectan a Intra-Ortegua).	

Figura 19: Región "1" en la que se puede ver el trazo de falla que corta al Gneis de Guapotón, además se evidencia el corte de todas las formaciones litológicas por parte de la Falla de Florencia, así como la fosilización de la falla de las Hermosas por parte de la Formación Orteguaza.

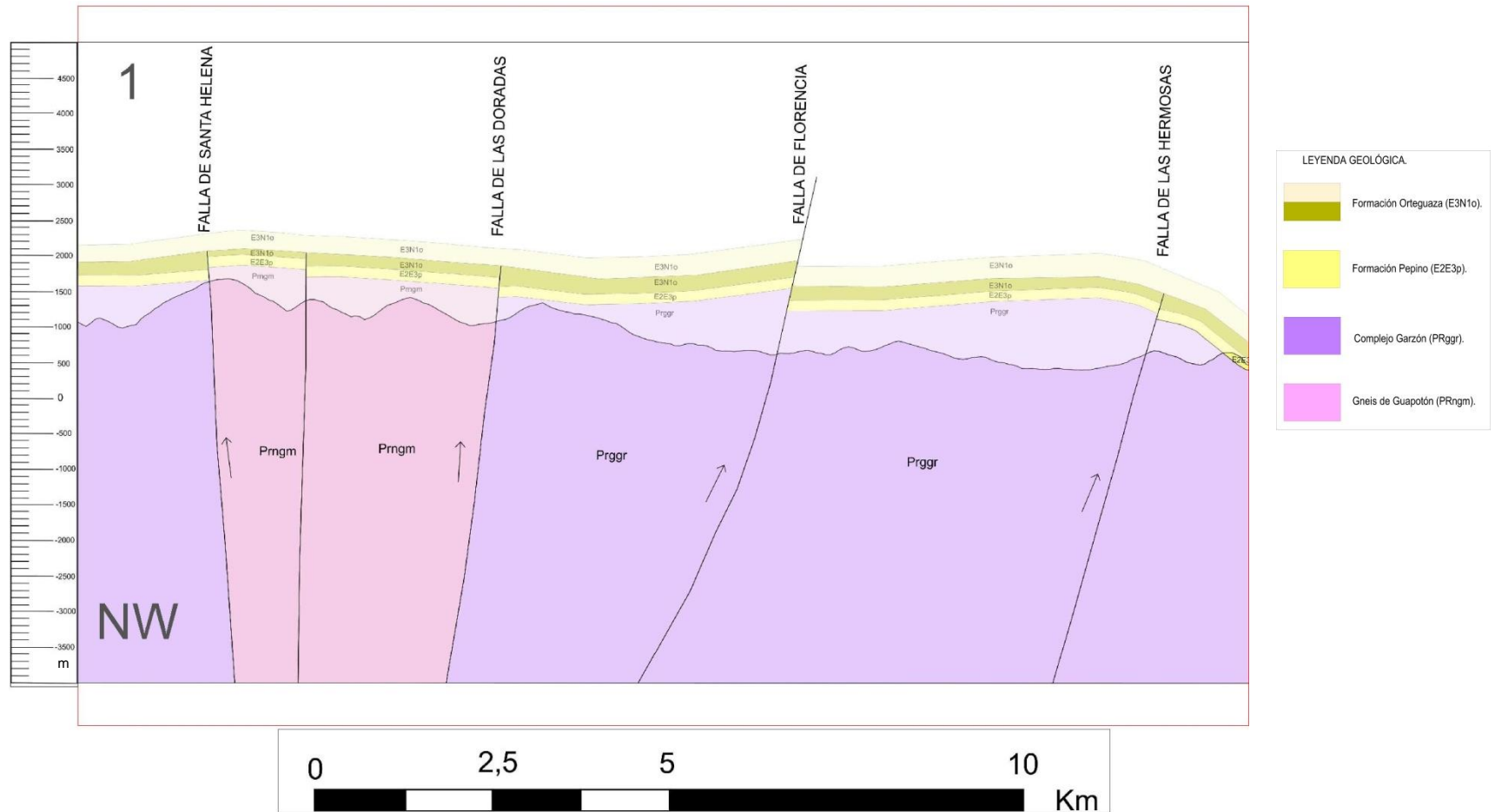


Figura 20: Región "2" en la que se puede apreciar la imbricación interpretada entre las Fallas San Pedro Central y Este (la imbricación también debe existir con la Falla de San Pedro Oeste pero la unión ocurre a mayor profundidad), así como el trazo de la falla de Río Chiquito. También se muestra como todas las fallas están fosilizadas por la Formación Ortegaza.

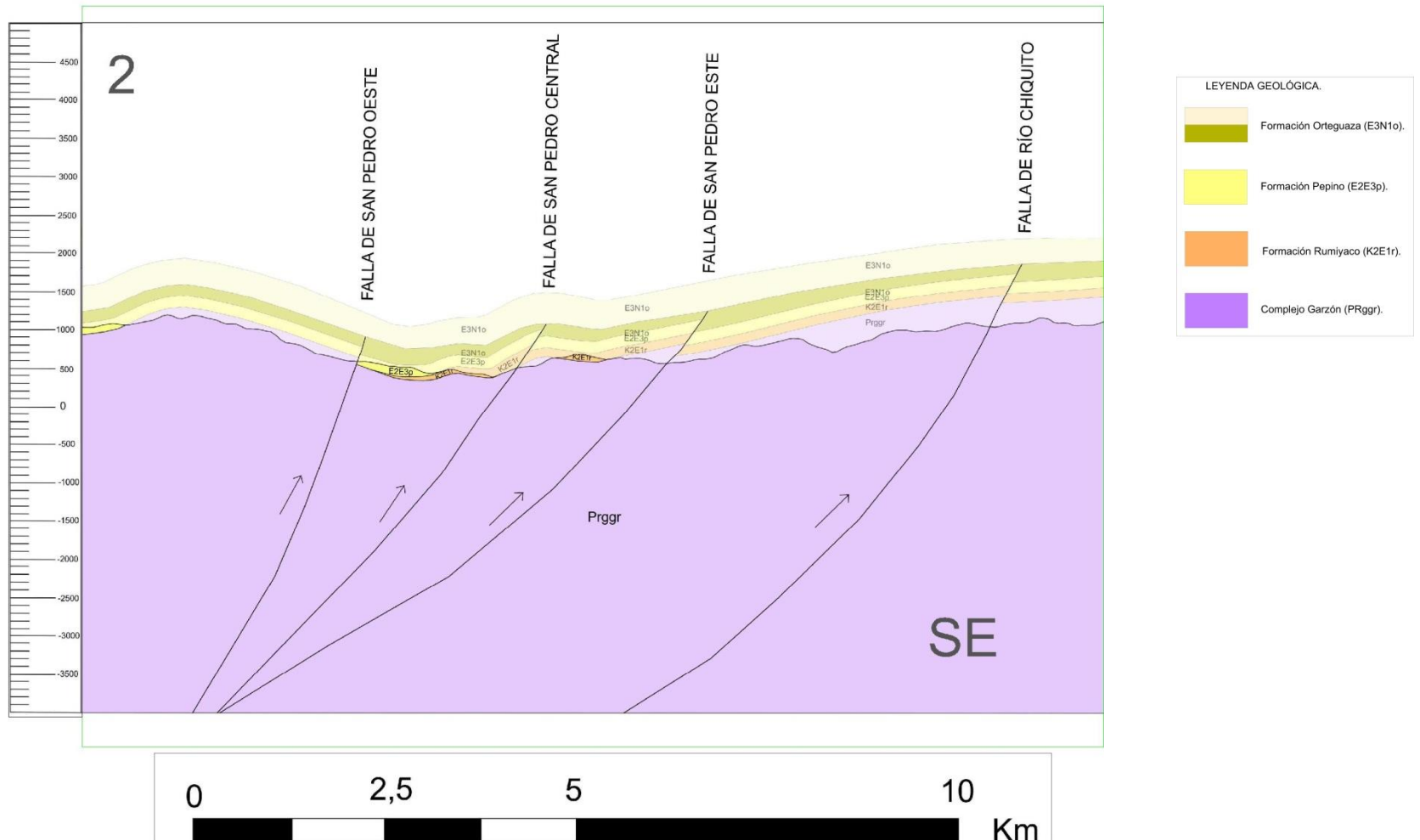
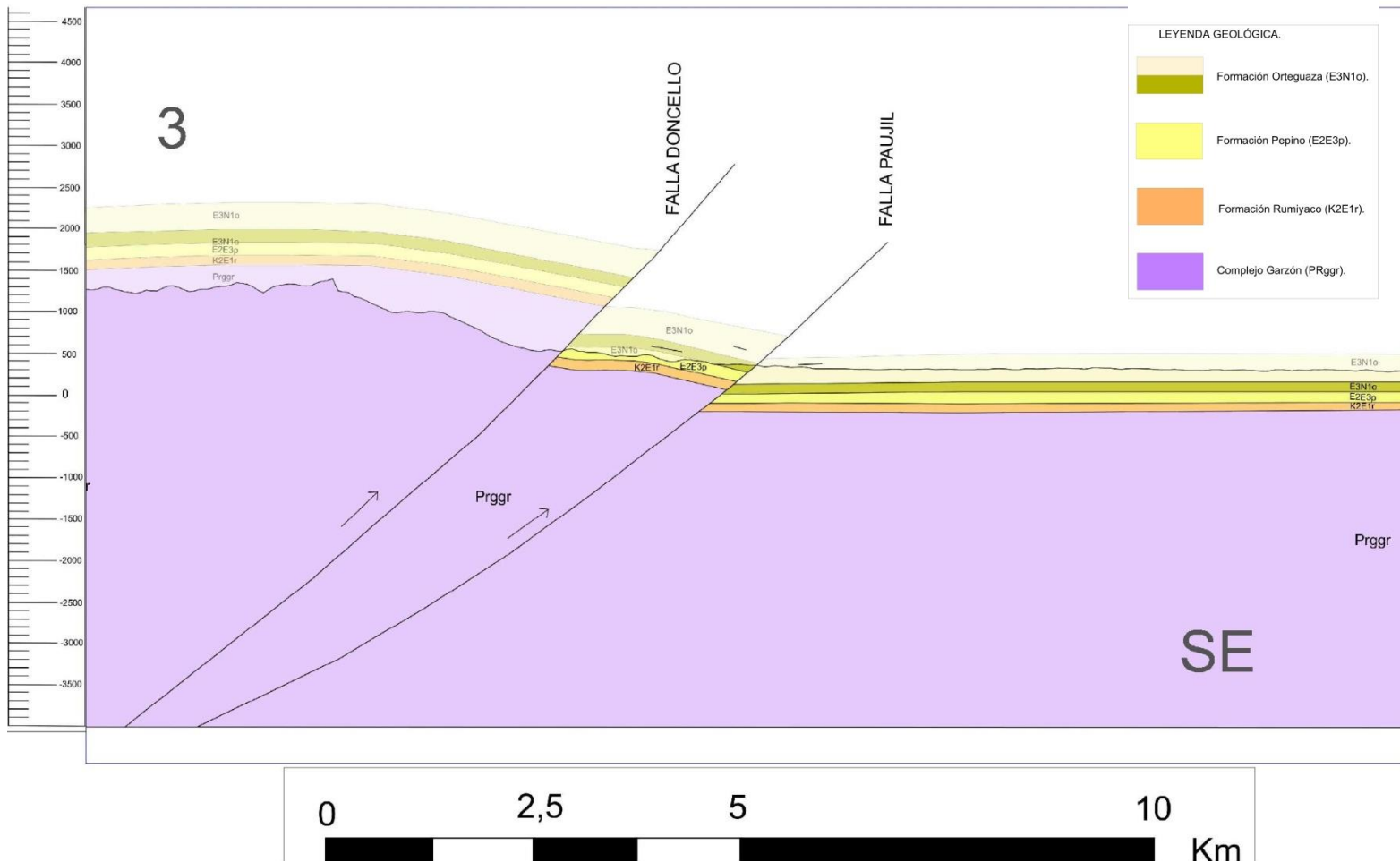


Figura 21: Acercamiento de la región "3" en el que las Fallas de Doncello y Paujil afectan a toda la secuencia litológica conformada por Basamento, Rumiyaco, Pepino y Ortegua (esta última incluyendo a Intra-Ortegua de color verde amarillento).



8.1.3 Sección (C-C’)

Figura 22: Ubicación de la Sección C-C' en el mapa Geológico y su extensión mostrando las regiones de acercamiento.

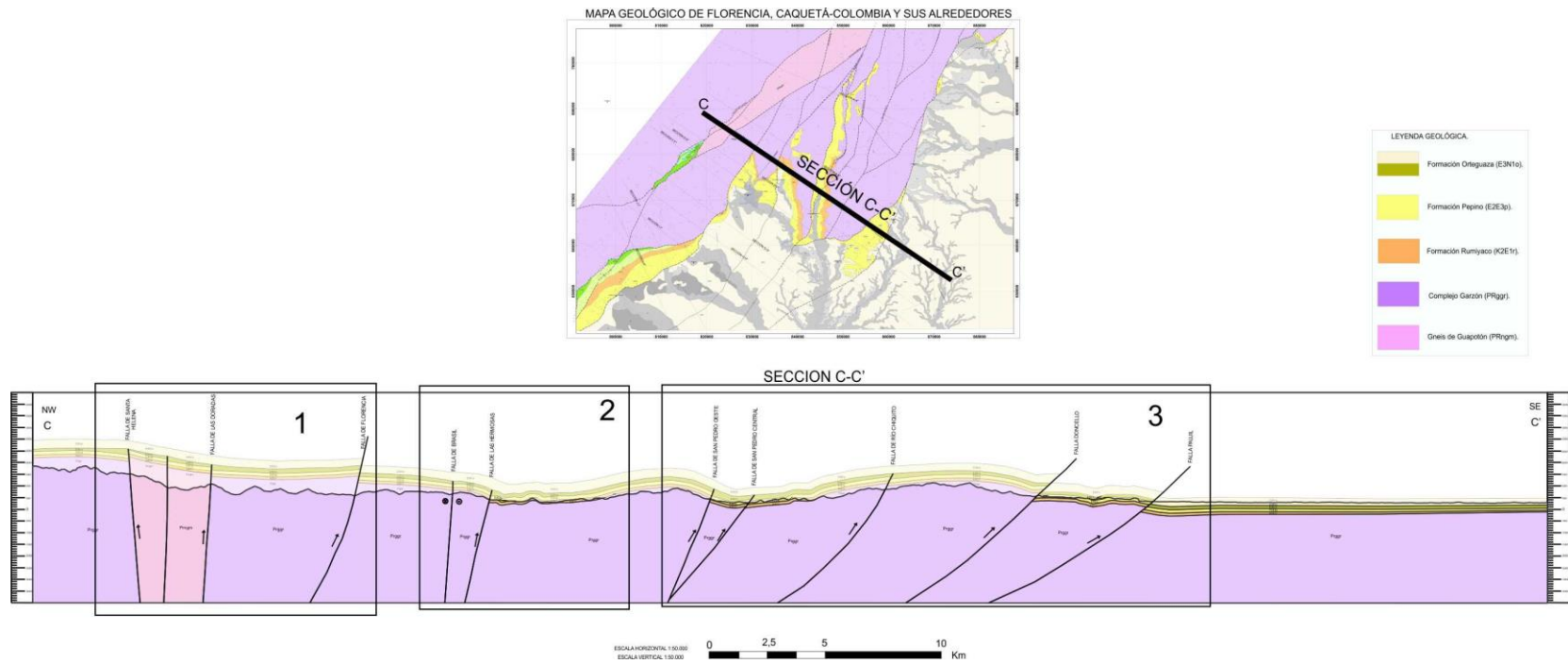


Tabla 6: Descripción de la Sección C-C".

Azimut de rumbo: 123°	Coordenadas de inicio: X:819098.423 Y:689197.165
Longitud: 65.931 Km	Coordenadas de finalización: X:873827.074 Y:652410.744
Descripción: Al NW de la sección se empieza a apreciar como el espesor aflorante del Gneis Guapotón empieza a disminuir (las fallas Santa Helena y las Doradas que delimitan a dicho Gneis, así como la falla inversa que lo corta, empiezan a estar más cercanas entre ellas); además se puede ver el trazo de la falla de Florencia la cual es de carácter Regional así como la Falla de Brasil la cual es de rumbo con comportamiento Dextral. Avanzando hacia el SE de la sección está la imbricación entre las fallas San Pedro Oeste y San Pedro Central dado que la falla San Pedro Este, se combinó en un solo trazo con la falla San Pedro Central (esto ocurrió progresivamente en el espacio entre la sección actual y la sección B-B"); seguido a esto se aprecia la continuación sur de las Fallas Rio Chiquito y Doncello así como una nueva estructura cuyo nombre es Anticlinal de la Montañita. La secuencia sedimentaria está constituida por las Formaciones Rumiyaco, Pepino, y Orteguzza que fosiliza a todas las fallas con excepción de Doncello y Paujil, los depósitos cuaternarios por cuestión de escala no se muestran en ninguna de las secciones.	

Figura 23: Región "1" en la que se empieza a notar que las fallas que limitan al Gneis de Guapotón empiezan a estar mas cercanas entre ellas (se aprecia la fosilización de las mismas por la Formación Orteguaza). al SE se ve el trazo de la Falla de Florencia, estructura la cual es considerada como de carácter regional.

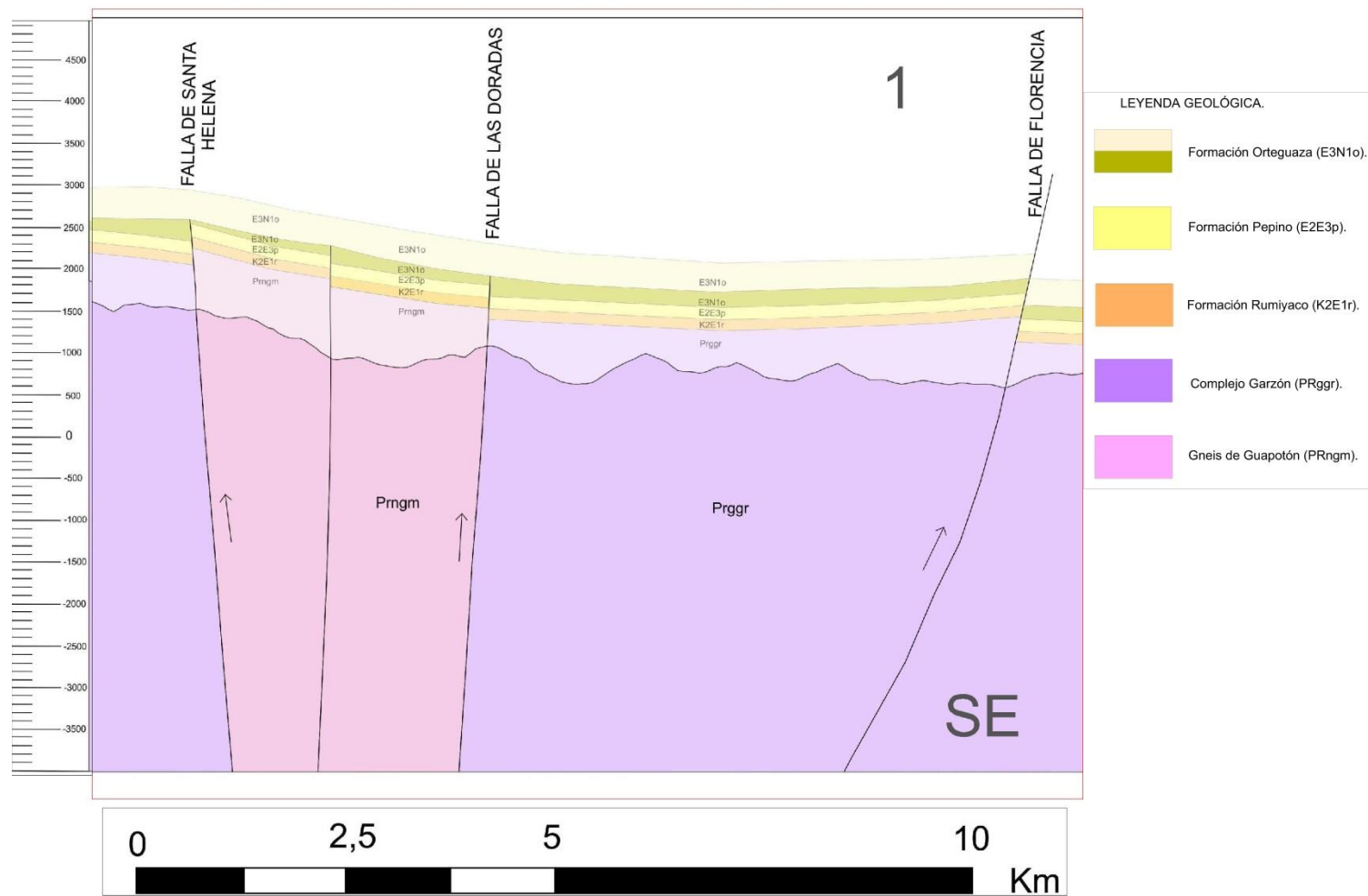


Figura 24: Acercamiento de la región "2" mostrando las estribaciones norte de la Falla de Brasil (dextral), al SE de esta estructura esta la Falla de las Hermosas (ambas estructuras fuerón fosilizadas por la Formación Orteguaza); la subdivisión de la Formación Orteguaza denominada como Intra-Orteguaza se representa como erodada, de color verdeamarillento claro.

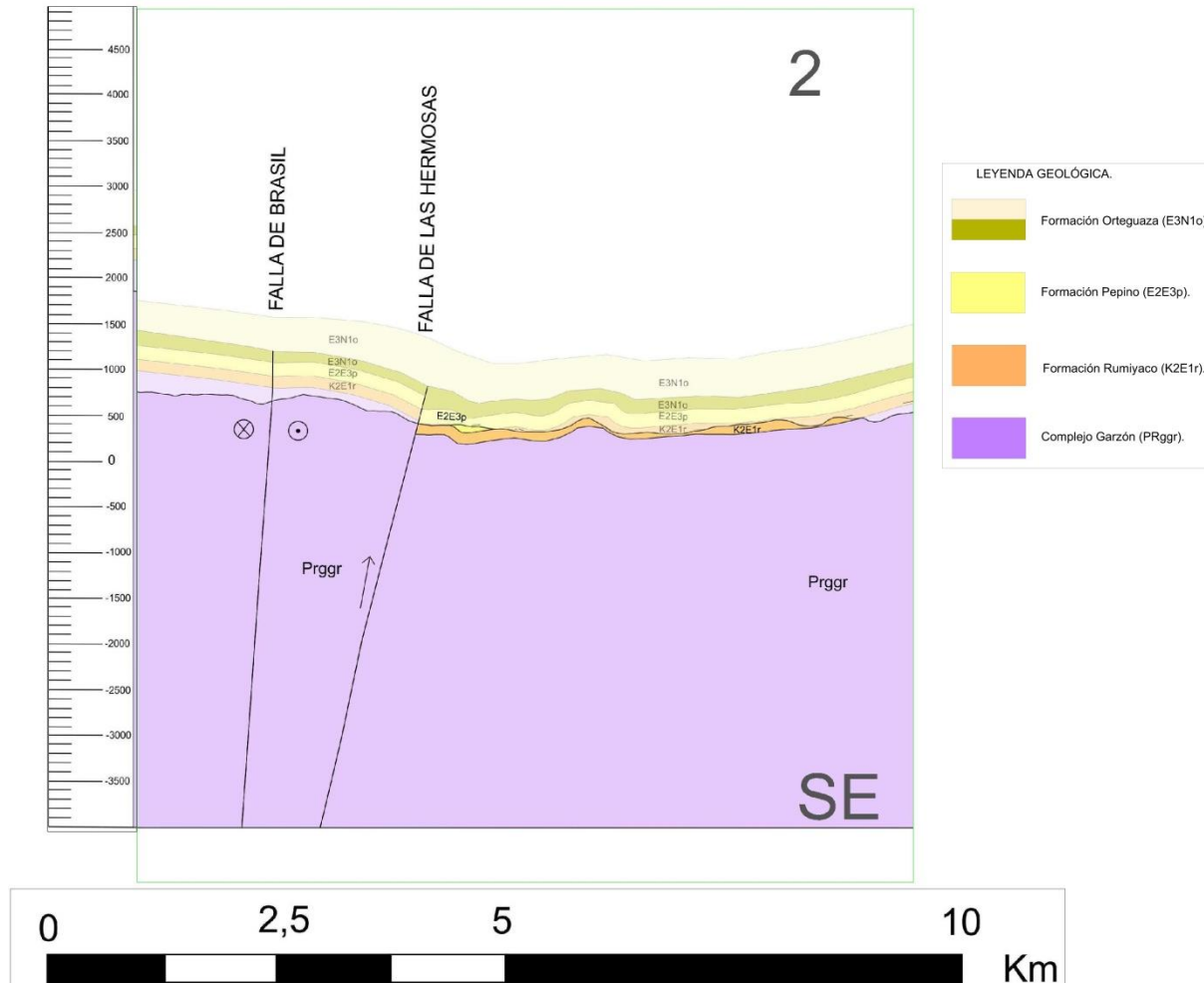
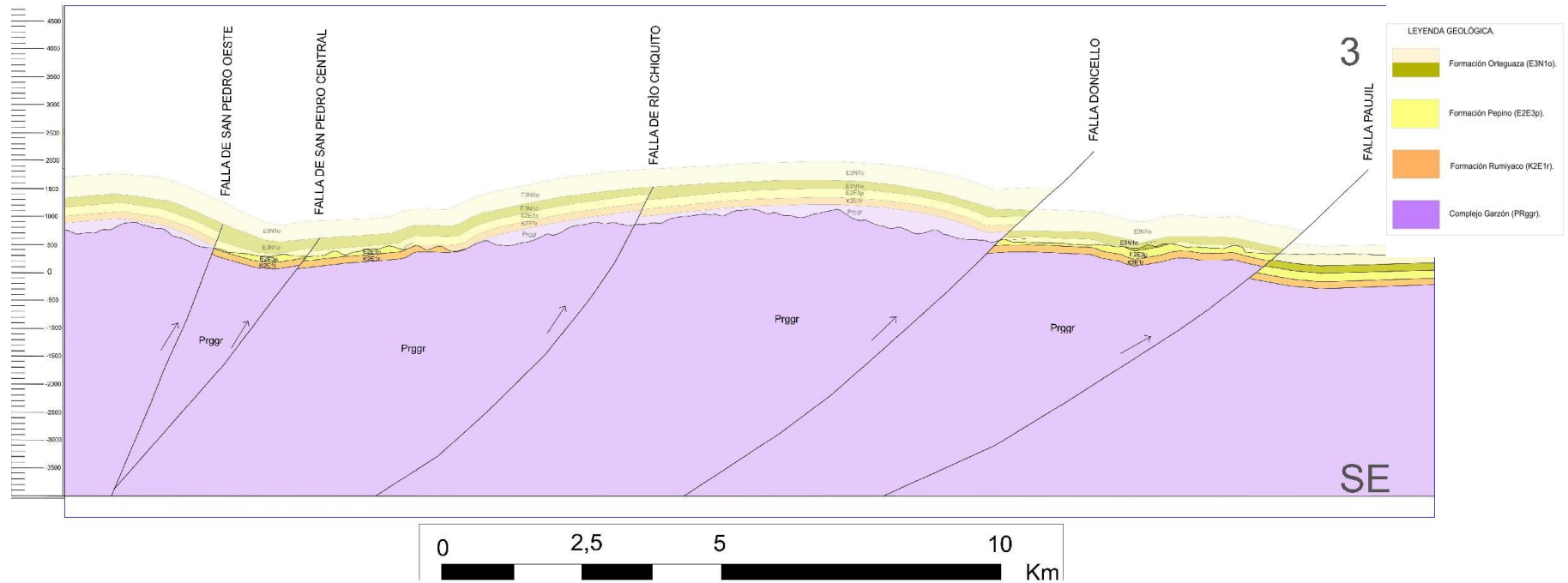


Figura 25: Región 3 en la que nuevamente se muestra la imbricación entre las Fallas San Pedro Central y Oeste, así como el hecho de que las fallas de Doncello y El Paujil cortan a toda la secuencia litológica del área; además se alcanza a percibir un ligero aumento del grado de inclinación de las fallas desde el SE hasta el NW.



8.1.4 Sección (D-D'')

Figura 26: Ubicación de la Sección D-D'' en el mapa Geológico y representación de la misma con tres recuadros de las zonas a destacar.

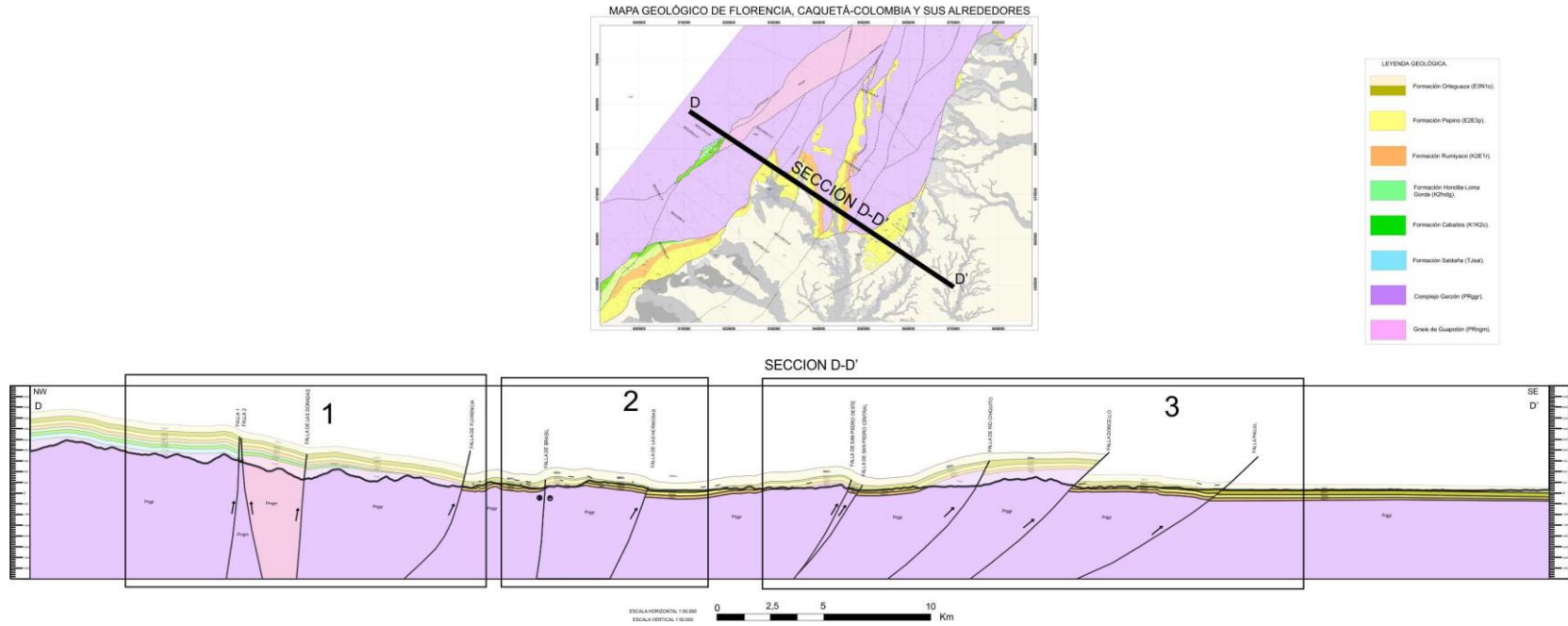


Tabla 7: Descripción de la Sección D-D".

Azimut de rumbo: 123°	Coordenadas de inicio: X:811167.764 Y:688466.196
Longitud: 70.812 Km	Coordenadas de finalización: X:870155.231 Y:649248.880
<p>Descripción:</p> <p>Como nueva característica, en esta sección la secuencia litológica cambia (aunque no todas las litologías afloran en el trazo de esta sección), estando conformada por el basamento, Formación Saldaña (ésta formación se propaga desde el oeste llegando hasta el NW del área de trabajo, en donde termina en el contacto con una falla Inversa denominada Falla 2 que tiene buzamiento al SE, ubicada al sur de la Falla las Hermosas), la Formación Caballos, Hondita Loma Gorda (esta dos Formaciones se acuñan al NW de la Falla de Florencia), Rumiyaco, Pepino y Orteguaza (incluyendo a Intra-Orteguaza); al NW de la sección se aprecian dos nuevas estructura geológicas, ellas son la Falla 1 (con rumbo NE, buzamiento NW y cinemática inversa) y la Falla 2 (descrita anteriormente); avanzando en sentido SE tenemos las Fallas las Doradas y Florencia (cuyo ángulo de inclinación en superficie es alto y va disminuyendo con la profundidad), la Falla de Brasil y las Hermosas, así como la Imbricación entre las Fallas San Pedro Oeste y Central, y por ultimo las Fallas Rio Chiquito, Doncello y Paujil. Afortunadamente esta sección cuenta con mayor control, dada la presencia de más datos estructurales (DIPS) permitiendo un mejor control de las inclinaciones de las capas; finalmente es importante mencionar la presencia de dos estructuras como lo son el Sinclinal de San Antonio al este de la Falla las Hermosas y el Anticlinal de la Montañita entre las Fallas Doncello y Paujil.</p>	

Figura 27: Acercamiento de la Región "1", el Gneis de Guapotón esta siendo limitado en este caso por la Falla 2 y la de las Doradas; se aprecia aflorando parte de la Formación Saldaña entre las Fallas 1 y 2 las cuales son inversas y cuyos buzamientos divergen.

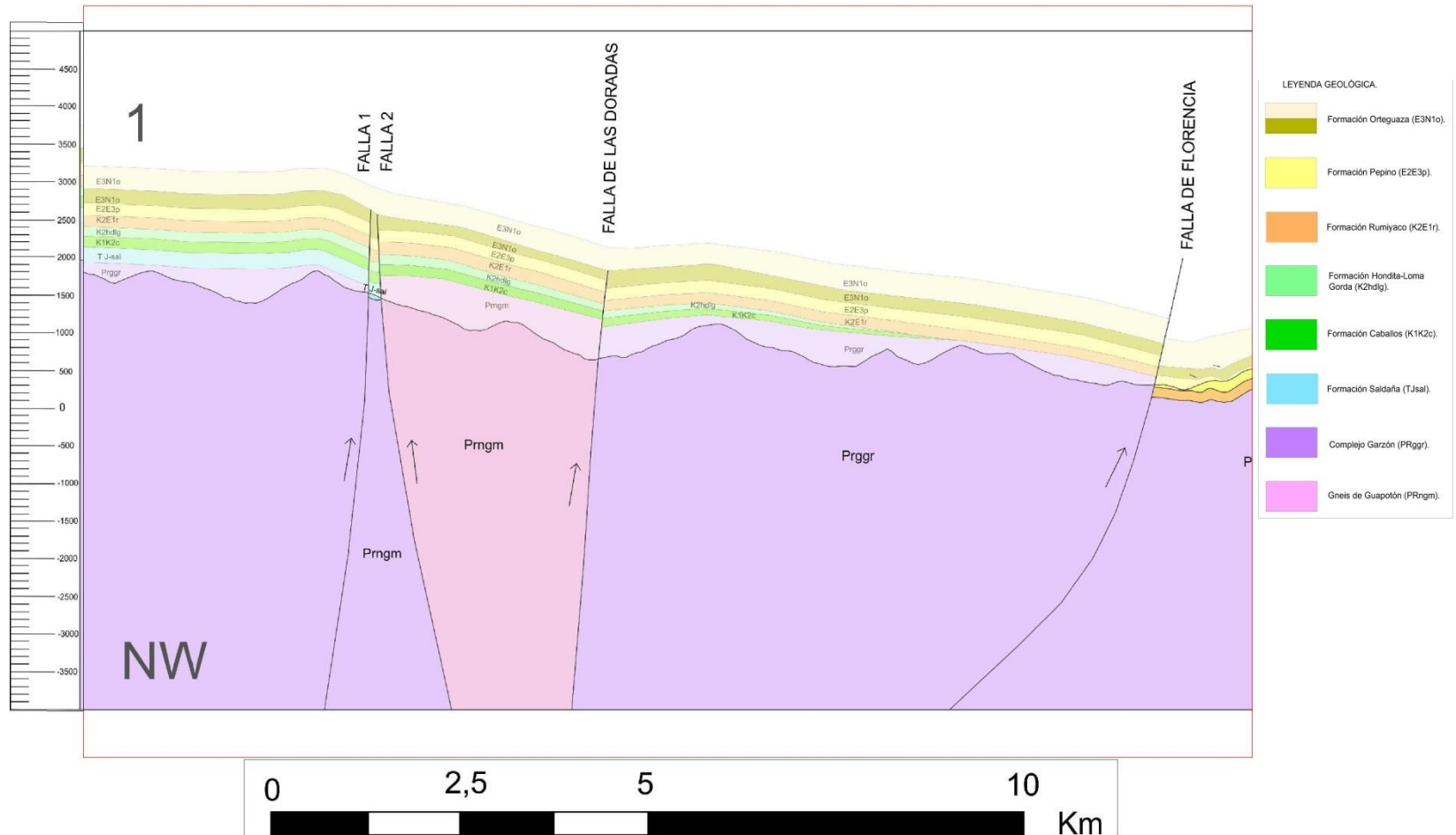


Figura 28: Acercamiento de la región "2" mostrando el trazo de la Falla de Brasil (de rumbo Dextral), como particularidad se aprecia a la Falla de las Hermosas cortando a toda la secuencia sedimentaria (Formaciones Rumiayaco, Pepino, Intra-Orteguaza y Orteguaza).

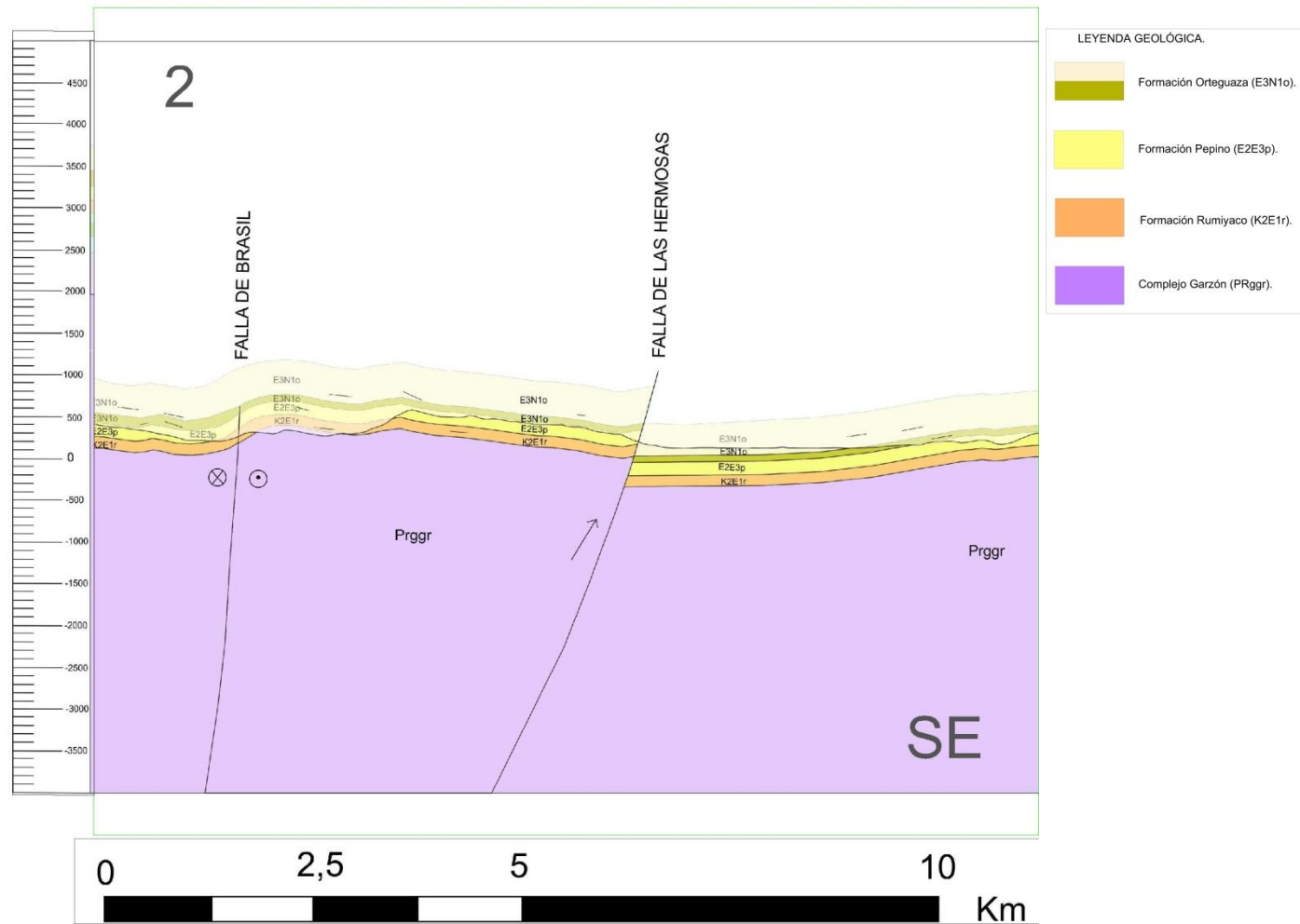
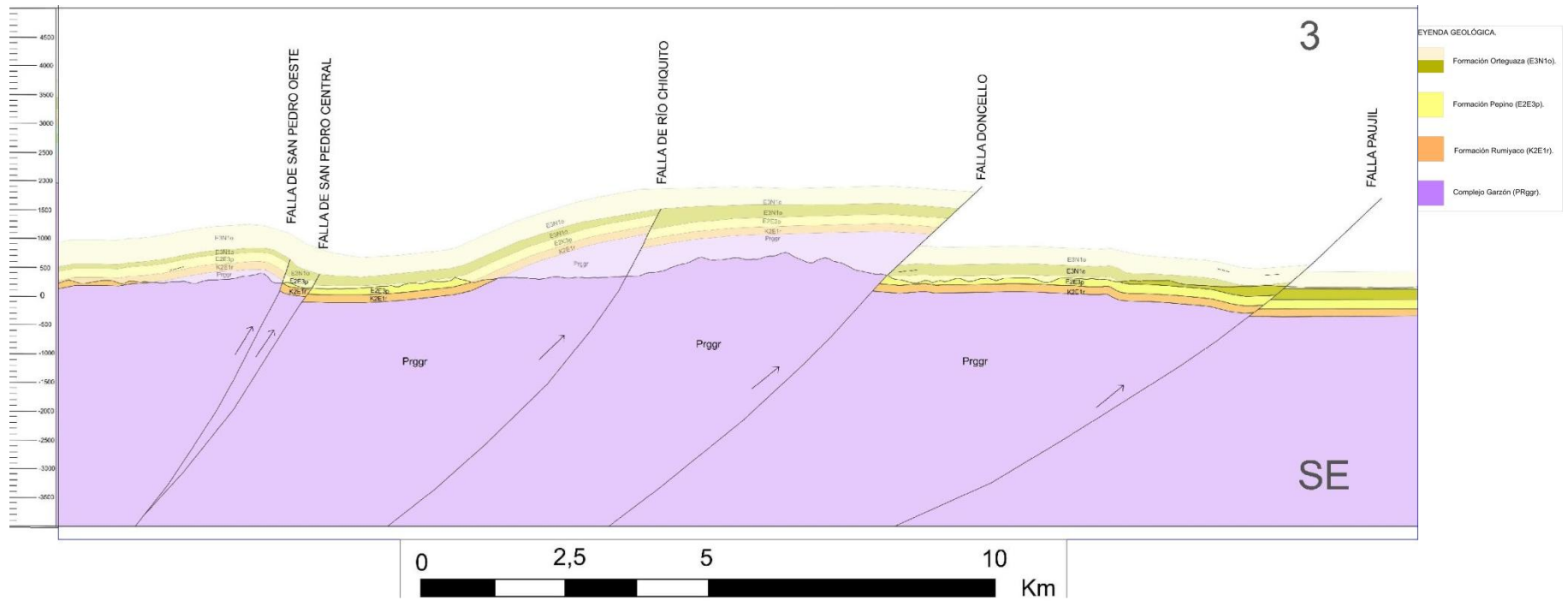


Figura 29: Fallas al SE de la sección todas ellas de carácter inverso y buzando al NW, además se aprecia el desplazamiento de las formaciones que se interpretó de la Falla Doncello.



8.1.5 Sección (E-E'')

Figura 30: Ubicación de la Sección E-E'' en el mapa Geológico con su extensión y representación de los acercamientos.

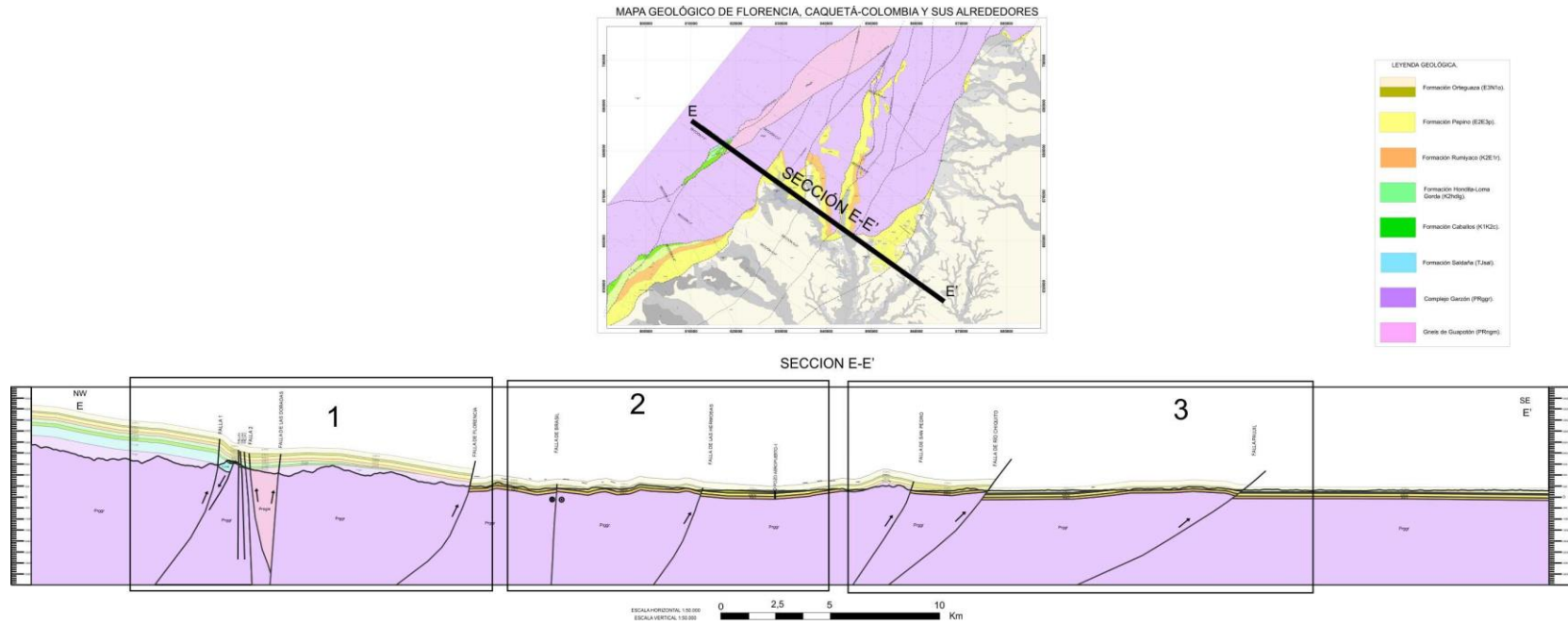


Tabla 8: Descripción de la Sección E-E".

Azimut de rumbo: 125°	Coordenadas de inicio: X:810043.012 Y:686662.868
Longitud: 68.937 Km	Coordenadas de finalización: X:866209.566 Y:656654.080
<p>Descripción:</p> <p>Al NW de la sección se hace evidente como el Gneis de Guapotón se reduce en tamaño y es limitado por la Falla 1 al oeste, y por la Falla las Doradas al este; al igual que en la sección anterior se aprecia la existencia de la secuencia litológica constituida por las Formaciones Saldaña (en este caso su extensión es limitada por una falla normal que se considera reactivada, la cual tiene buzamiento NW y esta fosilizada por litologías siguientes a esta Formación), las Formaciones Caballos, y Hondita-Loma Gorda (que se acuñan al este) afloran en un espacio favorecido por la existencia de la falla denominada como 1, y también por fallas inversas de buzamiento SE, ubicadas al sur de la falla Santa Helena (dichas fallas fueron nombradas de oeste a este como: falla 5, falla 4, falla 3 y falla 2, en donde se aclara que estos nombres no hacen referencia a la edad u orden cronológico de las mismas); avanzando hacia el SE en la sección se encuentra la Falla de las Doradas, y la de Florencia que está cortando a toda la secuencia litológica; A menara de resumen al sur de la sección, están presentes las fallas de Brasil (fosilizada por la Formación Orteguzza), Las Hermosas, San Pedro (que ahora es un solo trazo de falla y no tres como lo es al norte, y además esta fosilizada por Orteguzza), y la Falla de Paujil, todas ellas de comportamiento inverso y buzamiento aproximado al NW.</p> <p>En esta sección se puede ver como la inclinación de las fallas va aumentando progresivamente hacia el oeste de la zona de trabajo y además que el control de los espesores de las formaciones esta favorecido por la proyección del pozo Aeropuerto 1.</p>	

Figura 31: Acercamiento de la región "1" mostrando las Fallas de la 1 a la 5 las cuales se encuentran al sur de la Falla de San Helena; así como la Falla normal que impidio la propagacion de la Formación Saldaña al E y SE; es notoria la union entre las Fallas 2 y de las Doradas que limitan el Gneis de Guapotón el cual sufre disminucion desde el norte (ver secciones anteriores) hacia el sur. Con respecto a las demas litologías, se aprecia como las Formaciones Caballos y Hondita Loma-Gorda se acuñan y adelgazan por completo al SE del acercamiento.

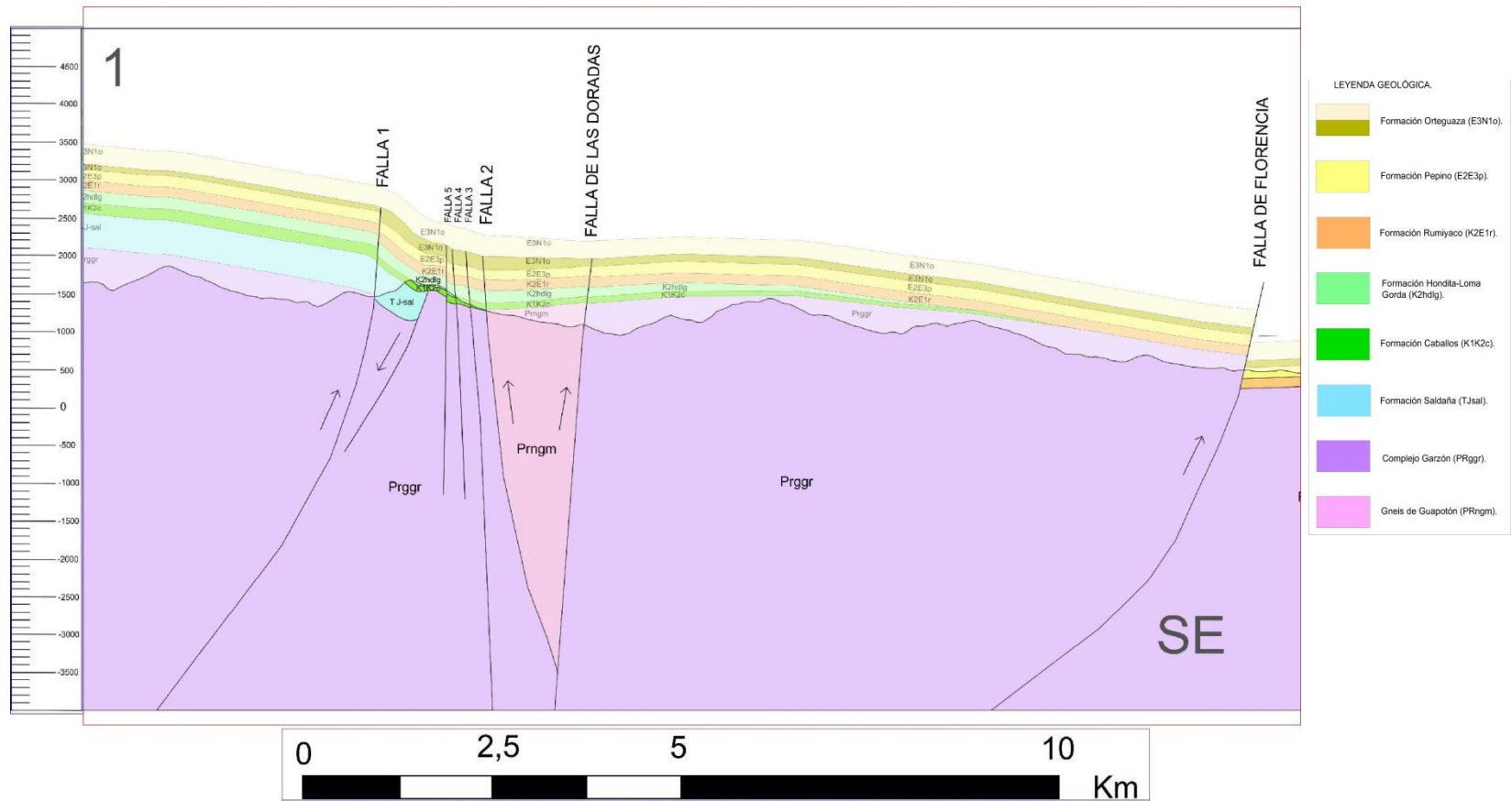


Figura 32: Acercamiento región "2" mostrando a las Fallas de Brasil y de las Hermosas; se muestra la ubicación del pozo Aeropuerto-1 mediante el cual se controló los espesores de las Formaciones.

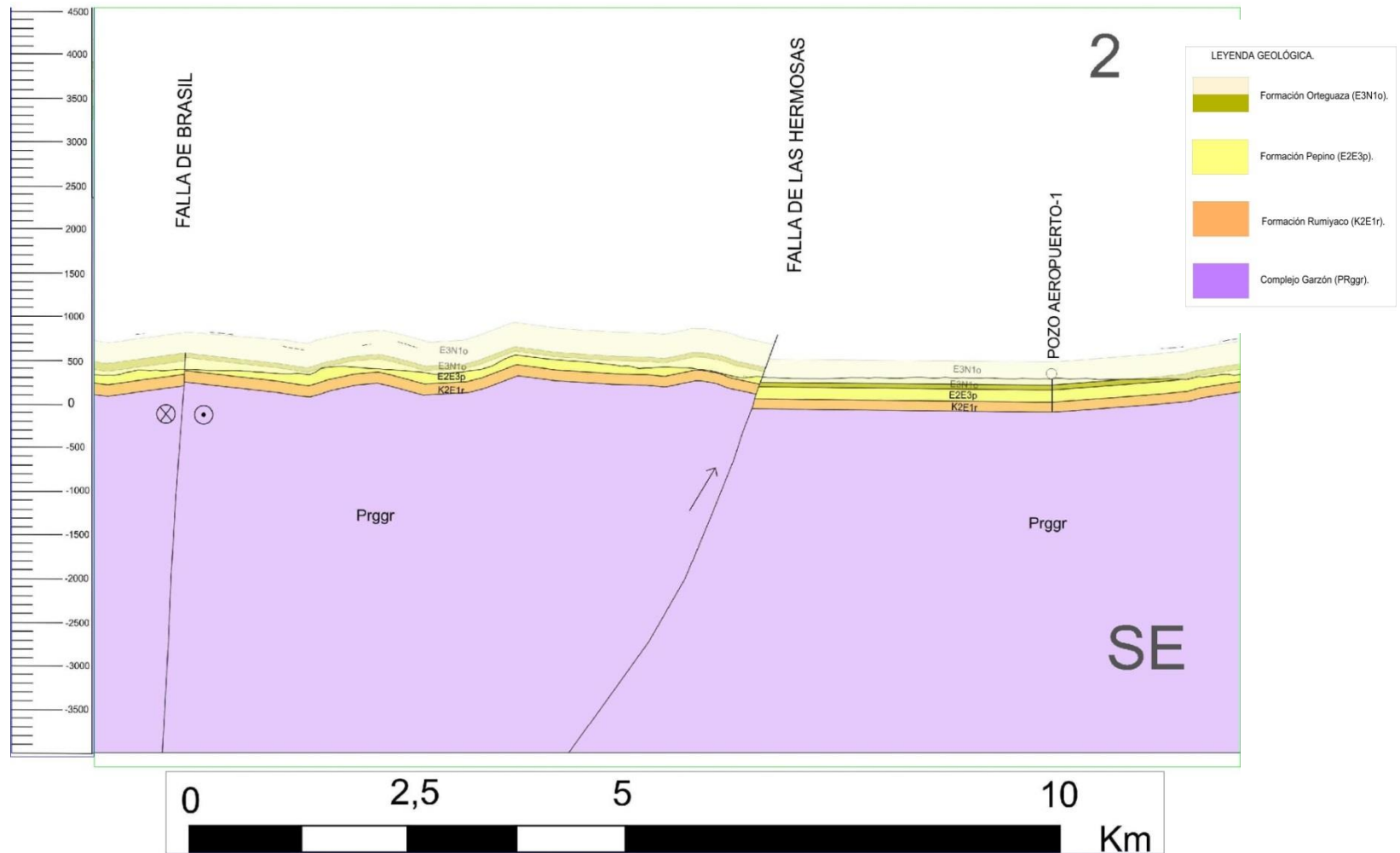
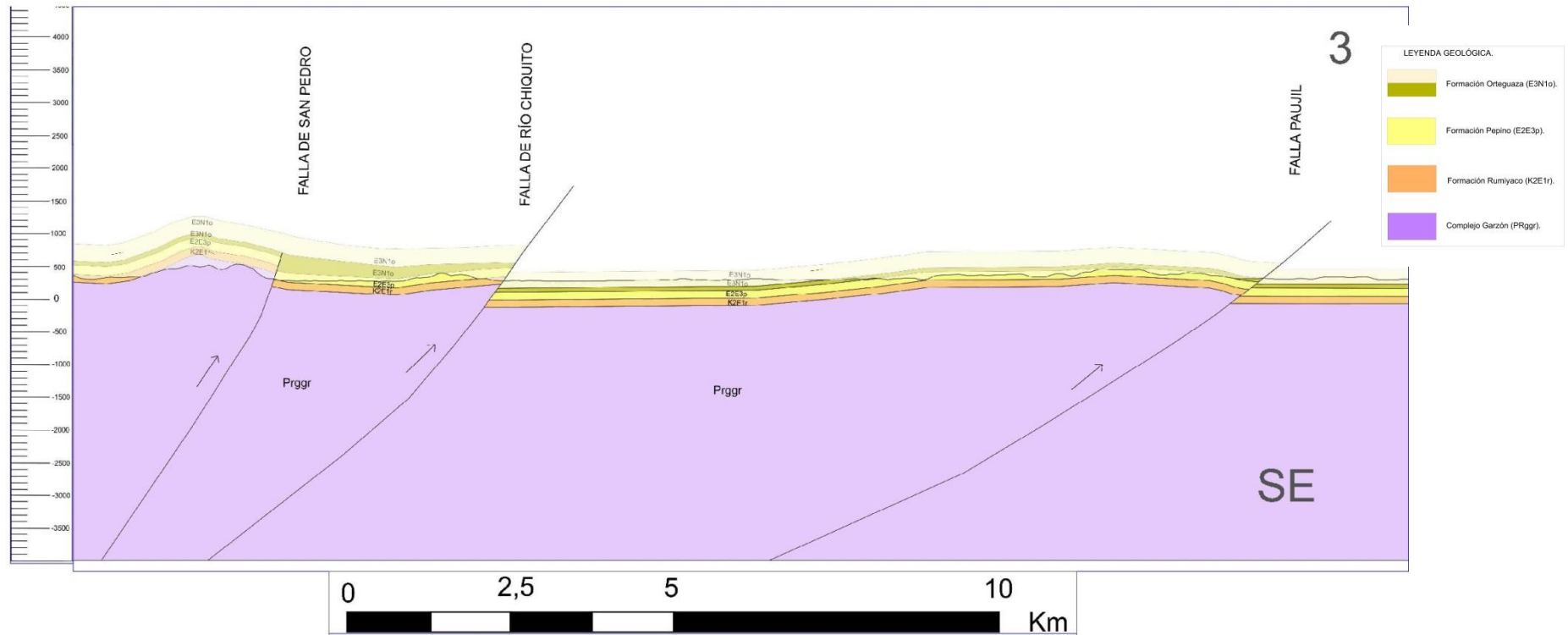


Figura 33: Se muestra la Falla de San Pedro (las tres fallas de San Pedro Oeste, Central y Este finalmente se unen para dar un solo trazo), las Falla de Río Chiquito y la Falla de Paujil; así mismo se puede apreciar un ligero aumento en el grado de inclinación de las mismas desde el SE al NW.



8.1.6 Sección (F-F’)

Figura 34: Ubicación de la Sección F-F' y representación de su extensión.

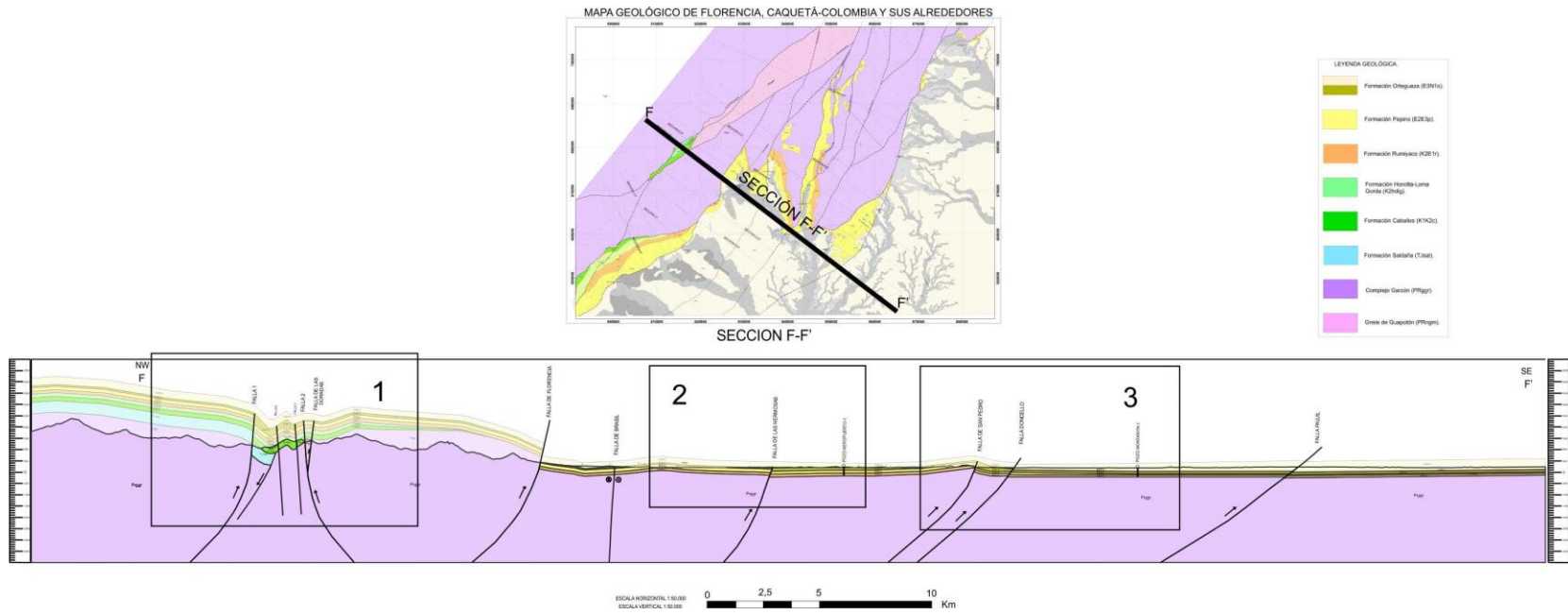


Tabla 9: Descripción de la Sección F-F".

Azimut de rumbo: 127°	Coordenadas de inicio: X:806151.741 Y:687237.439
Longitud: 72.477 Km	Coordenadas de finalización: X: 863798.135 Y:643266.567
<p>Descripción:</p> <p>Al NW de la sección se aprecia la continuación del espacio delimitado al oeste por la falla 1 (inversa buzando al NW) y al este por la falla 2 (inversa buzando al SE), como se puede ver en la sección estas fallas divergen y en su actuar generaron el espacio en el que están preservadas (aflorando) las formaciones desde Saldaña hasta Hondita-Loma Gorda, secuencia la cual se encuentra plegada (presencia de un sinclinal) y está afectada por las Fallas 4 y 3. Avanzando hacia el SE en la sección se aprecia la unión de la falla las Doradas con la Falla 2; la Falla de Florencia (no está fosilizada por la Formación Orteguzza), seguido a esta se encuentra la Falla de Brasil, la Falla de San Pedro, la de Doncello y la de Paujil (estas dos últimas no son fosilizadas por la Formación Orteguzza).</p> <p>El control de los espesores de la mayoría de las Formaciones que se muestran en esta sección fue realizado con la proyección de los pozos Aeropuerto 1 y Montañita; la secuencia litológica presente está conformada por Basamento (macizo de Garzón), Formación Saldaña, Caballos, Hondita Loma-Gorda (estas tres últimas acuñadas hacia el este), seguidas por Rumiayaco, Pepino y Orteguzza.</p>	

Figura 35: Se aprecia claramente como la Falla Normal (entre las Fallas 1 y 4) trunca la propagación al SE de la Formación Saldaña; en esta región la Secuencia Estratigráfica esta plegada y Fallada; las Formaciones Caballos y Hondita Loma-Gorda se acuñan hacia el SE. El Gneis de Guapotón ha disminuido su espesor.

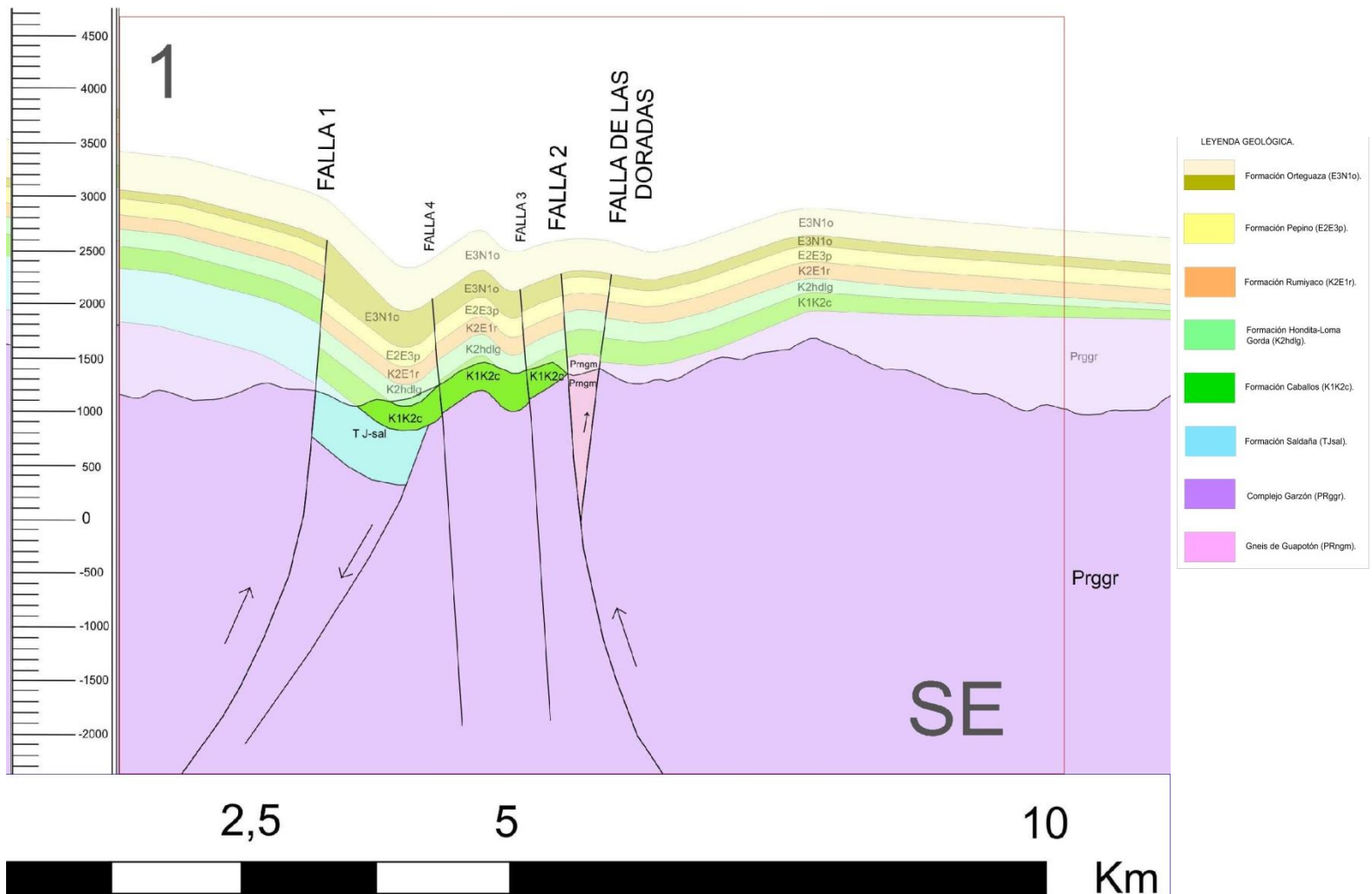


Figura 36: Acercamiento de la Región "2" mostrando la parte superior de la Falla de las Hermosas (la inclinación de la Falla es un poco mayor que a profundidad); el control de los espesores de las Formaciones esta a cargo del pozo Aeropuerto-1.

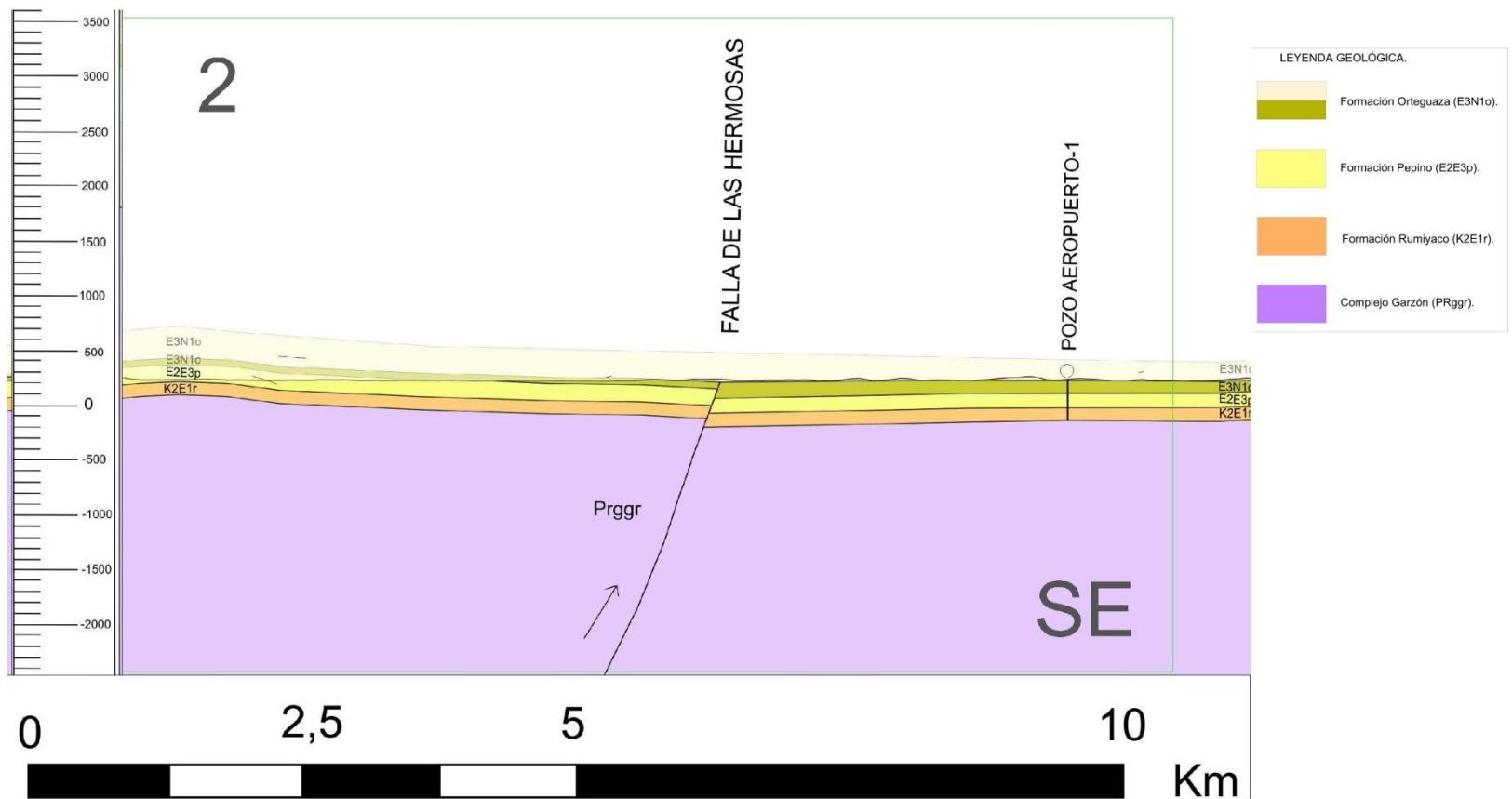
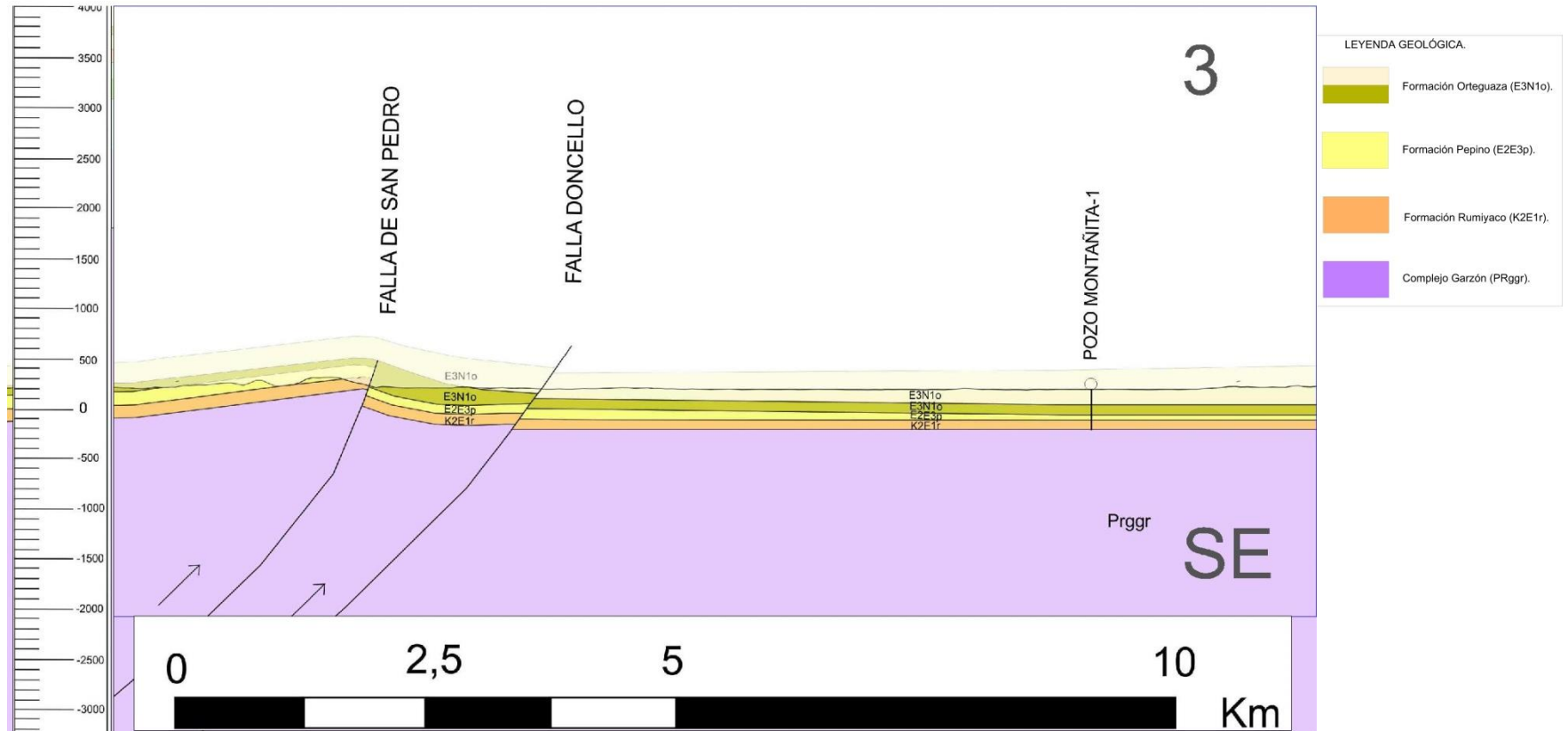


Figura 37: Acercamiento de la Región "3" mostrando la parte superior de las Fallas San Pedro y Doncello (en la region comprendida entre estas dos estructuras se nota un aumento en el espesor de la Subdivision denominada Intra-Orteguaza). Los espesores de las Formaciones estan controlados por el pozo Montañaíta-1.



8.1.7 Sección (G-G’)

Figura 38: Ubicación de la Sección G-G" en el mapa Geológico y representación de su extensión.

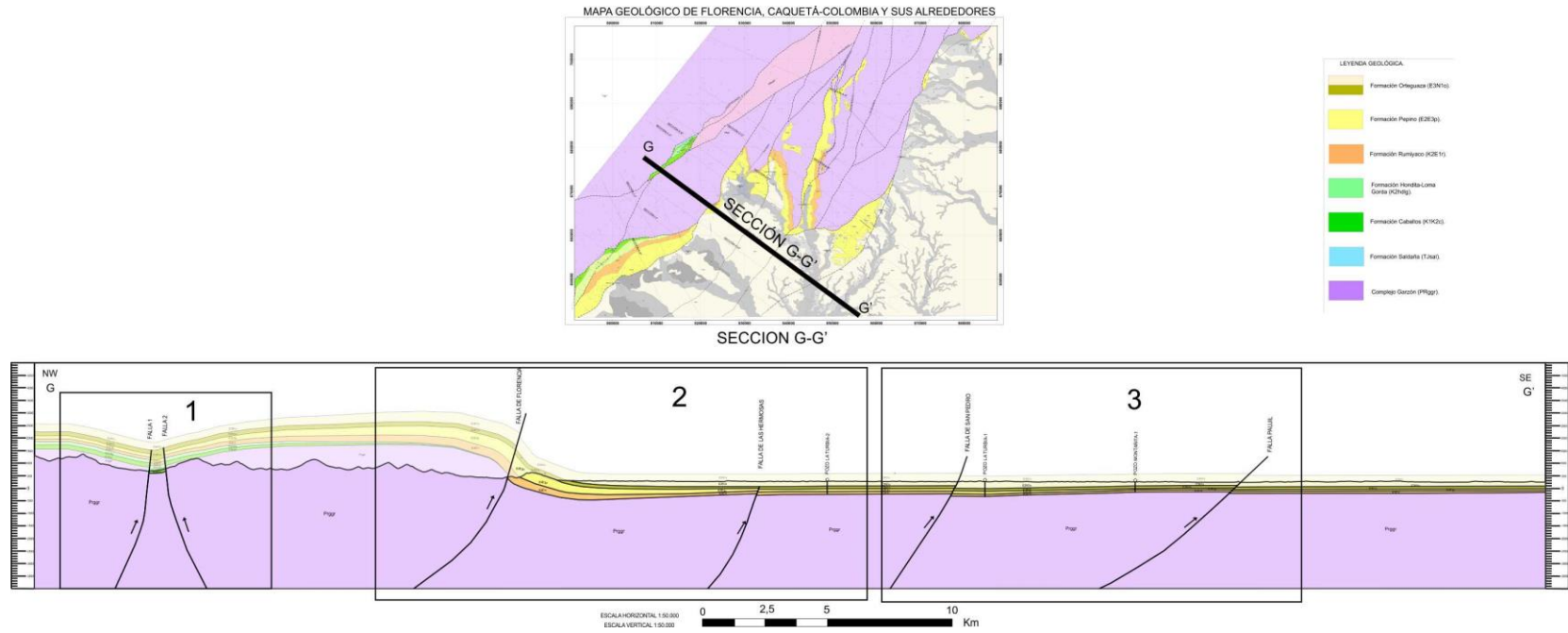


Tabla 10: Descripción de la Sección G-G".

Azimut de rumbo: 126°	Coordenadas de inicio: X:807025.832 Y:677729.143
Longitud: 63.087 Km	Coordenadas de finalización: X:856365.972 Y:641544.672
<p>Descripción:</p> <p>Nuevamente se aprecian las fallas con buzamientos opuestos o divergentes (Fallas denominadas como 1 y 2), pero esta vez el espacio que ellas permiten está relleno con las Formaciones Saldaña y Caballos, dichas Formaciones junto con Hondita Loma-Gorda se acuñan completamente hacia el SE de la sección, extinguiéndose antes de encontrarse con la Falla de Florencia. Esta sección tiene el control de tres pozos (Turbia 2, Turbia 1 y Montañita 1) y gracias a estos es posible ver como los estratos se adelgazan hacia el este. Finalmente al SE de la sección se evidencian los trazos que corresponden a las estribaciones sur de las fallas las Hermosas (fosilizada por la depositación de la parte superior de la Formación Orteguaza), San Pedro y Paujil (estas dos últimas cortando a toda la secuencia litológica).</p>	

Figura 39: Acercamiento Región "1" mostrando el espacio generado por el actuar de las Fallas 1 y 2 en el cual se depositó y preservó la Formación Caballos (para esta zona no hay indicios de la depositación de la Formación Saldaña).

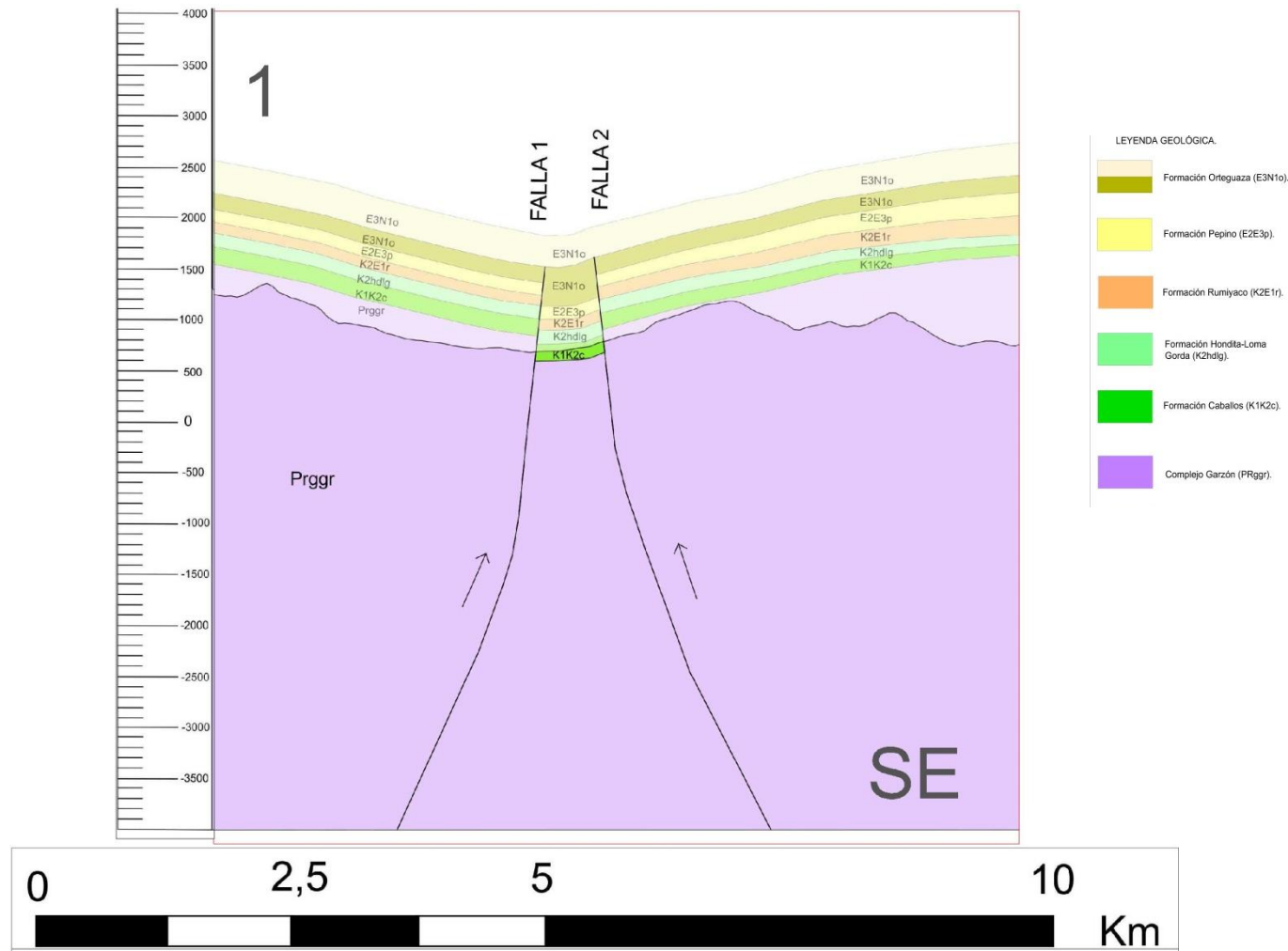


Figura 40: Se aprecia un adelgazamiento de las Formaciones Rumiayaco, Pepino y Orteguzza puesto que el espesor que tienen al SE de la Falla de Florencia, es mayor al que el registra el pozo Turbia-2 (Caballos y Hondita Loma-Gorda desaparecen al NW de la Falla de Florencia).

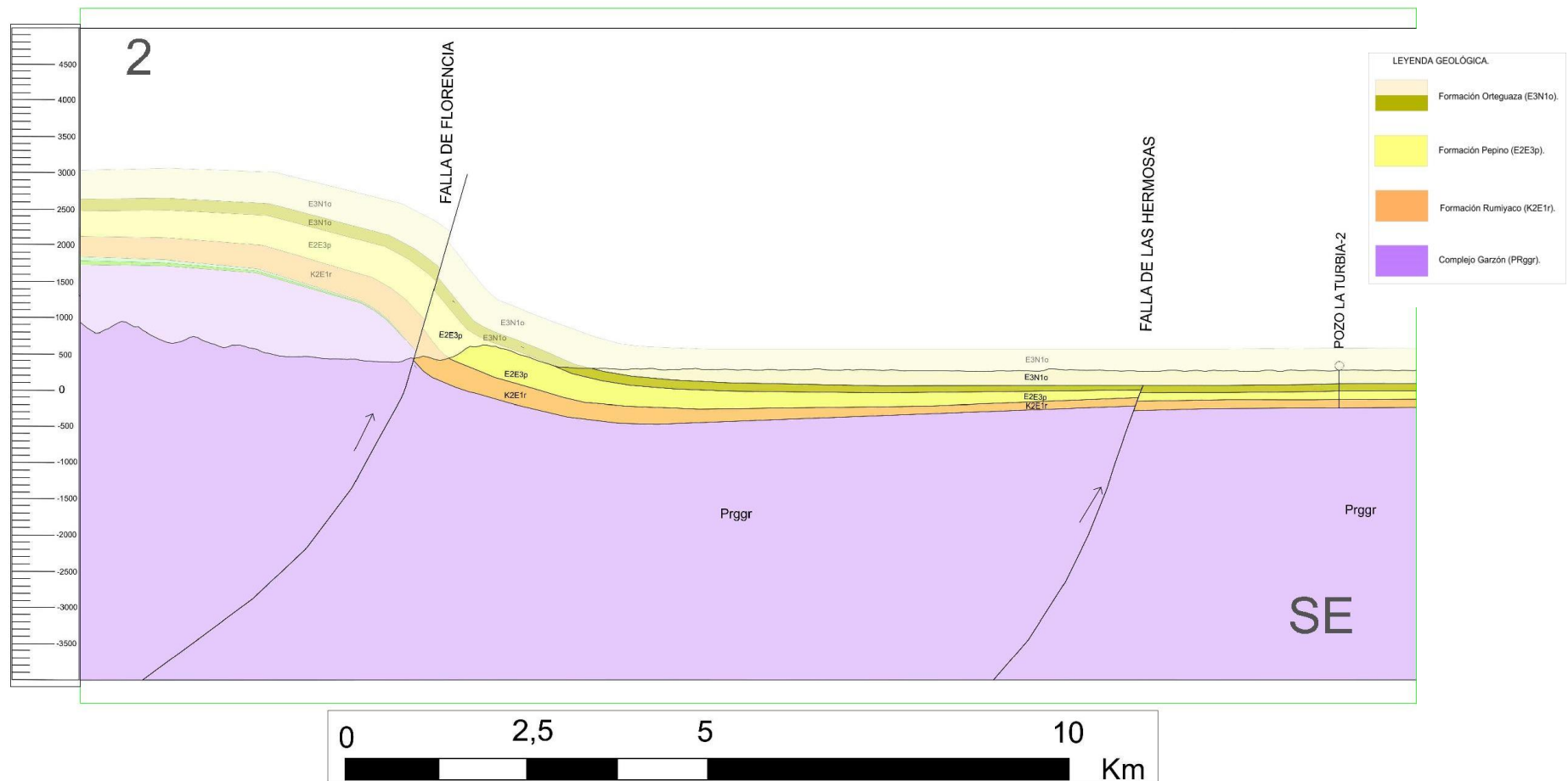
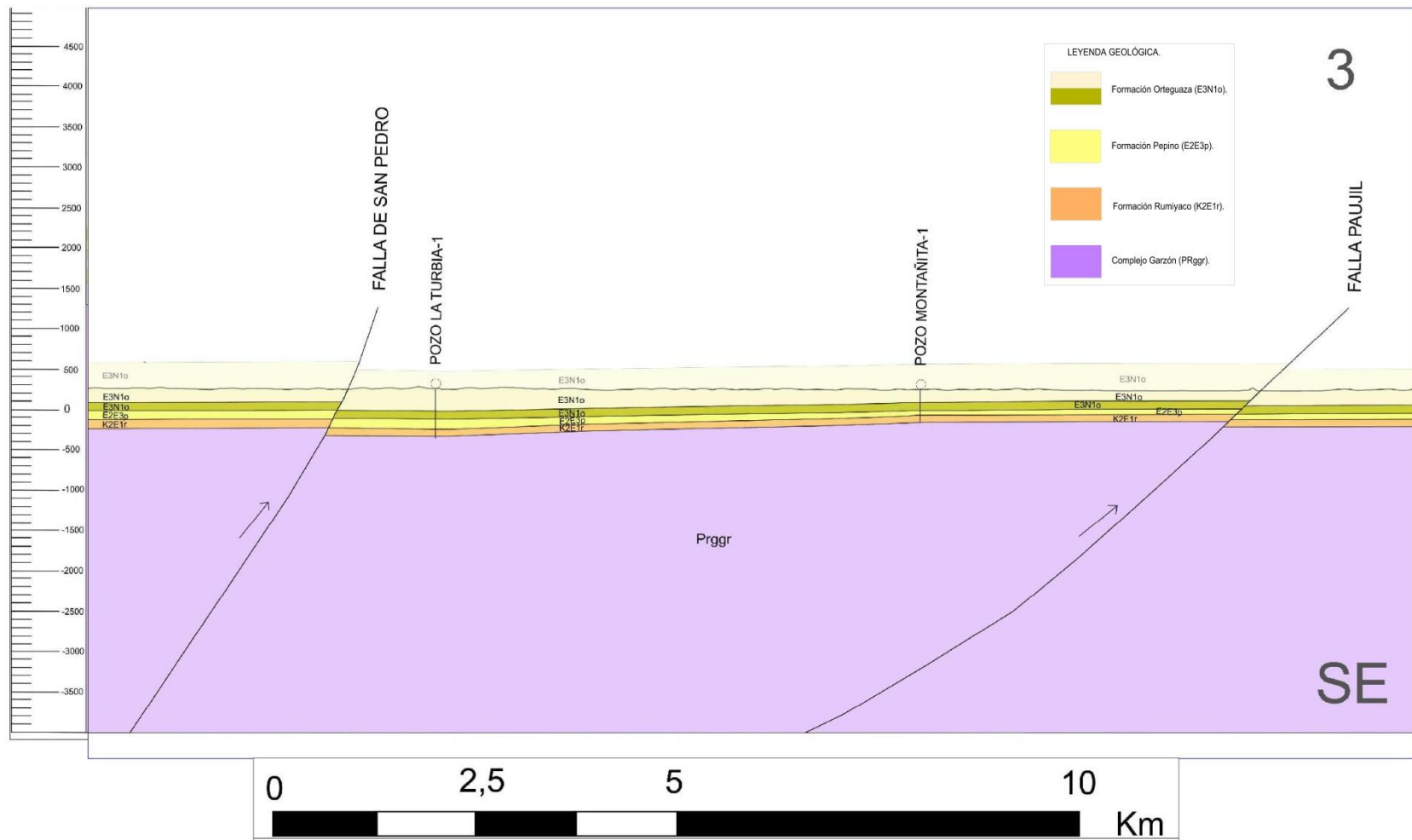
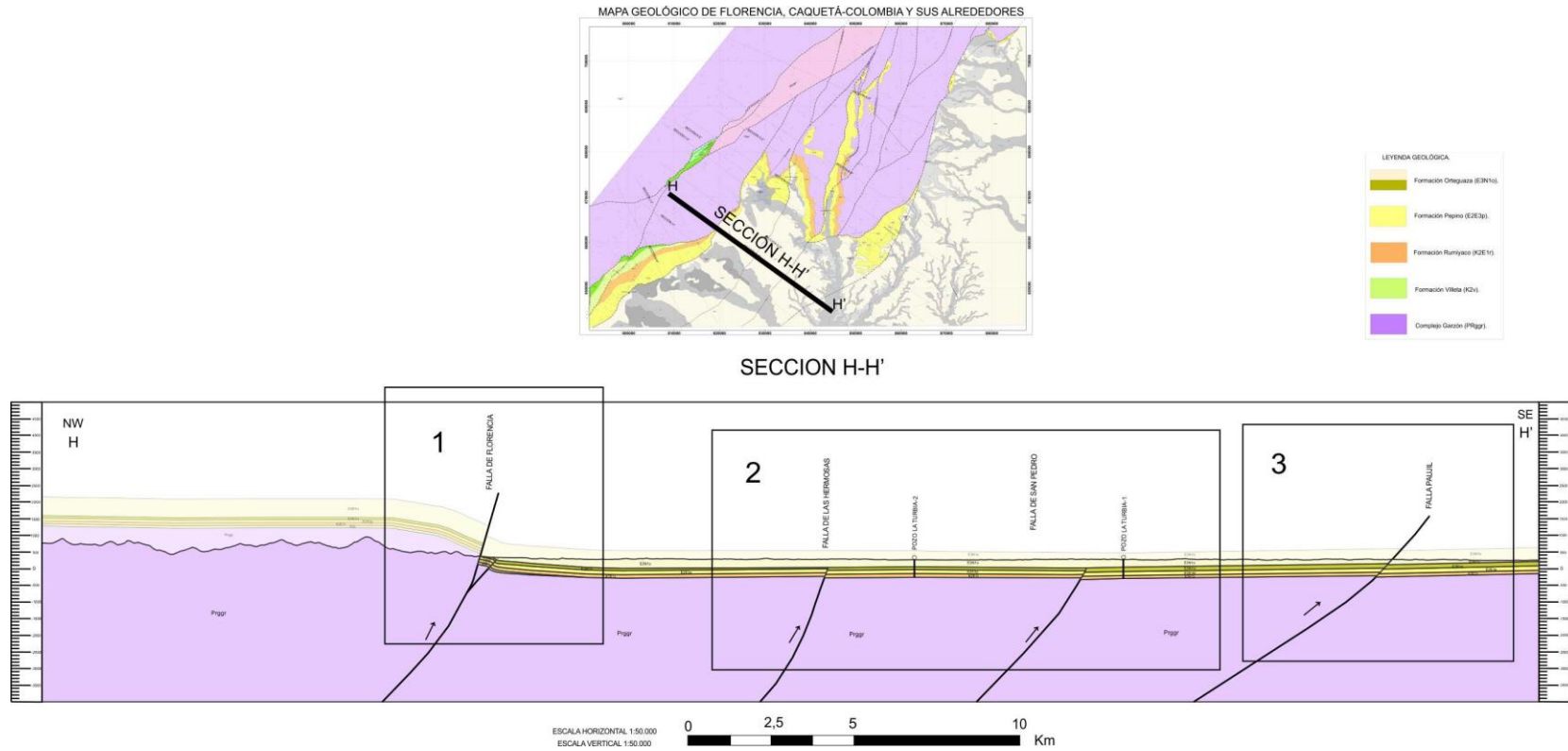


Figura 41: Se aprecia la parte superior de las Fallas San Pedro y Paujil así como una ligera disminución en el espesor de las Formaciones según lo registrado por los pozos Turbia-1 al NW de la imagen y Montañita-1 al SE del actual segmento de la Sección G-G".



8.1.8 Sección (H-H')

Figura 42: Ubicación de la Sección H-H' en el mapa Geológico y representación de su extensión, mostrando las tres regiones de acercamiento.



Azimut de rumbo: 125°	Coordenadas de inicio: X:808691.043 Y:670847.263
Longitud: 44.844 Km	Coordenadas de finalización: X:845165.393 Y:644729.827
<p>Descripción:</p> <p>La presencia de estructuras geológicas se hace menos evidente para esta zona en la que se puede destacar la falla de Florencia que continua con su cinemática inversa de buzamiento para el NW y que sigue poniendo en contacto al Macizo de Garzón con la secuencia sedimentaria que en este caso consiste de las Formaciones Caballos (se acuña poco después del trazo de falla en mención), Rumiayaco, Pepino y Orteguaza (cuyos espesores fueron controlados por los pozos la Turbia 2 y la Turbia 1, con excepción de la Formación Caballos); también es posible observar las estribaciones norte de la falla del Sistema de Borde Amazónico, la cual se une en profundidad con la Falla de Florencia. Al SE de la sección se interpretó la continuidad de las fallas las Hermosas y San Pedro como fosilizadas bajo la Formación Orteguaza (solo llegan a cortar a la subdivisión Intra-Orteguaza); finalmente se halla a la Falla de pajil con la misma mismo comportamiento inverso y buzamiento al NW.</p>	

Tabla 11: Descripción de la Sección H-H''

Figura 43: Acercamiento de la región "1" mostrando la Falla del Sistema de Borde Amazónico uniéndose en profundidad con la Falla de Florencia (que es de carácter regional); además se aprecia el acuñamiento al SE de la Formación Villeta.

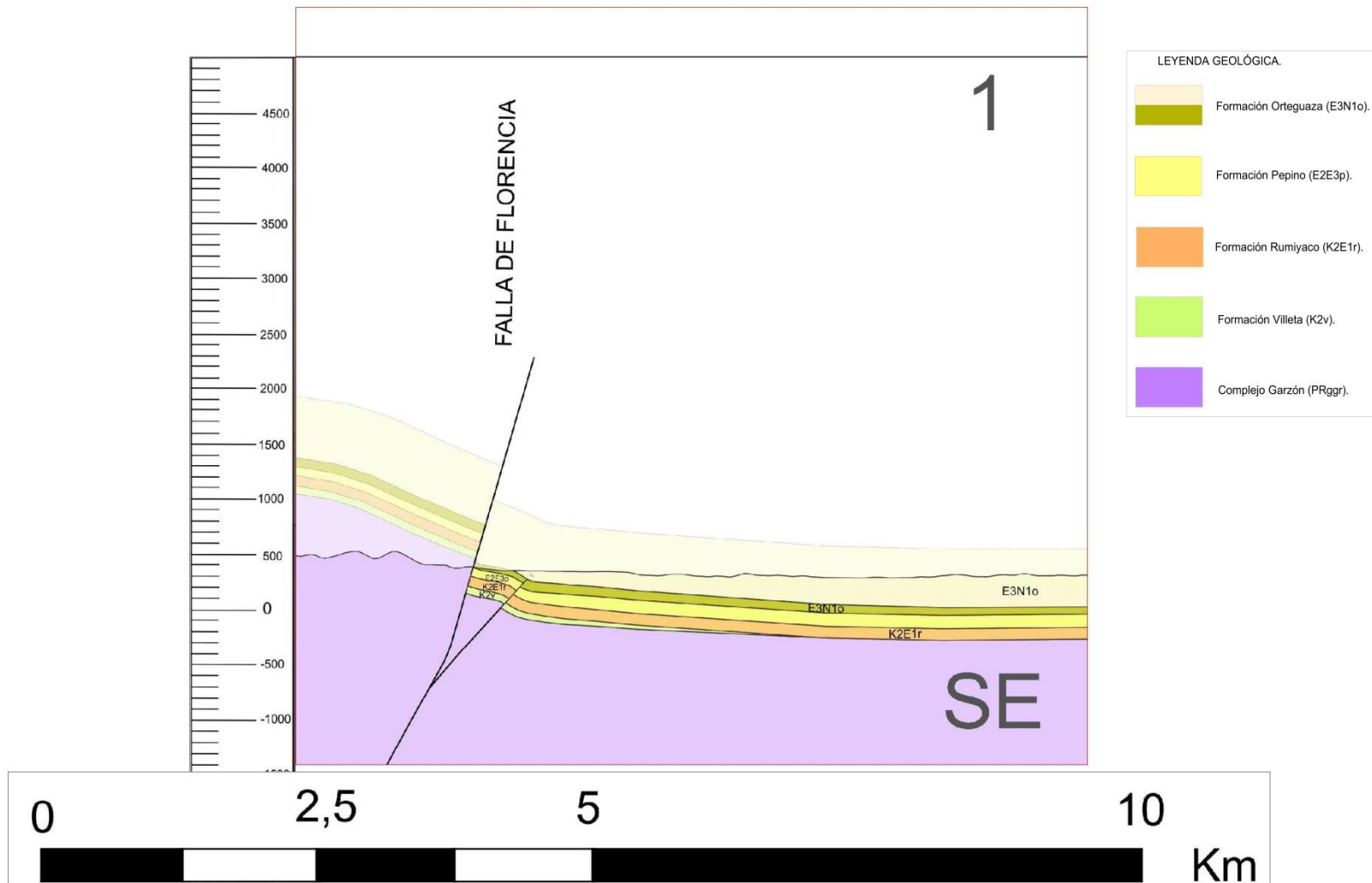


Figura 44: Representación del acercamiento de la región “2” donde se observa en la parte superior de las Fallas de las Hermosas y San Pedro que están fosilizadas por la Formación Orteguaza; el control de los espesores esta a cargo de los pozos Turbia-2 y Turbia-1.

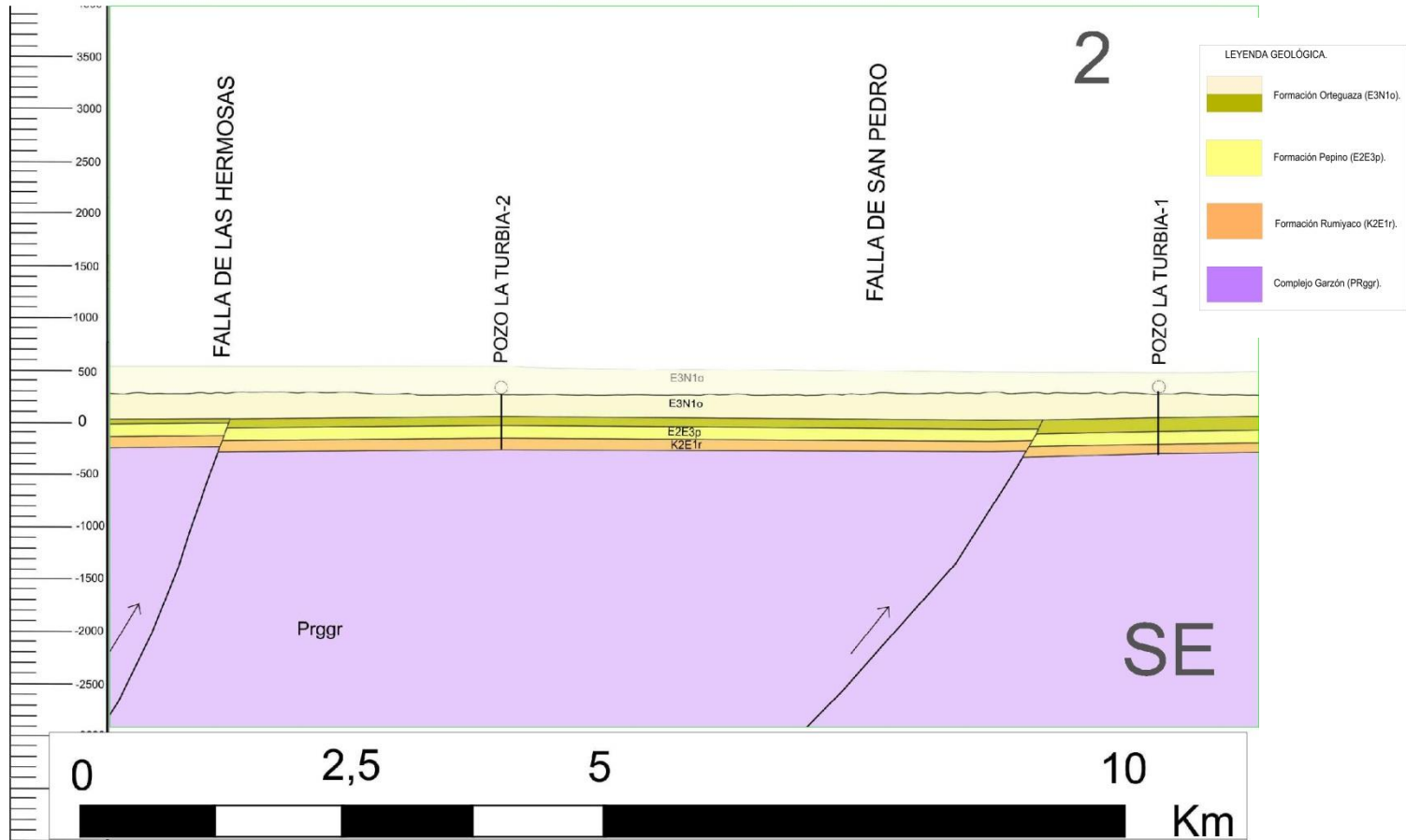
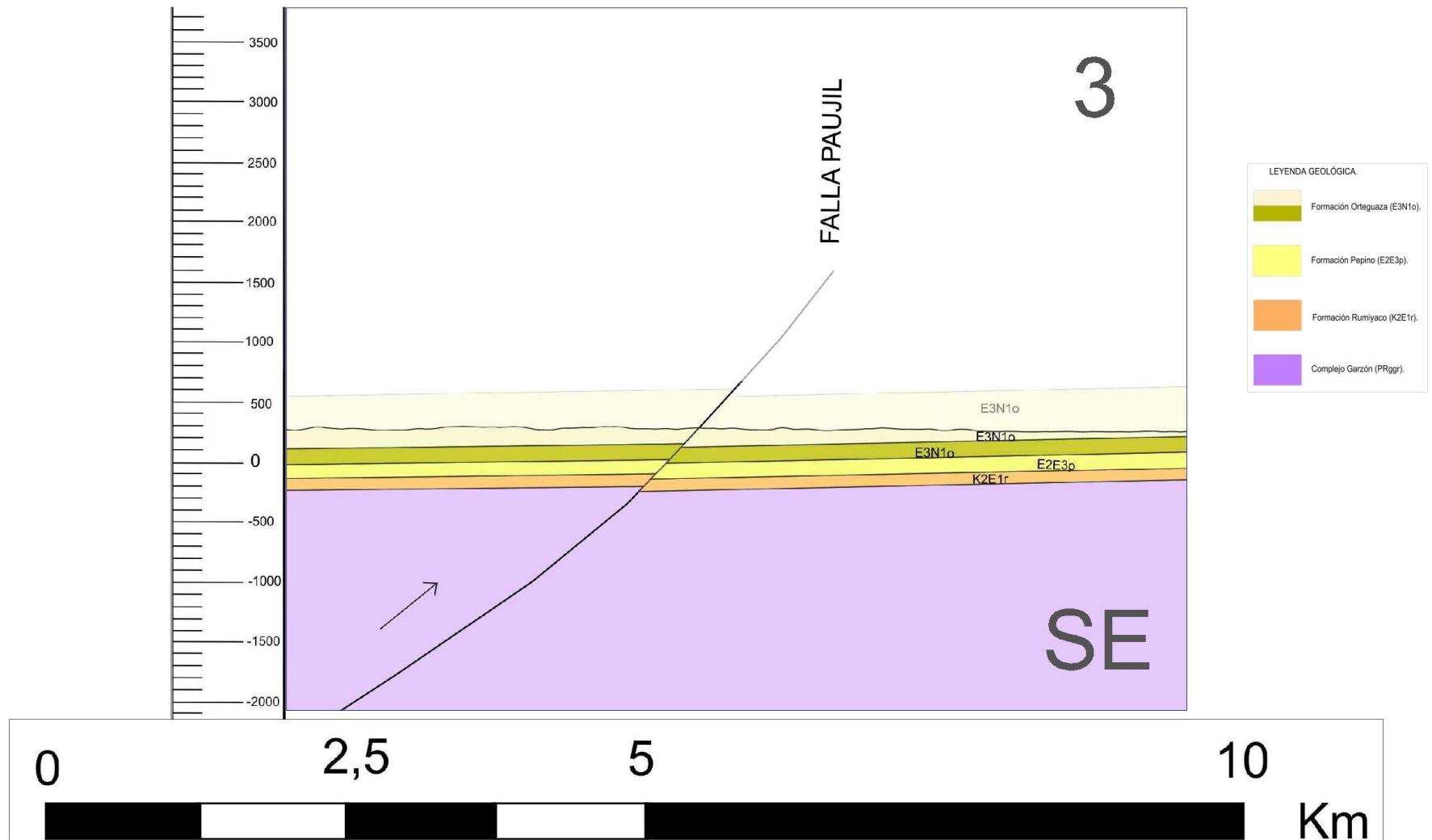


Figura 45: Parte superior de la Falla de Paujil (su grado de inclinación es ligeramente mayor que en una región mas profunda); esta es la falla mas al SE de la sección y se puede ver que corta a toda la secuencia litologica.



8.1.9 Sección (I-I')

Figura 46: Ubicación de la Sección I-I' en el mapa Geológico y su esquema, con 3 regiones de acercamiento.

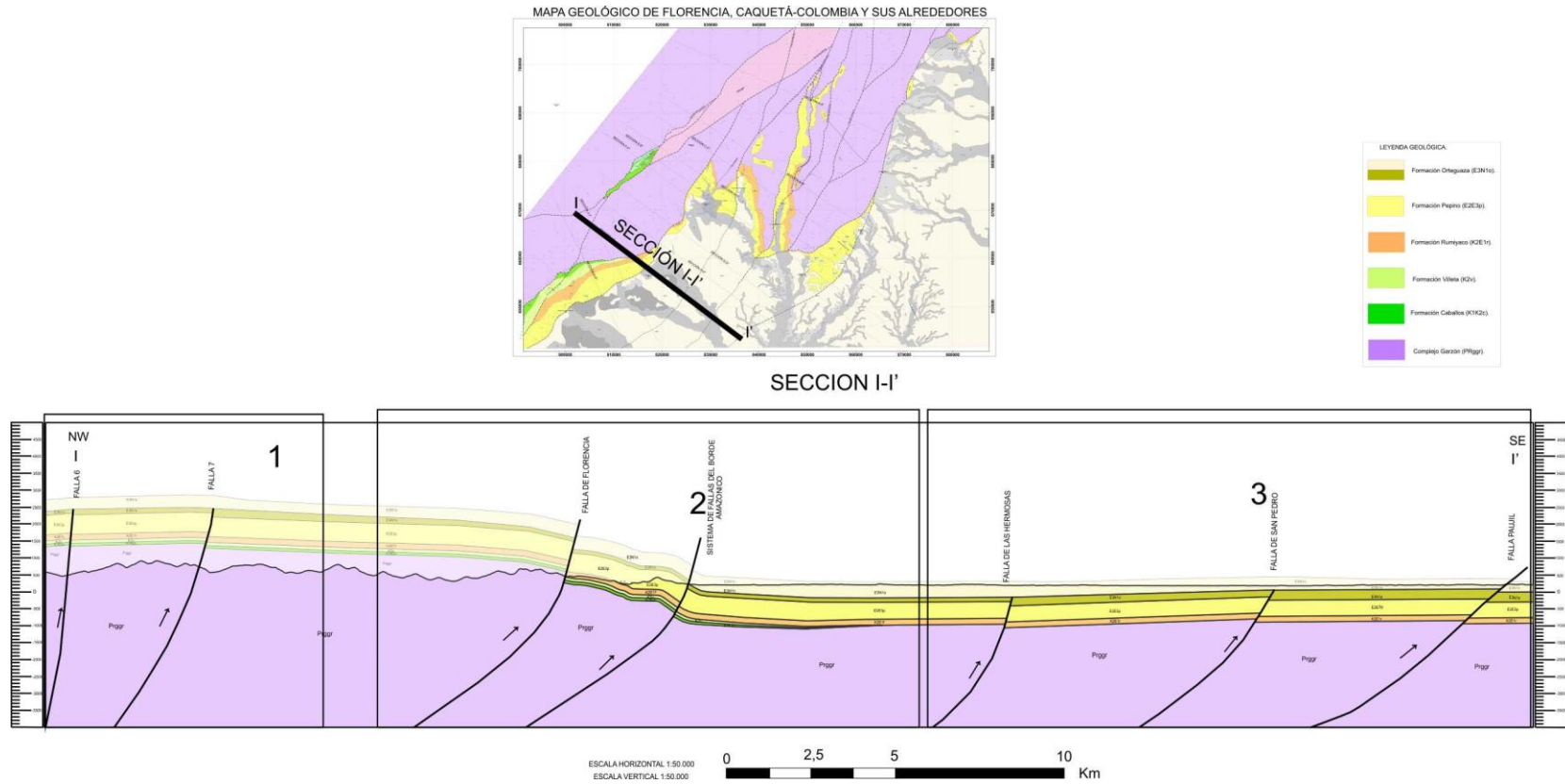


Tabla 12: Descripción de la Sección I-I".

Azimut de rumbo: 127°	Coordenadas de inicio: X:801907.788 Y:669406.952
Longitud: 43.849 Km	Coordenadas de finalización: X:836308.257 Y:643415.338
<p>Descripción:</p> <p>Se pueden apreciar dos trazos de Falla que no aparecen en las secciones anteriores, ambas tienen igual cinemática la cual es inversa con buzamiento al NW y aunque afloran se interpretó que debieron estar cubiertas por la Formación Orteguaza; también se evidencia una imbricación de la falla de Florencia hacia el SE (con escamación de tipo piel gruesa en donde el frente de desarrollo de fallas va en dirección a la vergencia de la falla); dicha falla de imbricación hace que la secuencia litológica se pliegue buzando hacia el SE. En esta sección están presentes las formaciones Caballos, Villeta, Rumiaco, Pepino, Orteguaza; se interpretó que el acunamiento de las formaciones del cretácico (Caballos y Villeta) va desde el SE hacia el NW (también de norte a sur), el acunamiento total ocurre poco después del SFBA. Al SE de la sección se aprecia la fosilización de las fallas de las Hermosas y San Pedro, por parte de la Formación Orteguaza afectando hasta un poco después de la formación pepino en la secuencia estratigráfica (afectando a Intra-Orteguaza).</p>	

Figura 47: Acercamiento de la Región "1" mostrando las litologías erodadas (Formaciones Caballos, Villeta, Rumiayaco, Pepino y Ortegaza) y los trazos de las Fallas 6 y 7 las cuales son Inversas Buzando al NW.

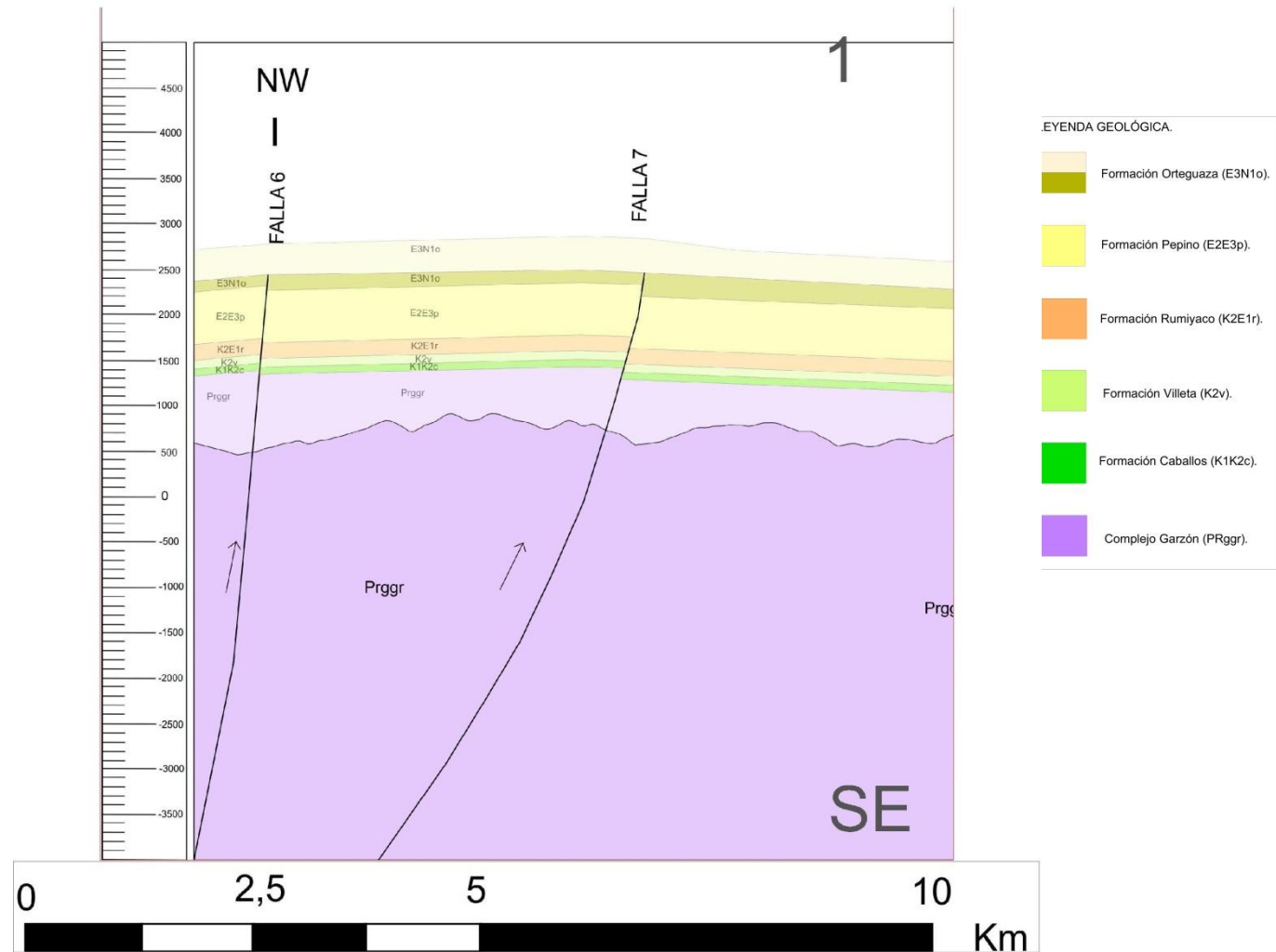


Figura 48: Se aprecia el adelgazamiento y acuñamiento de la Formación Caballos y Villeta; también es evidente como el ángulo de inclinación de las Fallas de Florencia y del Sistema de Borde Amazónico es mayor cerca de la superficie que el observado a profundidad.

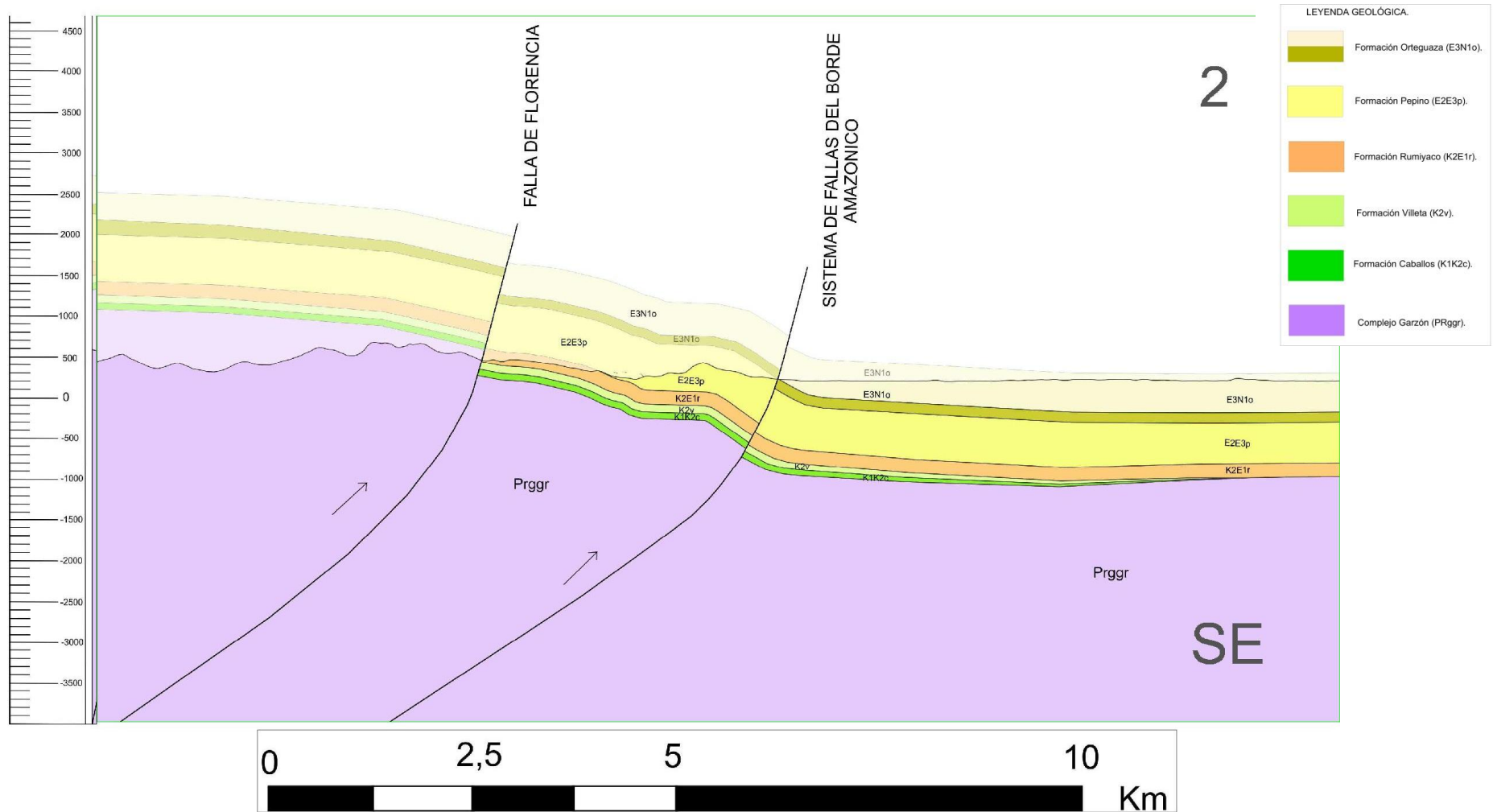
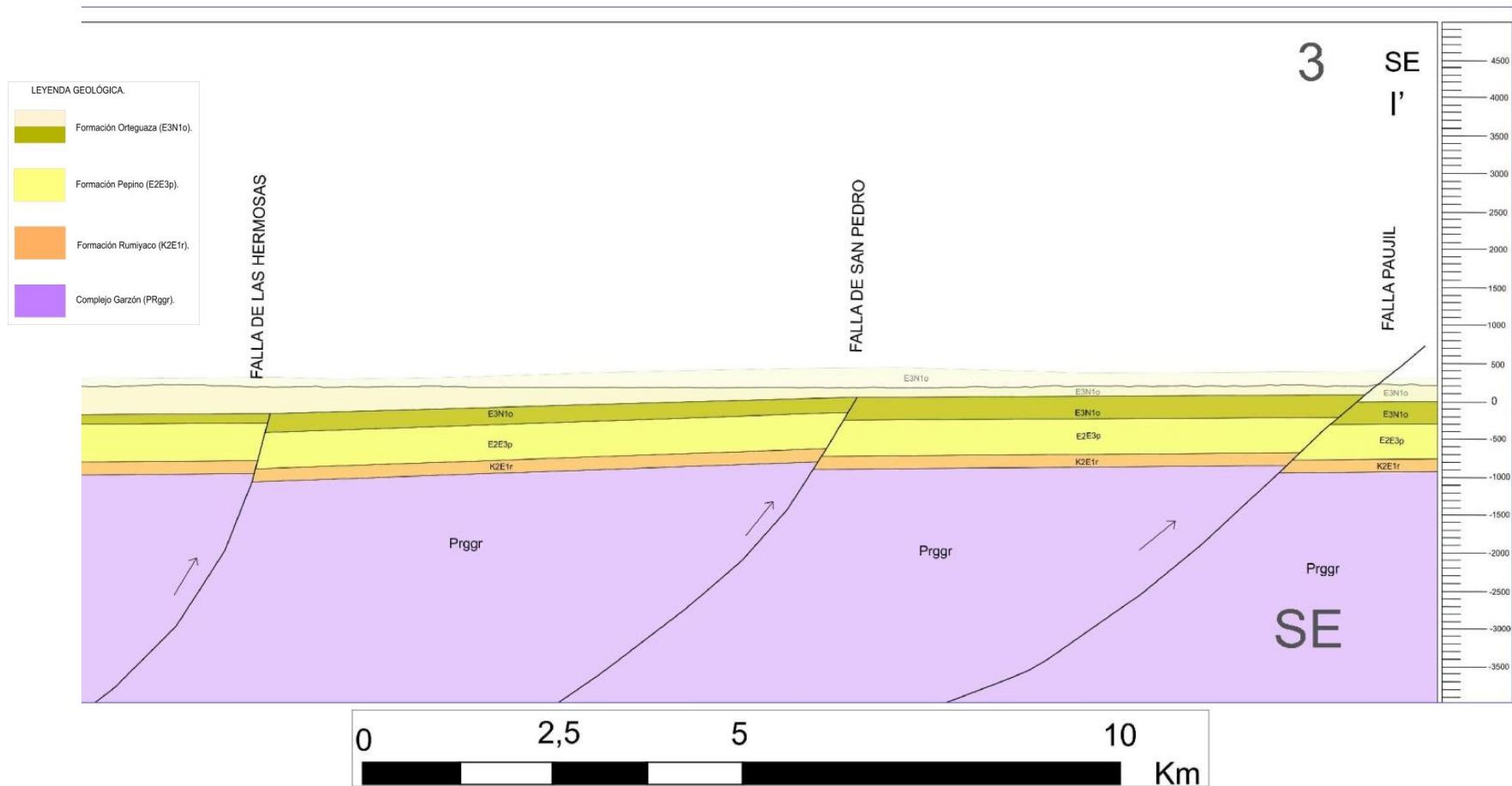


Figura 49: Acercamiento de la región "3" mostrando la parte superior (mas cercana de la superficie) de las Fallas Las Hermosas, San Pedro Y Paujil (esta ultima no fosilizada por la Formación Orteguzaza). En comparacion con la zona NW de esta sección el grado de erosión no ha sido tan fuerte y las Formaciones aun se preservan.



8.1.10 Sección (J-J’)

Figura 50: Ubicación de la Sección J-J' en el mapa Geológico y su representación con tres regiones de acercamientos.

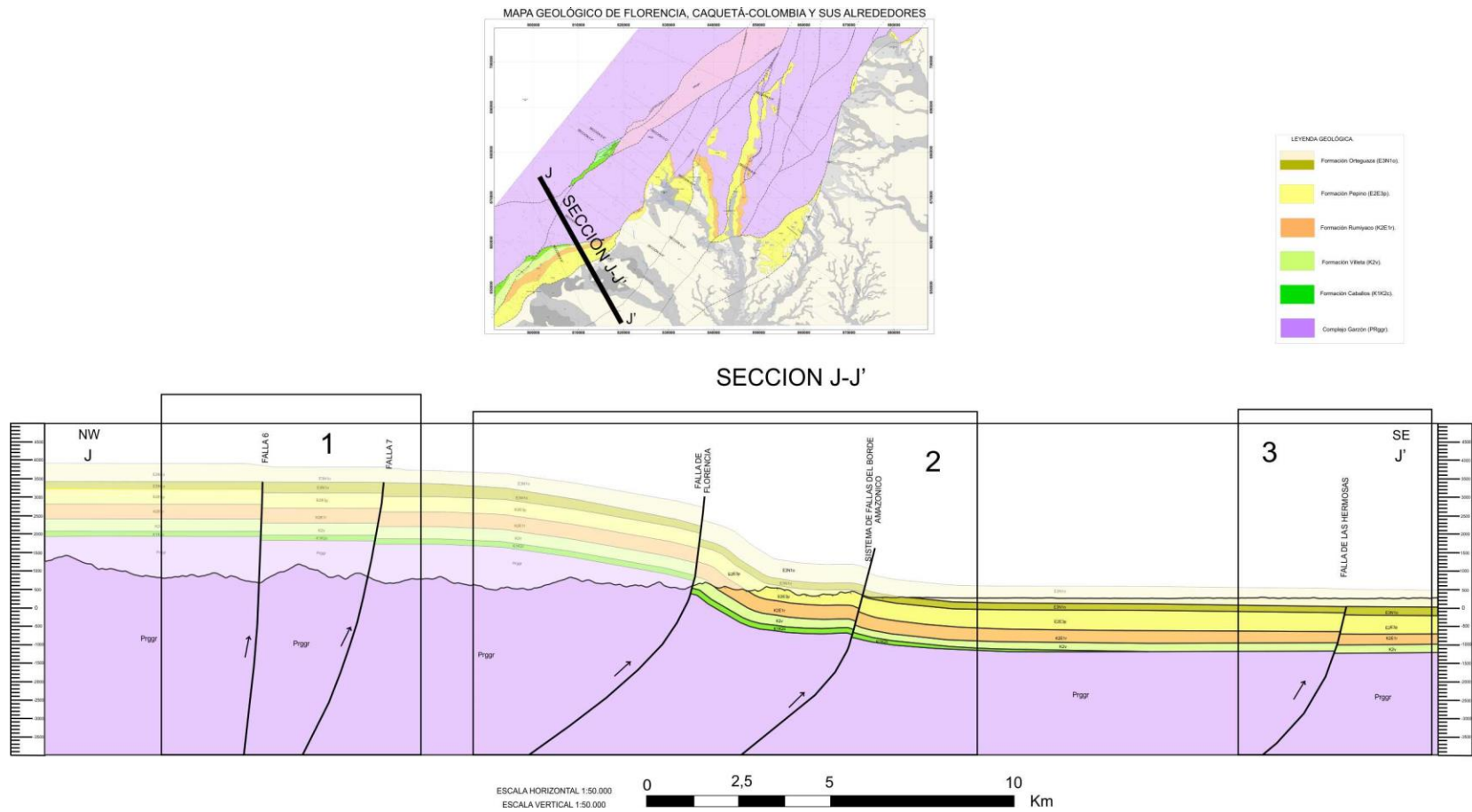


Tabla 13: Descripción de la Sección J-J".

Azimut de rumbo: 150°	Coordenadas de inicio: X:801286.171 Y:674714.114
Longitud: 37.471 Km	Coordenadas de finalización: X:819653.399 Y:642034.550
<p>Descripción:</p> <p>La configuración geológica de esta sección es muy semejante a la sección anterior dado que a pesar de que no se muestra la unión entre la falla de Florencia y su imbricación (SFBA) al SE, se cree que dicho contacto si existe pero a mayor profundidad (se deben seguir propagando las fallas); la secuencia estratigráfica de esta sección empieza con la Formación Caballos, precedida por las Formaciones Villeta, Rumiayaco, Pepino, y Orteguaza. en el corte afloran cuatro fallas (dos en el Macizo de Garzón de alto ángulo, seguidas por la Falla de Florencia y la falla del Sistema de Borde Amazónico), todas ellas inversas buzando al NW y cuyo ángulo de inclinación aumenta desde las que están al SE, hasta las que están al NW (se debe aclarar que no todos los planos de falla son rectos, existe el caso de la Falla de Florencia en la que su ángulo de inclinación disminuye con la profundidad); además de las anteriores estructuras se interpretó que la Falla de las Hermosas se propaga hasta esta región sur pero no aflora porque solo corta la base de la Formación Orteguaza, denominada en el presente informe como Intra-Orteguaza.</p>	

Figura 51: Acercamiento de la Región "1" mostrando la parte superior de las Fallas 6 y 7 que afectan a la secuencia (Formaciones Caballos, Villeta, Rumiyocho, Pepino e Intra-Orteguaza), las cuales finalmente son fosilizadas por la Formación Orteguaza.

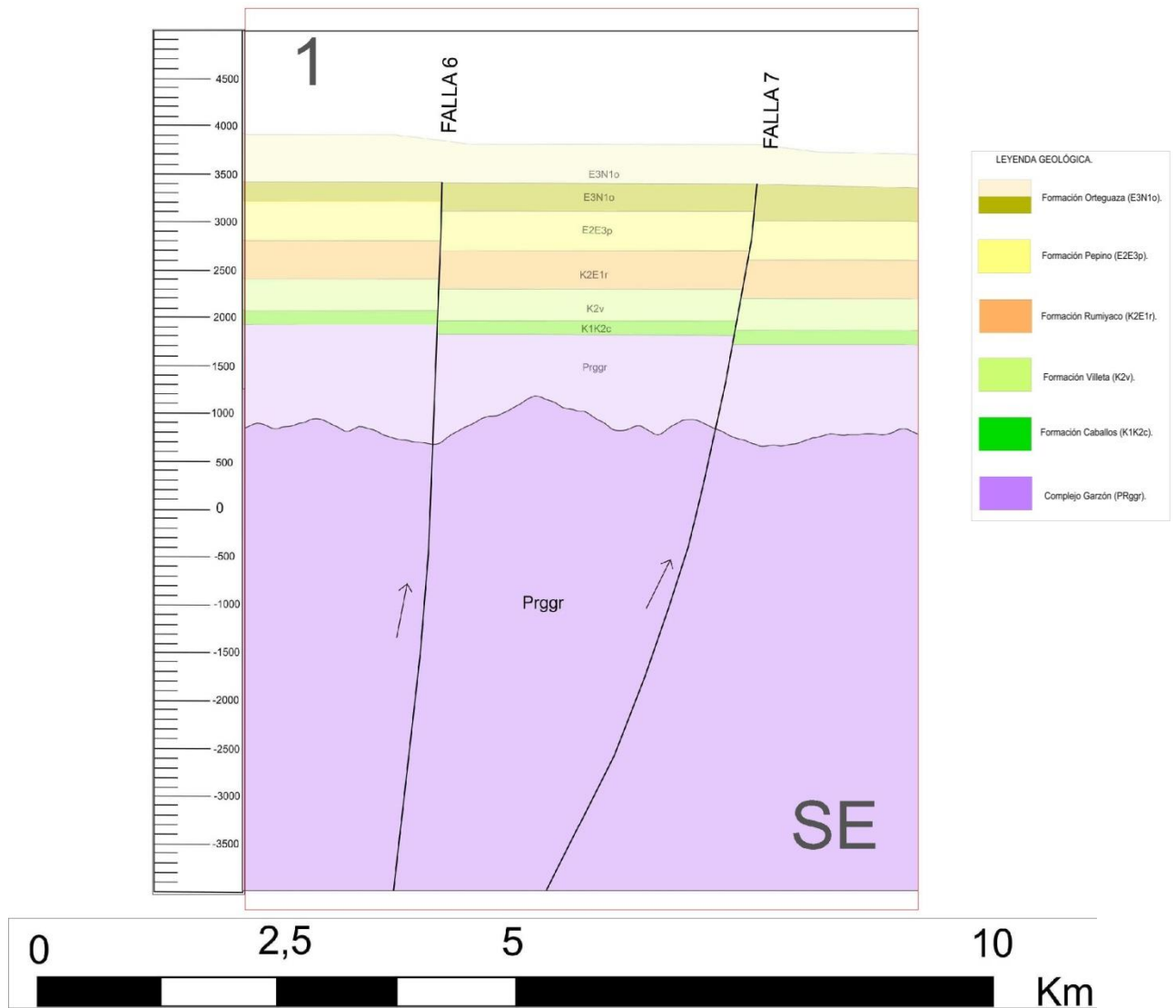


Figura 52: Las Fallas de Florencia y del Sistema del Borde Amazónico están cortando a toda la Secuencia; las Formaciones Caballos y Villeta se adelgazan al SE de la sección.

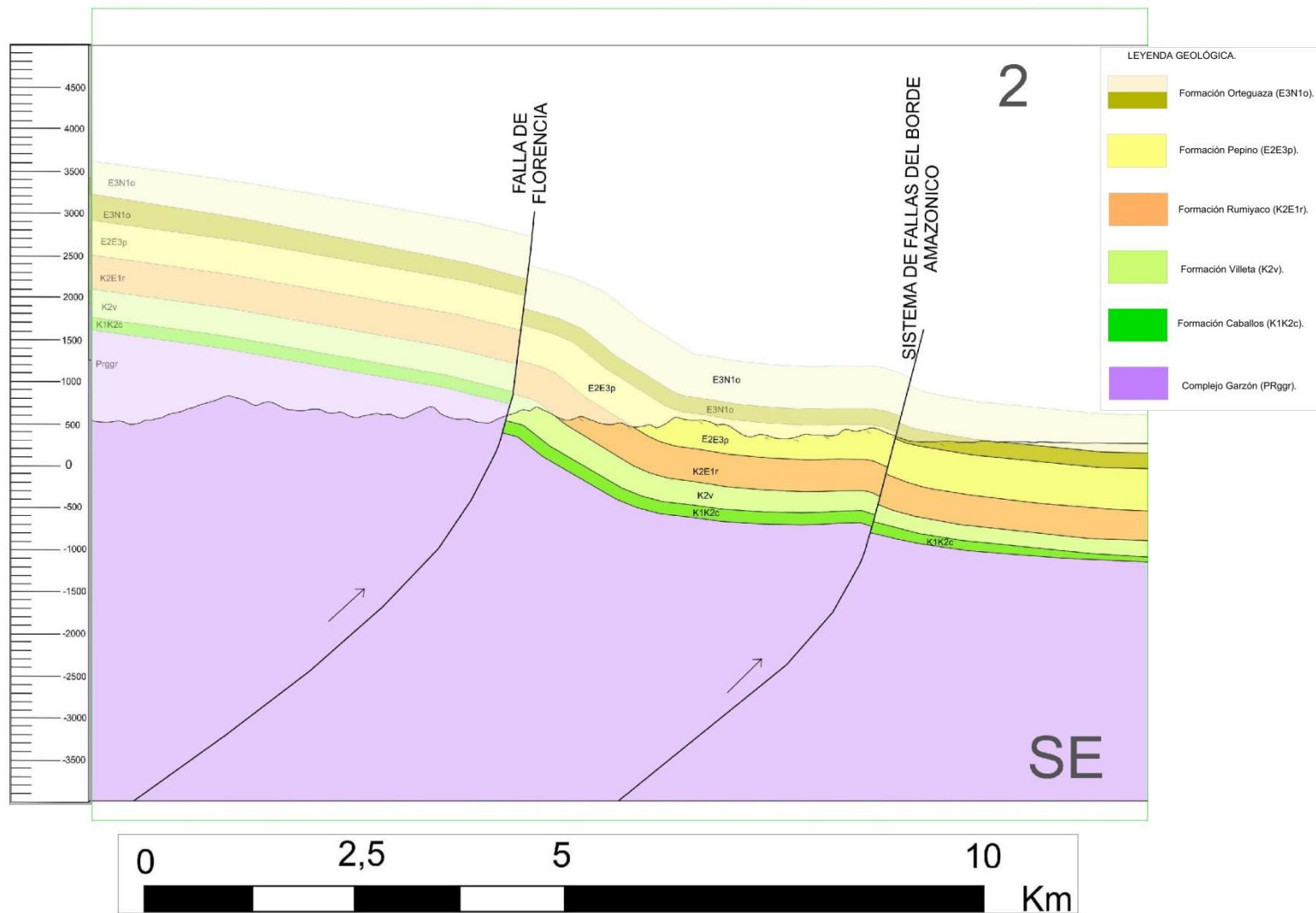
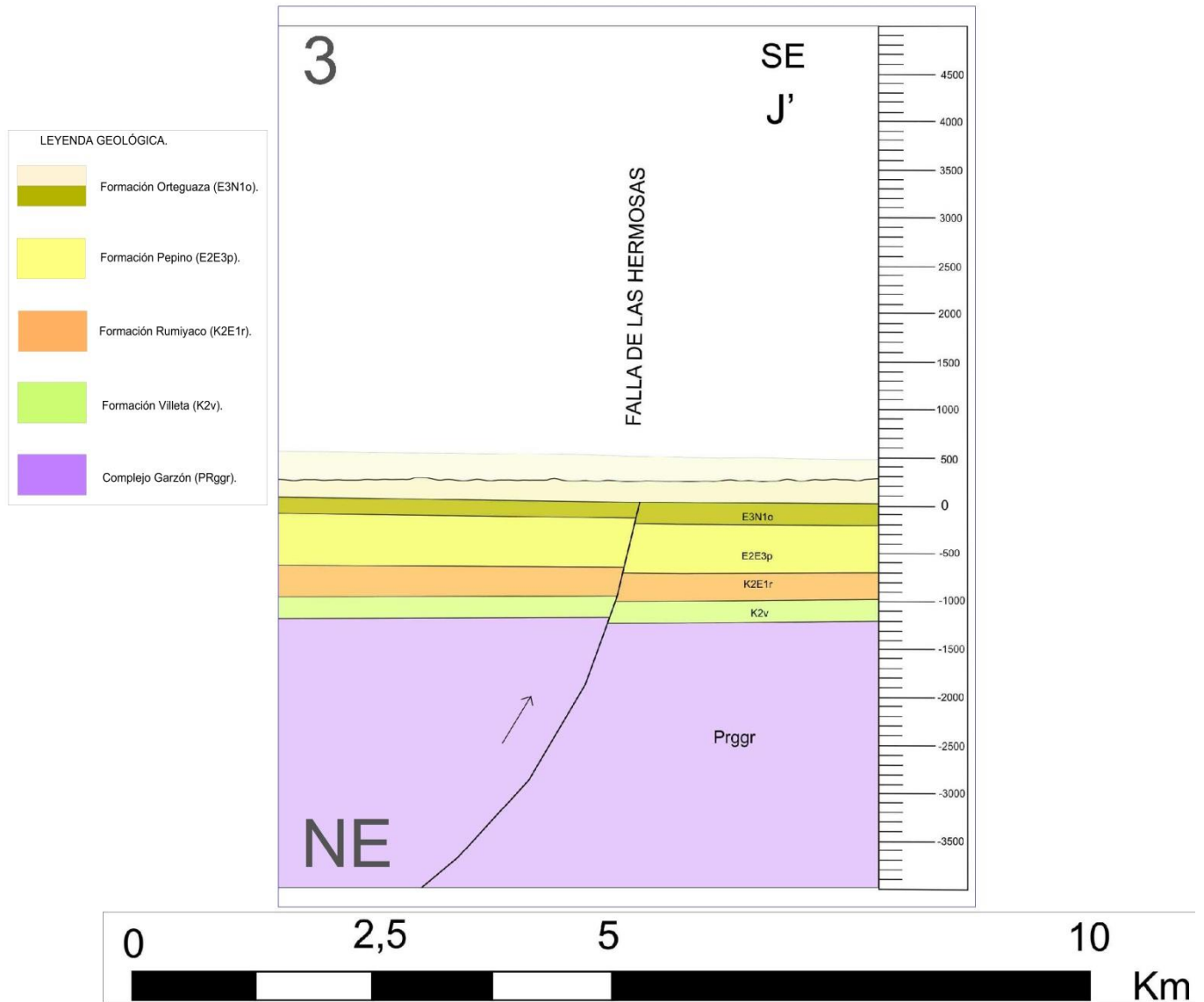


Figura 53: Acercamiento de la región "3" mostrando el trazo de la Falla de las Hermosas que en este caso esta siendo fosilizada por la Formación Orteguaza; tambien se aprecia la variación en el espesor de la subdivision Intra-Orteguaza y el adelgazamiento de la Formacion Villeta.



8.1.11 Sección (K-K'')

Figura 54: Ubicación de la Sección K-K'' en el mapa Geológico y el esquema con los acercamientos.

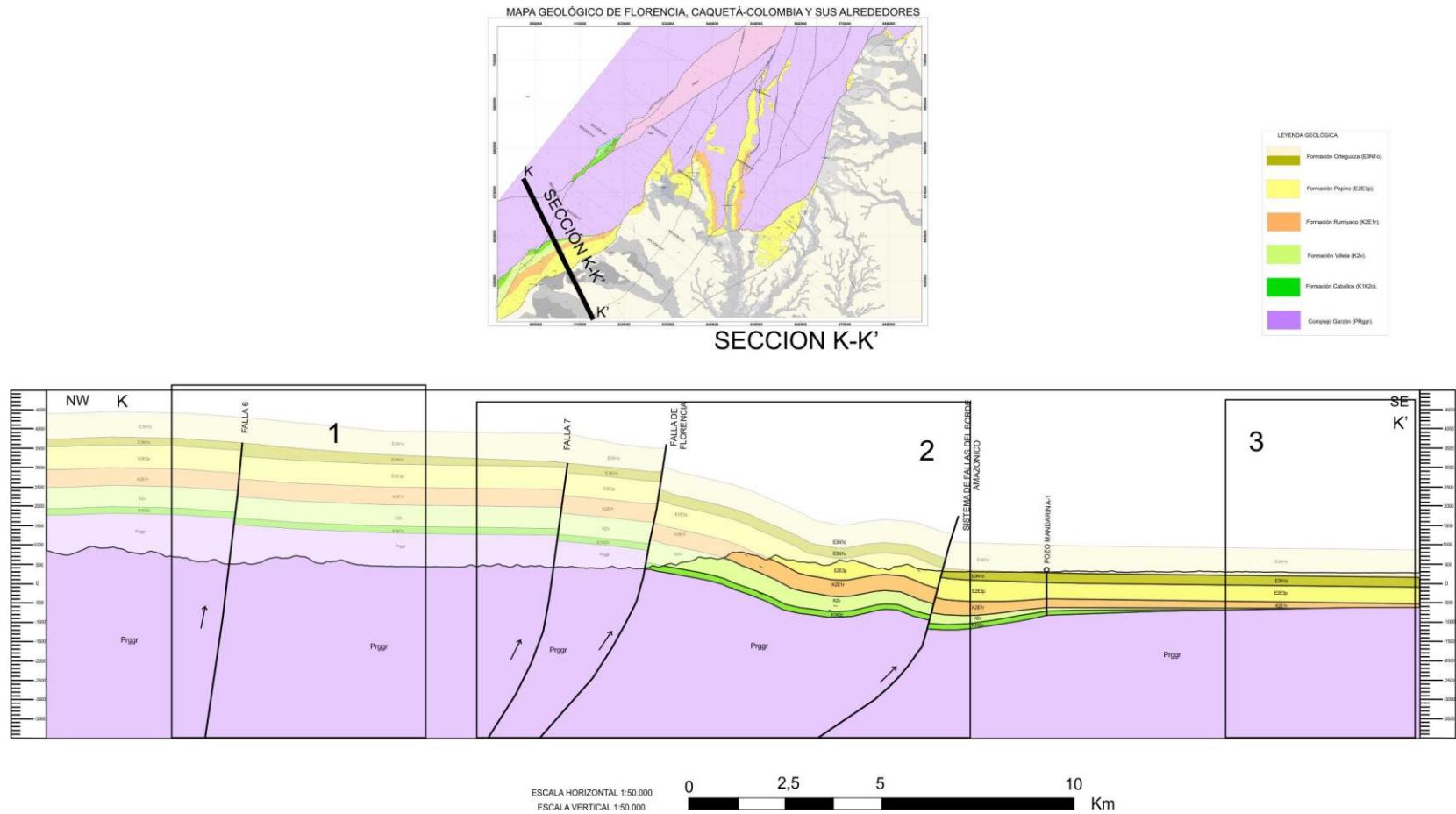


Tabla 14: Descripción de la Sección K-K".

Azimut de rumbo: 153°	Coordenadas de inicio: X:797223.788 Y:673073.588
Longitud: 35.296 Km	Coordenadas de finalización: X:812865.024 Y:641413.606
<p>Descripción:</p> <p>Esta sección cuenta con la proyección del pozo Mandarina 1 en el que se puede apreciar la secuencia sedimentaria casi en su totalidad (Formaciones Caballos, Villeta, Rumiyo, Pepino, Ortegua), la importancia de esta sección está en el hecho de que muestra el acunamiento de las litologías, como es el caso de la Formación Caballos la cual tiene un espesor aflorante que combinado con los datos estructurales, resulta en un espesor real (alrededor de 200 metros en la región comprendida entre las Fallas de Florencia y la de SFBA) superior al que muestra el pozo mandarina 1 (aproximadamente 100 metros) ubicado un poco más al SE luego de la Falla del SFBA; a pesar de que todas las litologías implicadas, sufren acunamiento es importante resaltar que en la sección, la Formación Caballos se extingue en su totalidad al avanzar al SE.</p> <p>Con respecto a las fallas presentes (todas ellas inversa buzando al NW) se puede concluir que de las cuatro que están aflorando, solo dos de ellas cortan a toda la secuencia sedimentaria (Falla de Florencia y la de SFBA), mientras que las dos fallas ubicadas más al NW de la sección, solo debieron cortar hasta la Formación Pepino, o hasta la base de la Formación Ortegua (Intra-Ortegua) dado que cuentan con una extensión inferior a las fallas ubicadas al SE de la sección.</p>	

Figura 55: Acercamiento región "1" mostrando la secuencia sedimentaria que fue erodada (parte del Basamento y Formaciones Caballos, Villeta, Rumiyaço, Pepino y Orteguaça) y la afectación que las fallas 6 ,7 y Florencia genera en estas (la Falla de Florencia es la única en esta zona que no es fosilizada por la Formación Orteguaça).

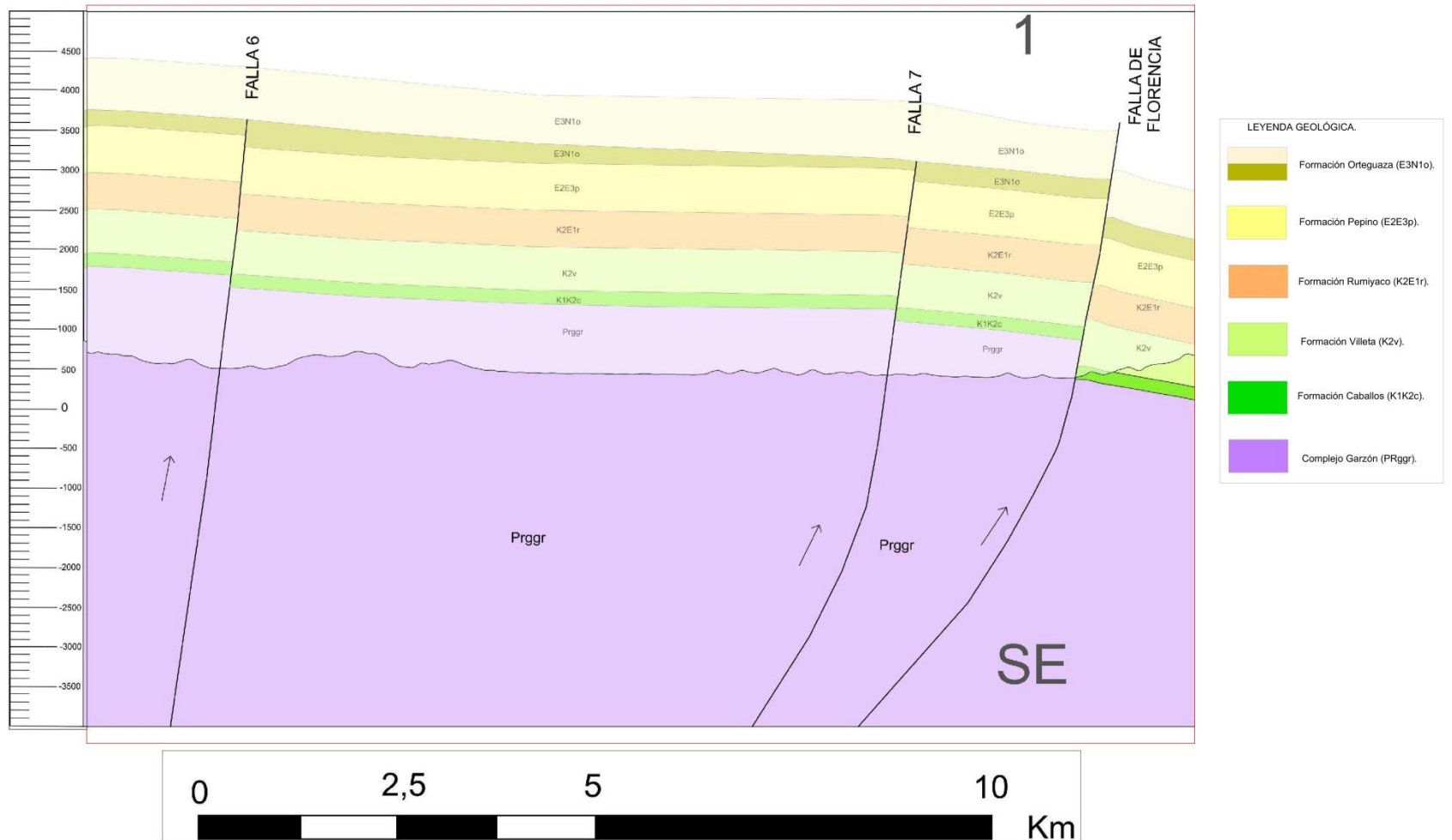
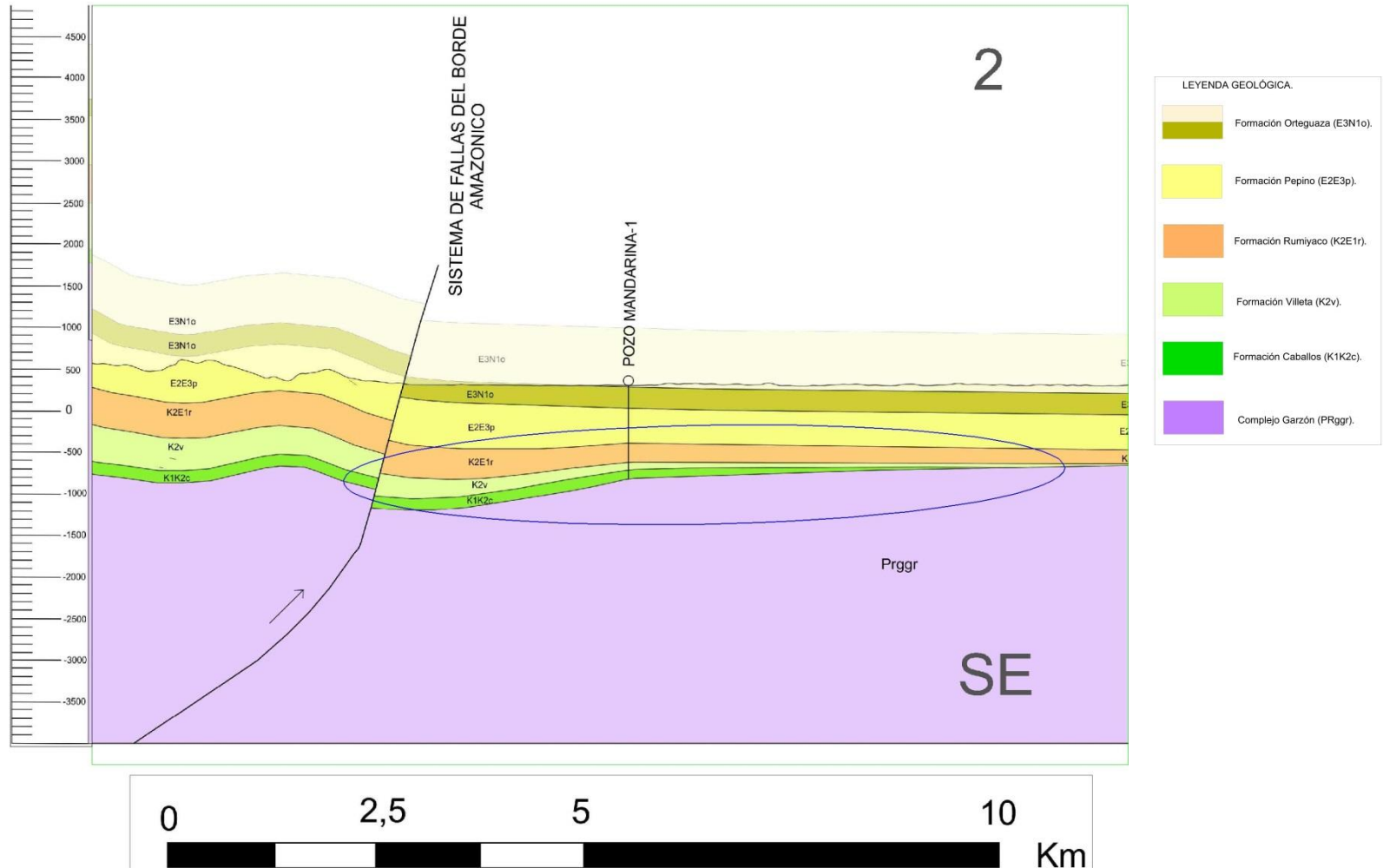


Figura 56: Se muestra la parte superior de la Falla del Sistema del Borde Amazónico (en donde la inclinación de la falla es mayor), además se aprecia como las Formaciones Caballos y Villeta se adelgazan y acuñan hacia el SE (zona resaltada por elipse azul), el control de los espesores de las Formaciones esta a cargo del Pozo Mandarinina-1.



8.2 MODELO GEOLÓGICO 3D

Con el objetivo de una mejor visualización de la configuración geológico-estructural del alto de Florencia se realizó un modelo geológico 3D en el que se extrapoló y se proyectó la información de las secciones geológicas realizadas, nuevamente se usó el software Move 2011, pero esta vez en el entorno 3D Move en el que se dio continuidad a las fallas y estratos existentes entre las secciones más cercanas, para lo anterior se supuso que los estratos eran continuos de sección a sección y en el caso de que algún estrato no apareciera en dos secciones continuas (tal como ocurre en las secciones ubicadas al norte de la zona de trabajo, en donde la Formación Rumiayaco se ausenta por completo) se realizó el respectivo adelgazamiento y acuñaamiento, procurando que la disposición del mismo concordara con los datos estructurales usados y con la configuración de los contactos litológicos mostrados en el mapa geológico.

Figura 57: Modelo Geológico 3D realizado en base a las secciones estructurales, mostrando la configuración de las principales fallas (color rojo) y ubicación de las secciones.

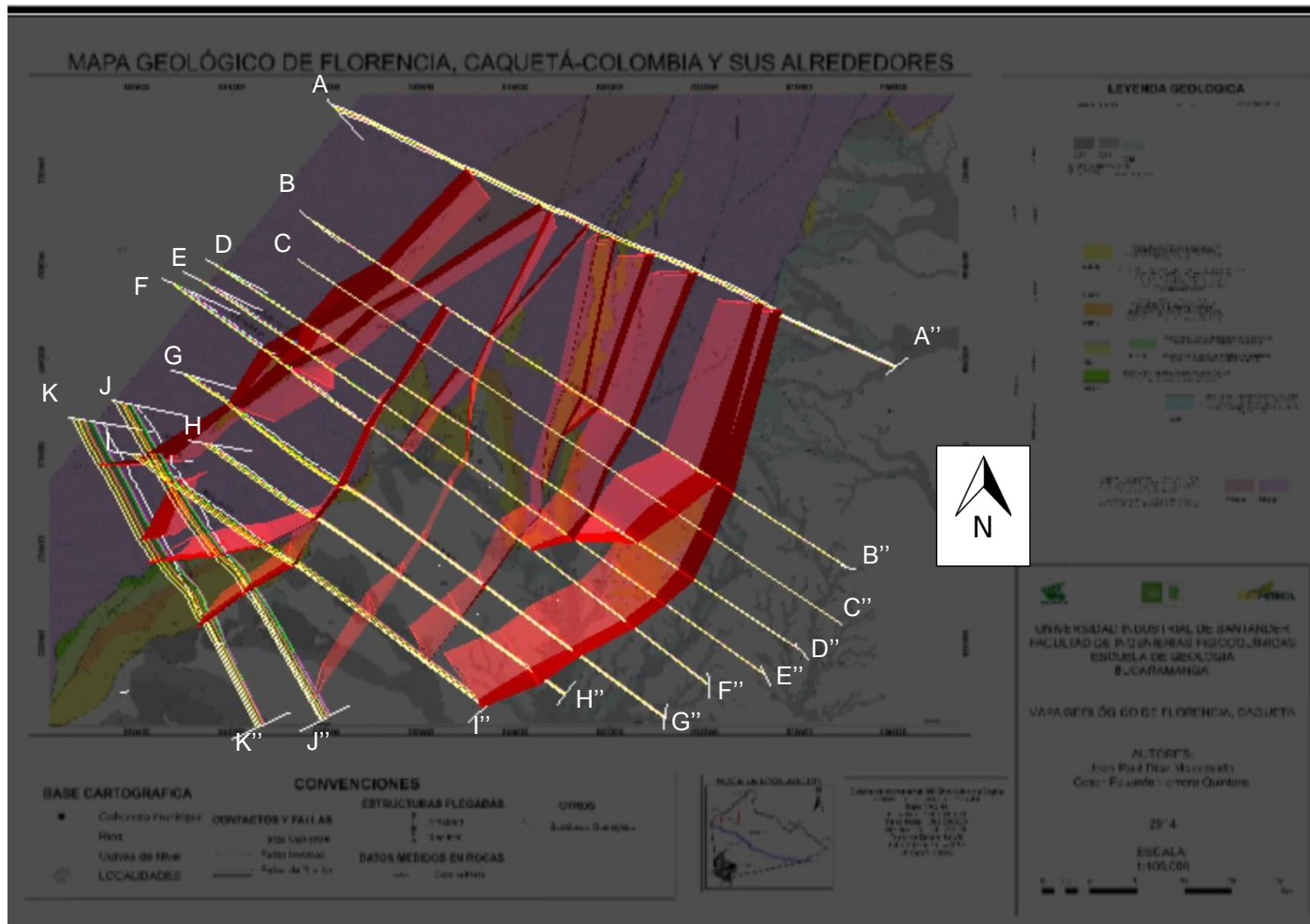


Figura 58: Modelo 3D mostrando la disposición del basamento (superficie color fucsia) y las Fallas que lo afectan (en color rojo); además se hace muestra la distribución de la Formación Saldaña desde una vista en planta (color aguamarina).

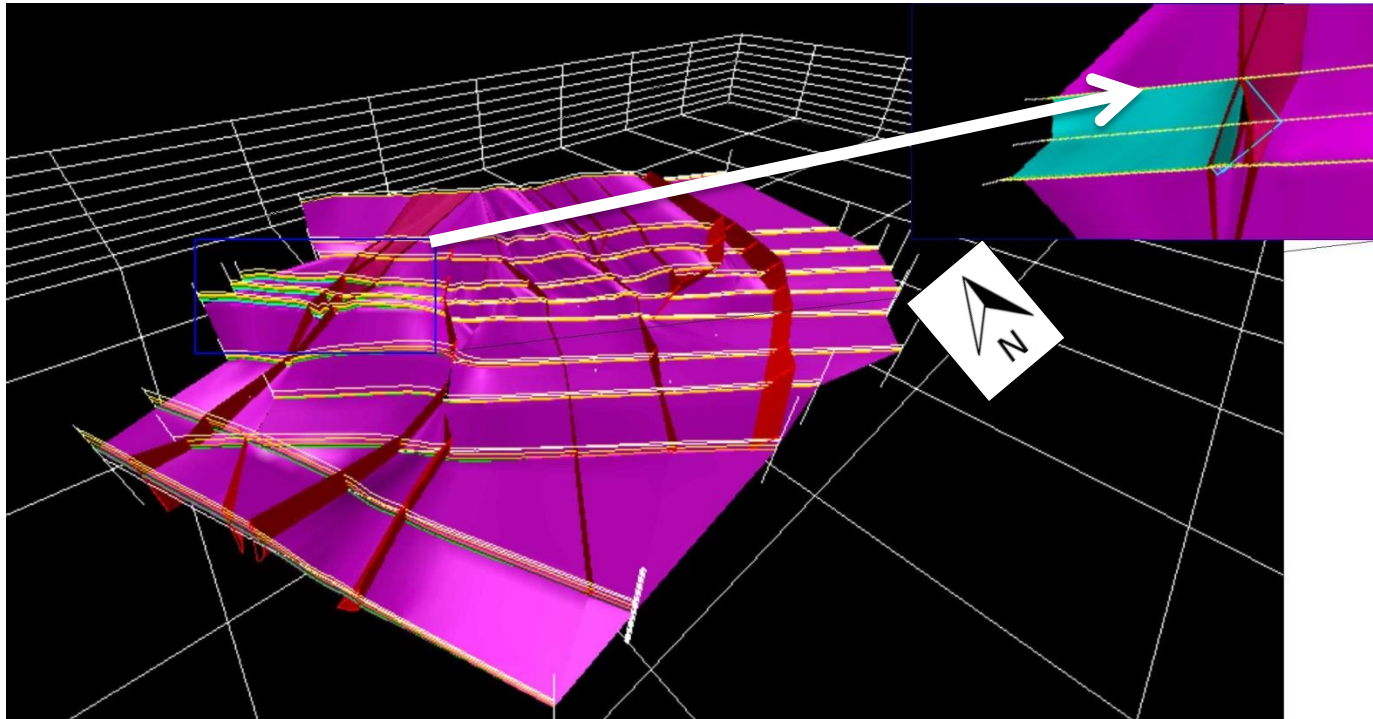


Figura 59: Modelo 3D mostrando la disposición tentativa de la Formación Caballos (en color verde); se representa un imagen de perfil con el Basamento (color fucsia) y la Formación Caballos siendo cortadas por las Fallas 7, Florencia y del Sistema de Borde Amazónico.

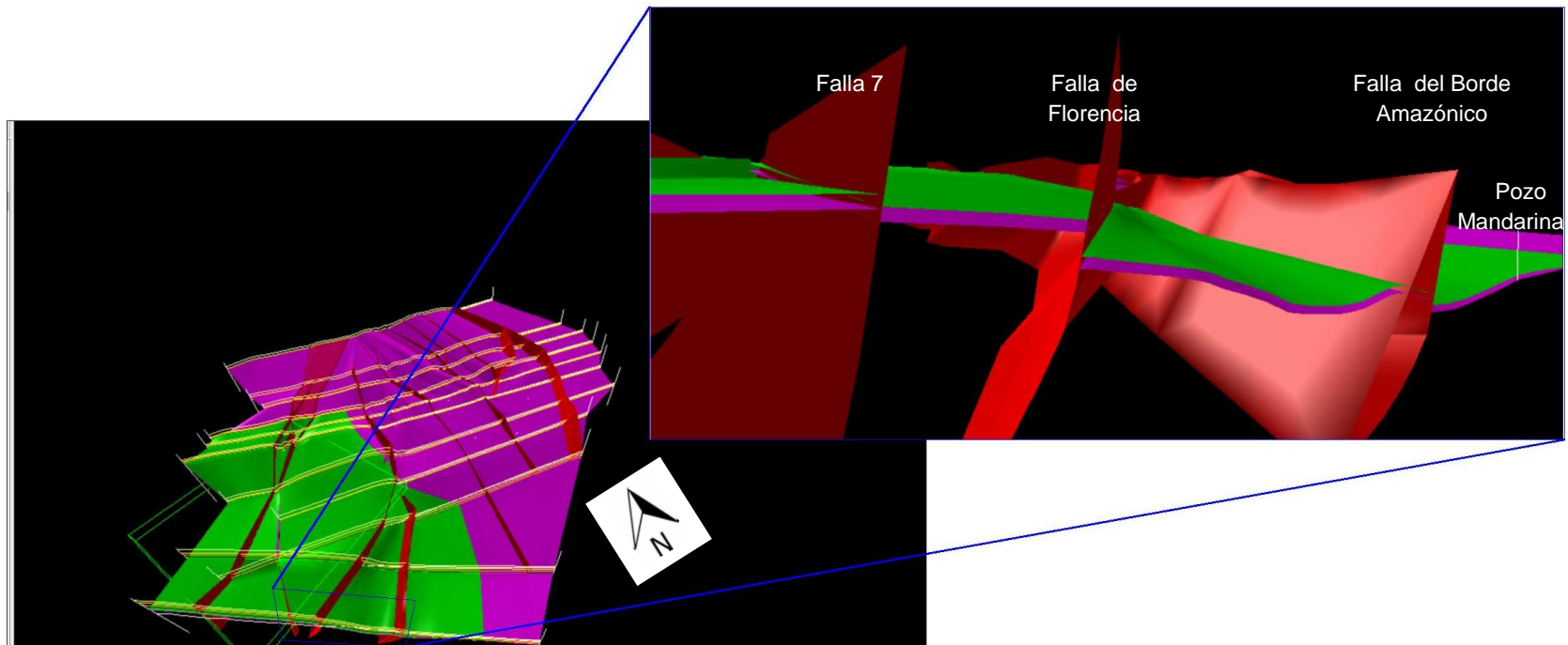


Figura 60: Modelo 3D mostrando A) la depositación hasta la Formación Rumiayaco (color naranja), B) acercamiento y vista de perfil mostrando el acuñamiento y adelgazamiento de las Formaciones Caballos (color verde claro) y Villeta (color verde oscuro). C) vista de perfil de misma zona de la Figura "B" pero con la depositación de la Formación Pepino (color amarillo).

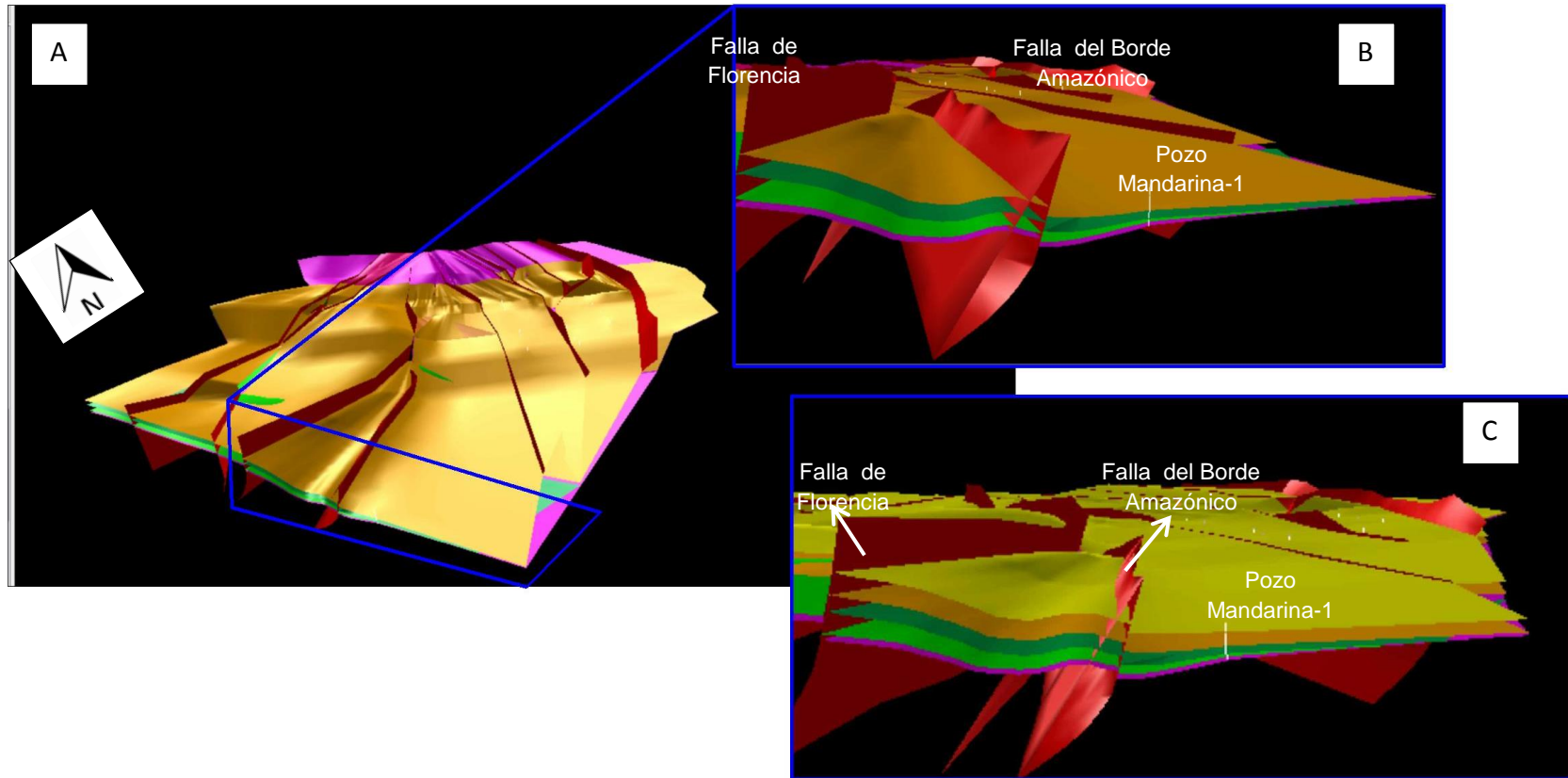
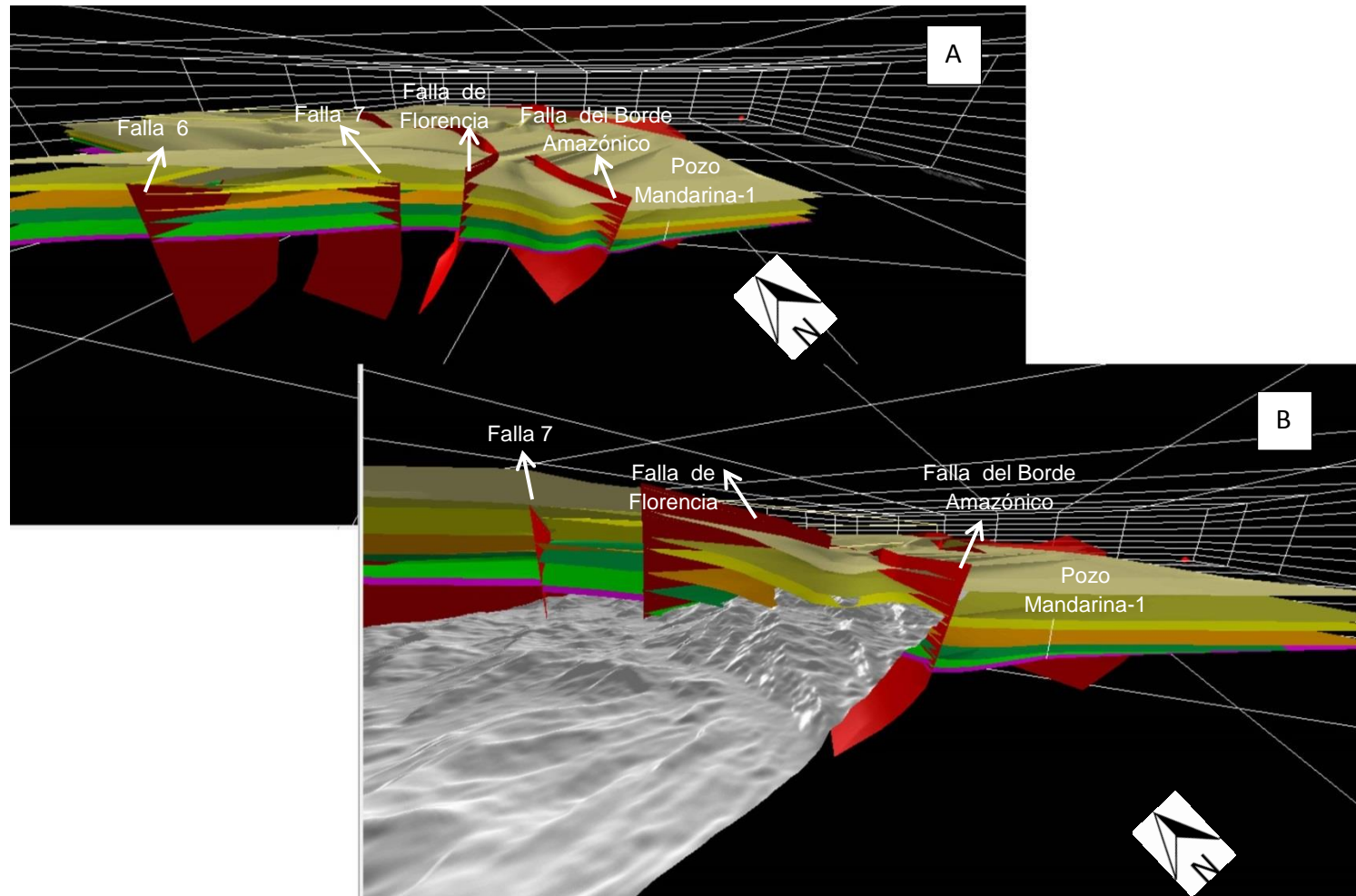


Figura 61: Modelo 3D mostrando A) la ubicación de las Fallas de Florencia, Borde Amazónico, 6 y 7 al igual que el Pozo Mandarinina-1, y la fosilización de las Fallas 6 y 7 por la Formación Orteguzza (color crema), B) Representación de la Topografía con las Formaciones Orteguzza (color crema), IntraOrteguzza (color Amarillo verdoso), Pepino (color amarillo), Rumiyaço (color naranja), Villeta (color verde oscuro) y Caballos(color verde claro).



9. CONCLUSIONES

Algunas Formaciones litológicas se adelgazan hacia el NE, hacia el E y SE de la zona de trabajo, esto se pudo evidenciar, luego de proyectar la información de pozos en la secciones y ver que el espesor real, hallado a partir de los espesores aflorantes en conjunto con los datos estructurales en mapas (DIPS), era diferente al espesor real que registraban los datos de pozos en zonas de la cuenca; un ejemplo de esto es la Formación Rumiyaco, esta se adelgaza y no alcanza a estar presente como parte de la secuencia estratigráfica en la zona de norte (sección A-A"); esto de igual manera ocurre con la Formación Caballos y la Formación Villeta, las cuales disminuyen su espesor desde el Oeste al Este, cerca de la localidad de Belén de Andaquíes (secciones K-K" a la G-G") y no alcanzan a aparecer en la mitad del área de trabajo (sección F-F", la cual atraviesa localidades como Florencia, y el sector conocido como La Montañita).

Con relación al mapa y a las secciones geológicas realizadas se puede concluir que la hipótesis de la existencia del Fault-Bent-Folding al Sur-Oeste de la zona de trabajo no es cierta, puesto que lo que realmente se halló en dicha área fueron fallas inversas con buzamiento al NW y rumbo NE, algunas de las cuales están imbricadas o unidas en profundidad; dentro de las fallas que tienen este rumbo se puede destacar a la Falla de Florencia que en su actuar puso en contacto al Macizo de Garzón (rocas de basamento) con la secuencia sedimentaria al Este del Macizo en mención, y que en cierta forma permitió un cabalgamiento del mismo sobre las Formaciones; lo anterior también está en desacuerdo con la existencia de retrocabalgamientos con vergencia al NW, en esta misma zona Sur-Oeste (secciones G-G" a la K-K" las cuales están cerca de la localidad de Belén de los Andaquíes) pues según la cartografía geológica usada no existen estructuras que soporten esta idea.

Desde una vista general de la zona de trabajo se puede ver que el rumbo de la mayoría de la estructuras presentes (fallas, pliegues, etc.) es NE lo cual se puede interpretar como el resultado de un régimen compresivo que localmente pudo actuar en dirección NW-SE; se apreció en las secciones que las fallas tienen un aumento progresivo en la inclinación en dirección SE-NW, siendo así fallas como la de Paujil que tiene inclinaciones menores y la falla las Hermosas o las Doradas con inclinaciones mayores (alto ángulo); además de lo anterior en la zona norte del área del trabajo (en donde aflora el Macizo de Garzón) se puede notar imbricaciones cuya propagación inicia cerca de regiones como la Montañita y el Paujil(secciones A-A" a la D-D"); dicha configuración de las estructuras Geológicas es clara entre las fallas San Pedro Oeste, San Pedro Central y San Pedro Este.

Se concluyó que las fallas que afloran hacia el norte de la zona de trabajo (región en la que aflora el macizo de Garzón) tienen una extensión mayor a la que se presenta en los mapas usados en la bibliografía, dado que se tomó en cuenta la idea de una fosilización de las mismas por parte de la Formación Orteguzaza.

Con respecto al estilo estructural del alto de Florencia, se encontró que está representado por un alto de basamento donde la Formación Pepino presenta un espesor menor en comparación con el encontrado hacia sus flancos, su espesor hacia la Cuenca del Putumayo aumenta notablemente mientras que hacia la zona de Yari-Caguán aumenta levemente. En esta misma zona y suprayaciendo la Formación Pepino se encuentra la Formación Orteguzaza, la cual puede comportarse como elemento sello en caso de que la Formación Pepino contenga hidrocarburos provenientes de áreas adyacentes, sin embargo es necesario un estudio más detallado que involucre geofísica, petrofísica y geoquímica para tener aproximaciones sobre áreas de interés exploratorio para hidrocarburos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bayona, G., Cortes, M., Jaramillo, C., Ojeda, G., Aristizabal, J.J., Reyes-Harker, A., 2008. An integrated analysis of an orogen-sedimentary basin pair: Latest Cretaceous-Cenozoic evolution of the linked Eastern Cordillera orogen and the Llanos foreland basin of Colombia. *Geological Society of America Bulletin* 120, 1171-1197.
- Cooper, M., Addison, F., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R., Hayward, A., Howe, S., Martínez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A. and Taborda, A., 1995. Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bulletin*, V. 79, no. 10, p. 1421–1443.
- Etayo, S., Barrero, D., 1983. Mapa de terrenos geológicos de Colombia. *Publicaciones Geológicas Especiales. Ingeominas. N°14 –1. Bogotá.*
- Fossen, H., 2010. *Structural Geology*. Cambridge University Press, p. 395-406.
- Gomez, E., Jordan, T.E., Allmendinger, R.W., Cardozo, N., 2005. Development of the Colombian foreland-basin system as a consequence of diachronous exhumation of the northern Andes. *Geological Society of America. Bulletin* 117, p 1272-1292.
- Gómez, J., Nivia, A., Montes, N.E., Jiménez, D.M., Tejada, M.L., Sepúlveda, M.J., Osorio, J.A., Gaona, T., Diederix, H., Uribe, H. & Mora, M., compiladores. 2007. *Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1'000.000. Ingeominas, Bogotá.*
- Gómez, J., Nivia, A., Montes, N.E., Jiménez, D.M., Tejada, M.L., Sepúlveda, M.J., Osorio, J.A., Gaona, T., Diederix, H., Mora, M., 2007. *Atlas Geológico de Colombia. Escala 1:500.000. Plancha 18 y 19. Ingeominas, Bogotá.*
- Güiza, S., Muñoz, R., 2006. *Rasgos Estructurales Macizo de Garzón. Escala 1:600.000. Ingeominas.*
- Higley, D., 2001. *The Putumayo – Oriente Marañon Province of Colombia. Ecuador, and Peru – Mesozoic – Cenozoic and Paleozoic Petroleum Systems. U.S. Geological Survey, Information Services Denver, CO 80225.*

- Kassem, T., Kroonenberg, S., Martínez, J.C., Rodríguez, C.A., 1998. Geología de la Plancha 389 Timaná. Escala 1:100.000. Ingeominas.
- Kassem, T., Kroonenberg, S., Chico, C.A., Arandia, G.A., 1998. Geología de la Plancha 390 Puerto Rico. Escala 1:100.000. Ingeominas.
- Kassem, T., Kroonenberg, S., Gutiérrez, Z., Chico, C.A., Arandia, G.A., 2003. Geología de la Plancha 414 El Doncello. Escala 1:100.000. Ingeominas.
- Montenegro, G., Barragán, M., Cediél, F., 2001. Petroleum Geology of Colombia Caguán and Putumayo Basins. Vol. 4. EAFIT, ANH, Medellín.
- Ragan, D., 2009. Structural Geology an Introduction to Geometrical Techniques. Cambridge University Press, p. 182,427.
- Reyes, A., Olaya I., Arango, F., Munar, F., Gómez, P., Giraldo, B., Rangel, A., Mora, C., Sarmiento, L., Pérez, H., Buchelli, F., Cerón, J., Rueda, M., Zegarra, M., 1997. Evaluación regional de la Cuenca Yarí-Caguán. Ecopetrol. Piedecuesta.
- Richard, H., Groshong, J., 2006. 3-D Structural Geology, A Practical Guide to Quantitative Surface and Subsurface Map Interpretation. Springer, p. 39
- Rodríguez, C. J., Vargas, A., Piragua, A., Romero, O., García, R., Moreno, C., Pinzón, R., 2009a. Mapa Geológico de la cuenca Caguán–Putumayo. Escala 1:500.000. ANH.
- Rodríguez, C. J., Mora, C., Vargas, A., Piragua, A., Romero, O., García, R., Moreno, C., Manosalva, S., Fonseca, H., Pinzón, R., Sierra, L., 2009b. Informe Cartografía Geológica Cuenca Caguán Putumayo. UPTC, ANH.
- Rodríguez, G., Zapata, G., Velásquez M.E., 2003. Geología de las Planchas 367 Gigante, 368 San Vicente del Caguán, 389 Timaná, 390 Puerto Rico, 414 El Doncello y parte de la plancha 391 Lusitania. Escala 1:200.000. Ingeominas.
- Rueda, J. P., 2011. Cálculo Preliminar de Recursos Potenciales de Arenas Bituminosas en las áreas de Florencia, San Vicente, Caño Sur y Sogamoso. Informe Final. Ecopetrol. Piedecuesta.

- Taboada, A., Rivera, L.A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., Rivera, C., 2000. Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19 (5), 787-813.
- Velandia, F., Acosta, J., Terraza R., Villegas, H., 2005. The current motion of the Northern Andes along the Algeciras Fault System in SW Colombia. *Tectonophysics*, 399, 313-329.
- Woodward, N., Boyer, S., Supee, J., 1985. An Outline of Balanced Cross-Sections. University of Tennessee, Department of Geological Sciences, studies in Geology 11, 2° Edition. p 11-25

ANEXOS

ANEXO A. MAPA GEOLÓGICO DE FLORENCIA, CAQUETÁ-COLOMBIA Y SUS ALREDEDORES.

Anexo Mapa Geológico de Florencia, Caquetá-Colombia y sus alrededores, Escala 1:100.000, en formato PDF; digitalizado y producto de la superposición de mapas preexistentes, a partir del cual se realizaron las secciones estructurales del actual informe.

ANEXO B. SECCIONES ESTRUCTURALES BALANCEADAS.

Se anexan once Secciones estructurales Balanceadas Escala 1:50.000, (su escala permite más resolución que el mapa respectivo, con el objetivo de apreciar mejor información de espesores de las formaciones etc.), en formato PDF.

ANEXO C. MODELO GEOLÓGICO EN 3D DEL ÁREA DE TRABAJO.

Consiste de un video en formato .avi en el que se muestra la configuración en 3D de la zona de trabajo, iniciando con la presencia de las fallas y continuando con las litologías que están presentes desde la más antigua a la más reciente.