

**GRUPO SOCHA, FORMACIONES PALEÓGENAS CON POTENCIAL
HIDROCARBURÍFERO. ZONA AXIAL DE LA CUENCA CORDILLERA
ORIENTAL, MUNICIPIO DE PESCA**

ADRIANA NATALY MEDINA HIGUERA

IVAN ALFREDO ROMERO BARRERA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

SECCIONAL SOGAMOSO

ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

SOGAMOSO

2017

**GRUPO SOCHA, FORMACIONES PALEÓGENAS CON POTENCIAL
HIDROCARBURÍFERO. ZONA AXIAL DE LA CUENCA CORDILLERA
ORIENTAL, MUNICIPIO DE PESCA**

ADRIANA NATALY MEDINA HIGUERA

IVAN ALFREDO ROMERO BARRERA

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN, MODALIDAD DE GRADO ELABORADO
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO**

DIRECTORA

ÁNGELA MARÍA LEGUIZAMÓN VEGA, ING GEOLOGO, MSc

CODIRECTOR

GUILLERMO ALEJANDRO HERNÁNDEZ, ING GEOLOGO, MSc

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

SECCIONAL SOGAMOSO

ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

SOGAMOSO

2017

“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO, RESIDE EN ELLA MISMA, POR LO TANTO, NO ES RESPONSABLE DE LAS OPINIONES EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO.”

SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN INDICANDO SU ORIGEN.

CARTA DE ACEPTACIÓN

Nota de aceptación

ING. WILSON NARANJO

Director de Escuela

ING. ÁNGELA M. LEGUIZAMÓN VEGA

Directora del Proyecto

ING. GUILLERMO A. HERNÁNDEZ

Codirector del Proyecto

Sogamoso, 30 de Octubre de 2017

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

Primero a Dios por darnos la vida, por todo lo brindado para llegar hasta aquí, por esta oportunidad de crecimiento profesional y de conocimiento.

A nuestros padres por su amor incondicional, su orientación e incansable labor hacia nosotros, y por su apoyo incondicional siempre en esta etapa y siempre.

A nuestros hermanos y sobrinos por su compañía y apoyo a lo largo de este proyecto.

A nuestra directora Ing. Ángela por su apoyo incondicional, orientación y sus importantes aportes durante el desarrollo de este proyecto.

A nuestro codirector Ing. Guillermo por su presencia incondicional, enseñanzas, apreciados y relevantes aportes, por su constante y paciente seguimiento, por compartir su tiempo de manera generosa durante la realización de este proyecto y por transmitir sus conocimientos para enriquecer nuestro intelecto.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por abrir sus puertas y brindarnos las herramientas necesarias para convertirnos en profesionales.

A la Escuela de Ingeniería geológica, director Ing. Wilson Naranjo y secretaria Rosita, por su guía y colaboración durante nuestra carrera universitaria.

Al cuerpo de docentes que durante cinco años nos dieron las bases para nuestra formación como profesional.

ADRIANA NATALY MEDINA HIGUERA

IVAN ALFREDO ROMERO BARRERA

CONTENIDO

	Pág.
1 GENERALIDADES	13
1.1 INTRODUCCIÓN	13
1.2 RESUMEN	15
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE ESTUDIO	16
1.4 OBJETIVOS.....	17
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.5 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DEL PROYECTO	18
1.6 ANTECEDENTES.....	19
1.7 BASE DATOS INICIAL.....	20
2 METODOLOGÍA DE TRABAJO	22
2.1 Fase I SELECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA.....	3
2.2 Fase II. FOTOINTERPRETACIÓN	3
2.3 Fase III. TRABAJO DE CAMPO	3
2.4 Fase III. TRABAJO DE OFICINA.....	3
3 GEOLOGÍA.....	5
3.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y EVOLUCIÓN GEOLÓGICA	5
3.2 ESTRATIGRAFÍA LOCAL.....	6
3.2.1 MESOZOICO - CRETÁCICO INFERIOR.....	4
3.2.1.1 Formación Tibasosa (Kit)	4
3.2.1.2 Formación Une (Kiu)	6
3.2.1.3 Formación Chipaque (Ksc)	8
3.2.1.4 Grupo Guadalupe (Ksg)	10
3.2.1.5 Formación Guaduas (Ktg).....	11
3.2.2 CENOZOICO- PALEÓGENO.....	13

3.2.2.1	Riolitas de Iza (Pgri)	13
3.2.2.2	Grupo Socha (Pgs).....	15
3.2.2.3	Formación Picacho (Pgp).....	16
3.2.2.4	Formación Concentración (Pgc)	17
3.2.3	CUATERNARIO	19
3.2.3.1	Coluviales (Qc).....	19
3.2.3.2	Aluviales (Qal).....	19
3.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	20
3.4	FALLAS	20
3.4.1.1	Falla de Soapaga	20
3.4.1.2	Falla de Gameza	20
3.4.1.3	Falla de Toca.....	21
3.4.1.4	Falla de Sabú	21
3.4.1.5	Falla del Batán	21
3.4.1.6	Falla de Tota	21
3.4.1.7	Falla de Romero.....	22
3.4.1.8	Falla de Alcaparral,	22
3.4.1.9	Falla de Pesca,.....	22
3.4.1.10	Falla de Iza,.....	22
3.4.2	PLIEGUES	23
3.4.2.1	Anticlinal de Pesca	23
3.4.2.2	Anticlinal de Alcaparral.....	23
3.4.2.3	Anticlinal de la Mina	23
3.4.2.4	Anticlinal Iza	23
3.4.2.5	Anticlinal de la Esperanza.....	24
3.4.2.6	Anticlinal del Alto	24
3.4.2.7	Sinclinal de Pesca	24
3.4.2.8	Sinclinal de Alcaparral.....	24
3.4.2.9	Sinclinal de Iza	24
3.4.2.10	Sinclinal del Alto	25
3.4.2.11	Sinclinal de la Esperanza.....	25
4	RESULTADOS.....	26
4.1	SENSORES REMOTOS	26
4.2	CARTOGRAFIA GEOLOGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	29
4.2.1	SECCIONES ESTRUCTURALES.....	30
4.2.1.1	Sección estructural A-A'	33
4.2.1.2	Sección estructural B-B'	36
4.2.1.3	Sección estructural C-C'	39
4.2.1.4	Sección estructural D-D'	41
4.2.1.5	Sección estructural E-E'	43

4.3	GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO	45
4.3.1	SISTEMA PETROLÍFERO	46
4.3.1.1	Roca Fuente.....	46
4.3.1.2	Roca Reservorio.....	46
4.3.1.3	Roca Sello	46
4.3.1.4	Migración.....	47
4.3.1.5	Trampas	47
4.3.1.6	Sistemas petrolíferos identificados	47
4.3.2	DEFINICIÓN GRÁFICA DE SISTEMAS PETROLÍFEROS	47
4.3.2.1	SECCIÓN ESTRUCTURAL A-A'. SISTEMA PETROLÍFERO. GRÁFICO ESQUEMÁTICO.....	49
4.3.2.2	SECCIÓN ESTRUCTURAL B-B'. SISTEMA PETROLÍFERO. GRÁFICO ESQUEMÁTICO.....	52
4.3.2.3	SECCIÓN ESTRUCTURAL C-C'. SISTEMA PETROLÍFERO. GRÁFICO ESQUEMÁTICO.....	54
4.3.2.4	SECCIÓN ESTRUCTURAL D-D'. SISTEMA PETROLÍFERO. GRÁFICO ESQUEMÁTICO.....	56
4.3.2.5	SECCIÓN ESTRUCTURAL E-E'. SISTEMA PETROLÍFERO. GRÁFICO ESQUEMÁTICO.....	59
4.3.2.6	DISTRIBUCIÓN AREAL DE LAS TRAMPAS	61
4.4	VOLUMETRÍA Y ANÁLISIS GEOLÓGICO	62
4.4.1	ECUACIONES VOLUMÉTRICAS.....	63
4.4.2	RESULTADOS VOLUMÉTRICOS.....	65
4.4.3	PROBABILIDAD DE ÉXITO GEOLÓGICO (POS – PROBABILITY).....	75
4.4.4	ÁREA PERFORABLE	85
5	DISCUSIÓN	86
6	CONCLUSIONES	88
7	RECOMENDACIONES	90
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
9	ANEXOS	94

FIGURAS

Pág.

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio, escala en la parte izquierda inferior y sus coordenadas en el sector derecho inferior, vista satelital.....	18
Figura 2. Esquema detallado de la metodología a implementar durante el estudio.	3
Figura 3. Zona de estudio enmarcada en el polígono rojo, solicitudes y títulos mineros existentes delimitados en polígonos negros, vista satelital.....	27
Figura 4. Zona de estudio delimitado por el polígono negro, geología (polígonos de color) y fallas preliminares (líneas rojas) vista satelital.....	28
Figura 5. Mapa ubicación sección A-A', Escala 1:250000.	33
Figura 6. Sección estructural A-A'. Fuente. Autores.	34
Figura 7. Mapa ubicación sección B-B', Escala 1:250000.	36
Figura 8. Sección estructural B-B'. Fuente. Autores.	37
Figura 9. Mapa ubicación sección C-C', Escala 1:250000.....	39
Figura 9. Sección estructural C-C'. Fuente. Autores.....	39
Figura 11. Mapa ubicación sección D-D', Escala 1:250000.....	41
Figura 10. Sección estructural D-D'. Fuente. Autores.....	41
Figura 11. Mapa ubicación sección E-E', Escala 1:250000.	43
Figura 11. Sección estructural E-E'. Fuente. Autores.	43
Figura 12. Carta de eventos que muestra la relación temporal entre los elementos y procesos del sistema petrolífero, además del momento crítico y el tiempo de preservación.....	46
Figura 16. Mapa ubicación sección A-A', Escala 1:250000.	50
Figura 17. Sección estructural A-A'. Sistema petrolífero. Gráfico esquemático. Fuente. Autores.....	50
Figura 18. Mapa ubicación sección B-B', Escala 1:250000.	52
Figura 19. Sección estructural B-B'. Sistema petrolífero. Gráfico esquemático. Fuente. Autores.....	52
Figura 20. Mapa ubicación sección C-C', Escala 1:250000.....	54
Figura 21. Sección estructural C-C'. Sistema petrolífero. Gráfico esquemático. Fuente. Autores.....	54
Figura 22. Mapa ubicación sección D-D', Escala 1:250000.....	56
Figura 23. Sección estructural D-D'. Sistema petrolífero. Gráfico esquemático. Fuente. Autores.....	57
Figura 24. Mapa ubicación sección E-E', Escala 1:250000.	59
Figura 25. Sección estructural E-E'. Sistema petrolífero. Gráfico esquemático. Fuente. Autores.....	59

Figura 26. Imagen del <i>Lead</i> A Tierna, polígono amarillo los polígonos en negro corresponden a otros <i>leads</i> identificadas para la zona de estudio.	67
Figura 27. Imagen del <i>Lead</i> B Plaeners, polígono rojo, en contexto con los demás <i>leads</i> , polígonos en negro para la zona de estudio.	68
Figura 28. Imagen del <i>Lead</i> C Tierna, polígono azul, en contexto con los demás <i>leads</i> , polígonos en negro para la zona de estudio.	69
Figura 29. Imagen del <i>Lead</i> D Plaeners, polígono lila, en contexto con los demás <i>leads</i> , polígonos en negro para la zona de estudio.	70
Figura 30. Imagen del <i>Lead</i> E Tierna, polígono naranja, en contexto con los demás <i>leads</i> , polígonos en negro para la zona de estudio.	71
Figura 31. Imagen del <i>Lead</i> D Plaeners, polígono lila, en contexto con los demás <i>leads</i> , polígonos en negro para la zona de estudio.	72
Figura 32. Imagen de la <i>Lead</i> D Plaeners, polígono lila, en contexto con los demás <i>leads</i> , polígonos en negro para la zona de estudio.	73
Figura 33. El POS proporciona un método de analizar elementos cualitativos del sistema petrolífero definido para el área, asignando valores numéricos.	75

IMÁGENES

Pág.

Imagen 1. Fotografía panorámica de la zona de estudio. Coordenadas E 1115943, N 1105738.....	3
Imagen 2. Fotografía en la vía Pesca – Toca, afloramiento de la formación Tibasosa, se presenta en pequeños bancos de arcillolitas calcáreas de tonalidad amarilla a gris, sin presencia de fósiles. Coordenadas E 1111859, N 1106675.	5
Imagen 3. Fotografía en la vía Pesca – Toca, afloramiento de la formación Tibasosa, se presenta en grandes bancos de areniscas calcáreas de tonalidad amarilla a gris, algunas tonalidades rojizas debido a la presencia de óxidos de hierro, sin presencia de fósiles, la línea negra indica la estratificación. Coordenadas E 1108670, N 1103927.	6
Imagen 4. Sector el Alto, municipio de Pesca, afloramiento de la formación Une, se presenta en estratificación (líneas negras) delgada de areniscas de tonalidad blanca a amarilla, algunas tonalidades grises debido a la meteorización. Coordenadas E 1116411 N 1104690.	8
Imagen 5. Sector el Alto, municipio de Pesca, afloramiento de la formación Chipaque, se presenta en grandes bancos de areniscas de grano fino poco friable de tonalidad gris claro. Coordenadas E 1113914N 1102801.	9
Imagen 6. Fotografía en la vía Cuitiva – Iza, afloramiento del Grupo Guadalupe, se presenta estratificación plano paralela (líneas negras) de lilitas compactas de tonalidad amarillo, con fracturas presentadas en líneas de color rojo. Coordenadas E 1122626 N 1109380.	10
Imagen 7. Fotografía en el municipio de Iza, afloramiento de la formación Guaduas, presenta estratificación plano paralela (línea negra) de arenisca friable de tonalidad amarillo, bastante meteorizada y fracturada. Coordenadas E 1119633 N 1110133.	12
Imagen 8. Fotografía en el municipio de Iza, panorámica del cuerpo volcánico. Se observa la brecha intrusiva, domo los sauces y domo Holcim parcialmente al Sur (S), la parte central (C) y el Norte (N).	14
Imagen 9. Fotografía en el municipio de Iza, afloramiento del Grupo Socha Miembro Arenoso, areniscas blancas a amarillentas con estratificación plano paralela (líneas negras), con tonalidades grises debido a la meteorización, presenta diaclasamiento (líneas rojas), sin relleno. Coordenadas E 1118440 N 1111394.	15
Imagen 10. Fotografía en el municipio de Iza, afloramiento de la formación Picacho, se presentan potentes bancos de areniscas conglomeráticas blancas	

a amarillas, fracturadas (líneas rojas) y meteorizadas. Coordenadas E 1118155 N 1111662.....	17
Imagen 11. Fotografía en el casco urbano de Pesca, explotación de asphaltitas, afloramiento de la formación Concentración, arenisca conglomerática con impregnación de Hidrocarburo. Coordenadas E 110758568 N 1118859.	18

TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas de localización zona de estudio.....	18
Tabla 2. Datos generales de las rocas reservorio, utilizados para los cálculos volumétricos.	63
Tabla 3. Datos usados en el cálculo de volumen estimado de hidrocarburos en el área de estudio.....	64
Tabla 4. Tabla abreviaturas de cálculos volumétricos y resultados obtenidos de los <i>Leads</i>	65
Tabla 5. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del <i>Lead A</i> Tierna.....	67
Tabla 6. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del <i>Lead B</i> Plaeners.....	68
Tabla 7. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del <i>Lead C</i> Tierna.....	69
Tabla 8. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del <i>Lead D</i> Plaeners.....	70
Tabla 9. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del <i>Lead E</i> Tierna.....	71
Tabla 10. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del <i>Lead F</i> Plaeners.....	72
Tabla 11. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del <i>Lead</i> Socha.	73
Tabla 12. Tabla resumen de los resultados obtenidos de OOIP y RECURSOS de la zona de estudio.	74
Tabla 13. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la <i>Lead</i> Tierna A.	77
Tabla 14. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la <i>Lead</i> Plaeners B.	78
Tabla 15. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la <i>Lead</i> Tierna C.	79
Tabla 16. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la <i>Lead</i> Plaeners D.	80
Tabla 17. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la <i>Lead</i> Tierna E.	81
Tabla 18. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la <i>Lead</i> Plaeners F.....	82

Tabla 19. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la *Lead Socha*.83

Tabla 20. Tabla resumen de resultados obtenidos en cálculos de probabilidad de éxito.....84

GLOSARIO

Back thrust, falla de empuje trasero con una vergencia opuesta a la del sistema de empuje principal de la zona

Lead, un proyecto asociado a una acumulación potencial que actualmente está definida levemente y requiere más adquisición de datos y/o evaluación para ser clasificada como un prospecto asociado a una acumulación potencial que actualmente está definida levemente y requiere más adquisición de datos y/o evaluación para ser clasificada como un prospecto

MMstbo. Million Standard Barrels of Oil, millones de barriles estándar de aceite.

Net to gross, indica en fracción la relación del volumen neto productivo respecto al espesor total del intervalo de interés.

Onlap, El traslapo transgresivo (*onlap*) es una distribución especial que, de acuerdo con los principios de la estratigrafía secuencial, se produce durante los episodios de transgresión.

OOIP, Original Oil in Place, que se define como la estimación volumétrica de hidrocarburo original in situ.

Thin skin, estilo estructural que se produce en cuencas en las que la deformación se concentra en la cobertura sedimentaria sin involucrar el basamento.

Timing, relación temporal que asegura la secuencia cronológica relativa correcta de los elementos del sistema petrolífero y los procesos de generación, migración y acumulación de hidrocarburos, que son necesarios para la preservación de estos.

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La presencia y disponibilidad de recursos hidrocarburíferos con un costo de producción y procesamiento sostenible es crucial para el crecimiento económico, desarrollo industrial y progreso social de un país. Actualmente, la economía colombiana depende de la explotación de estos recursos para abastecer su mercado interno. De tal forma, la exploración de los recursos hidrocarburíferos es trascendental para el mercado nacional.

En la zona axial de la Cordillera Oriental, en inmediaciones al municipio de Pesca-Boyacá se reportan diez rezumaderos de hidrocarburo en niveles de arenisca del cenozoico. A nivel de geología de exploración, la presencia de rezumaderos de crudo es aceptada como evidencia de sistemas petrolíferos activos. Basados en estas afirmaciones nace la inquietud de evaluar el potencial hidrocarburífero del Grupo Socha, y se plantea la posibilidad de una acumulación en sus niveles arenosos, por su depositación en *onlap*. Como valor agregado para esta investigación se evalúa el potencial hidrocarburífero del Grupo Guadalupe que ha sido probado con éxito en campos cercanos.

La metodología de trabajo se basó en la adquisición de datos de geología de superficie, sobre los cuales se fundamentó la construcción del mapa geológico y las secciones estructurales. En las que se identificaron los lugares en que probablemente se produjo una acumulación de hidrocarburos asociadas a los Grupos Socha y Guadalupe, y a partir de esto se definieron los sistemas petrolíferos. La delimitación de las áreas de interés se definió basados en un límite agua-aceite subjetivo y se procedió a realizar los respectivos cálculos volumétricos y de probabilidad de éxito para cada uno de los *leads*. Finalmente, al análisis realizado permitió proponer un área perforable en la que se pudiera probar una o algunas de las acumulaciones identificadas en este proyecto.

Los resultados obtenidos en este trabajo son una base aceptable para una futura investigación, en la cual sea perfeccionado el modelo geológico y se permita realizar un análisis de la evolución estructural con el fin de evaluar el *Timing*. Se espera que este proyecto de investigación culmine como un valioso aporte para un posible aprovechamiento de los recursos hidrocarburíferos de la zona y el crecimiento económico de la región.

1.2 RESUMEN

La industria petrolera sustenta en gran parte la economía colombiana. Por lo tanto, es trascendental cuantificar volúmenes de reservas y recursos de hidrocarburo disponibles y realizar estudios exploratorios. El presente trabajo busca establecer la posible presencia de hidrocarburos en la cuenca Cordillera Oriental, específicamente en el municipio de Pesca. Para esto se realizó la cartografía geológica a escala 1:25000 y cinco secciones estructurales. Con base en estos estudios, se evaluó el potencial hidrocarburífero del Grupo Socha de edad paleógena y otros posibles reservorios con posible potencial.

El Grupo Socha fue depositado en un ambiente sedimentario dominado por la pre-inversión tectónica de la cuenca, definiendo una depositación discordante tipo *onlap* sobre la formación Guaduas. Esta sedimentación está dada por la alternancia de sedimentos procedentes de los bloques colgantes de las fallas Soapaga y Gameza. Este tipo de depositación es la base de este estudio, ya que se plantea que en los pinchamientos arenosos de la formación hay una posible acumulación de hidrocarburo. Se define un sistema petrolífero donde la formación Chipaque es la roca fuente, el Grupo Socha roca reservorio y sello. Además, se plantea el Grupo Guadalupe formando otro probable sistema petrolífero, siendo esto un valor agregado para esta investigación ya que este ha sido probado con éxito en campos cercanos.

En la zona de estudio se identificaron siete áreas de interés con potencial para albergar volúmenes importantes de hidrocarburos, áreas que involucran trampas estratigráficas y estructurales, en las cuales los principales reservorios son el Grupo Socha y los miembros Tierna y Plaeners del Grupo Guadalupe. El volumen total estimado de Recursos total para la zona es de 50,19 MMstbo aproximadamente. Los valores de probabilidad de éxito para cada *lead* de la zona de interés no superan el 10%, debido a que no fue posible usar datos sísmicos y registro de pozos que apoyaran esta investigación. Los resultados de este estudio pueden ser base para respaldar futuros estudios de prospección en la zona.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

En la zona axial de la Cordillera Oriental, en inmediaciones al municipio de Pesca-Boyacá se reportan diez rezumaderos de hidrocarburo en niveles de arenisca del cenozoico. A nivel de geología de exploración, la presencia de rezumaderos de crudo es aceptada como evidencia de sistemas petrolíferos activos.

La ANH ha propuesto varios sistemas petrolíferos para la cuenca de la Cordillera Oriental. Para los que se indican como rocas generadoras: las formaciones Guadalupe (parte media), Chipaque, Une, Tibasosa/Fomeque. Las rocas reservorios: areniscas de las formaciones Une, Guadalupe y las unidades siliciclásticas paleógenas. Los sellos regionales para el reservorio cretácico son las formaciones Guaduas, Guadalupe (parte media), Chipaque, Une y los sellos para las areniscas reservorios del paleógeno consisten de shales interestratificados y las arcillolitas de las formaciones Concentración y Socha Superior.

En la zona de estudio se identifican la roca fuente formación Chipaque, la roca reservorio Grupo Socha y el sello sus niveles arcillosos.

Rezumaderos en el área del municipio de Pesca, nos pueden indicar migración de Hidrocarburos hacia posibles reservorios tales como las unidades siliciclásticas del Paleógeno (Areniscas del Grupo Socha).

En el bloque Buenavista que es operado por Omega Energy, existen dos campos hidrocarbúferos donde ha sido verificado un sistema petrolífero que involucra reservorios cretácicos. Este proyecto busca identificar otro posible sistema petrolífero considerando como reservorio los niveles arenosos del Grupo Socha (Paleoceno medio – Eoceno temprano) y los sellos sus niveles arcillosos. Para esto se busca determinar áreas donde la tectónica regional probablemente desarrolló trampas de tipo estratigráfico en la zona, que podrían estar generando potenciales acumulaciones de crudos pesados.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el potencial hidrocarburífero del Grupo Socha (Paleógeno), en la zona axial de la cuenca de la Cordillera Oriental, municipio de Pesca.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la cartografía geológica a escala 1:25000, empleando fotointerpretación y trabajo de campo.
- Realizar cortes estructurales con el fin de identificar posibles trampas estratigráficas que involucren al Grupo Socha y otras con potencial.
- Definir gráficamente los sistemas petrolíferos para la zona, basado en el análisis estructural.
- Realizar los cálculos volumétricos y analizar la probabilidad de éxito para sustentar la viabilidad de un proyecto exploratorio.
- Proponer la posible ubicación de un área perforable.

1.5 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DEL PROYECTO

La zona de estudio se encuentra en la zona axial de la cuenca de la Cordillera Oriental, departamento de Boyacá que abarca áreas de los municipios de Firavitoba, Iza, Cuítiva, Tota y Pesca. Está ubicada entre las coordenadas planas:

Tabla 1. Coordenadas de localización zona de estudio.

	X	Y
NE	1126000	1113379
SE	1112625	1101562
NO	1119238	1118476
SO	1109140	1105312

Fuente: Autores

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio, escala en la parte izquierda inferior y sus coordenadas en el sector derecho inferior, vista satelital.



Fuente. Google Earth, autores.

1.6 ANTECEDENTES

Para la cuenca Cordillera Oriental, la ANH ha planteado sistemas petrolíferos que involucran rocas fuentes del cretácico y rocas reservorio del cretácico y paleógeno. En el bloque Buenavista existe un sistema petrolífero activo, con rocas reservorio del cretácico, ubicado en una zona triangular limitada por fallas inversas de vergencia opuesta. Para este campo se realizó un estudio de prospectividad (2008) con el fin de definir áreas exploratorias. Este estudio determinó estimaciones volumétricas de hidrocarburos mediante registros de pozo y sísmica.

Esta zona triangular se extiende por el valle de Sogamoso en dirección aproximada NE-SW, hasta finalizar en el área Sur del municipio de Pesca. De esta forma aparece la necesidad de evaluar si en el área Sur de esta zona triangular se mantiene el mismo sistema petrolífero y sus implicaciones estructurales.

En la base de datos de la EPIS, se encontraron dos registros que apoyan esta hipótesis, el primero es la presencia de rezumaderos, donde se reportan 10 para la zona de estudio. El segundo es la existencia de dos perforaciones en la zona de interés, hechas en búsqueda de hidrocarburo.

El pozo exploratorio Tamauka-1 perforado por **Occidental de Colombia Inc.** en 1997, el cual pretendía perforar un anticlinal y su objetivo era la formación Une, a la cual lograron llegar.

El pozo exploratorio Balsa-1 fue perforado por **Maurel & Prom Colombia B.V** en 2014, su objetivo fue el Grupo Guadalupe.

La zona de estudio pertenece al sector Norte del bloque Muisca, el cual fue asignado por la Ronda Colombia en el 2009 a **Hocol S.A.** y luego en el 2010 paso a ser activo de la empresa **Maurel & Prom Colombia BV**, la cual realizó sísmica 2D, 3D y hasta el momento ha perforado 3 pozos exploratorios en la cuenca de la Cordillera Oriental.

El interés exploratorio aportado por estas compañías resulta de gran importancia para fortalecer la intención de este proyecto.

1.7 BASE DATOS INICIAL

Para este trabajo de investigación se contó con los siguientes recursos,

- Mapa geológico 191 y 192 SGC escala 1:100.000. Fuente. SGC. Disponible en http://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/
- Fotografías aéreas y satelitales, además del relieve. Fuente. Google Earth.
- Títulos y solicitudes mineras en Colombia, noviembre 13 de 2014. SHAPEFILES NOV 2014. Fuente. CMC. Disponible en <https://sites.google.com/site/tierraminada/>
- Mapa rezumaderos Colombia. Fuente EPIS, ANH. Disponible en <http://www.anh.gov.co/en-us/Banco%20de%20informacion%20petrolera/EPIS/Paginas/Seleccion-de-datos.aspx>
- Mapa de pozos Colombia. Fuente EPIS, ANH. Disponible en <http://www.anh.gov.co/en-us/Banco%20de%20informacion%20petrolera/EPIS/Paginas/Seleccion-de-datos.aspx>
- Geología de la plancha 192 Laguna de Tota. Fuente SGC. Disponible en <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010002291/documento/pdf/0101022911101000.pdf>
- A Process for Evaluating Exploration Prospects, AAPG Bulletin. Disponible en <https://es.scribd.com/document/251184199/A-Process-for-Evaluating-Exploration-Prospects-Otis-Schneidermann>.
- Informe de Prospectividad, Área Cordillera. Fuente ANH. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf.
- Informe ejecutivo evaluación del potencial hidrocarburífero de las cuencas colombianas. Fuente ANH. Disponible en

<http://oilproduction.net/files/cuencas%20petroleras%20de%20colombia-2009.pdf>

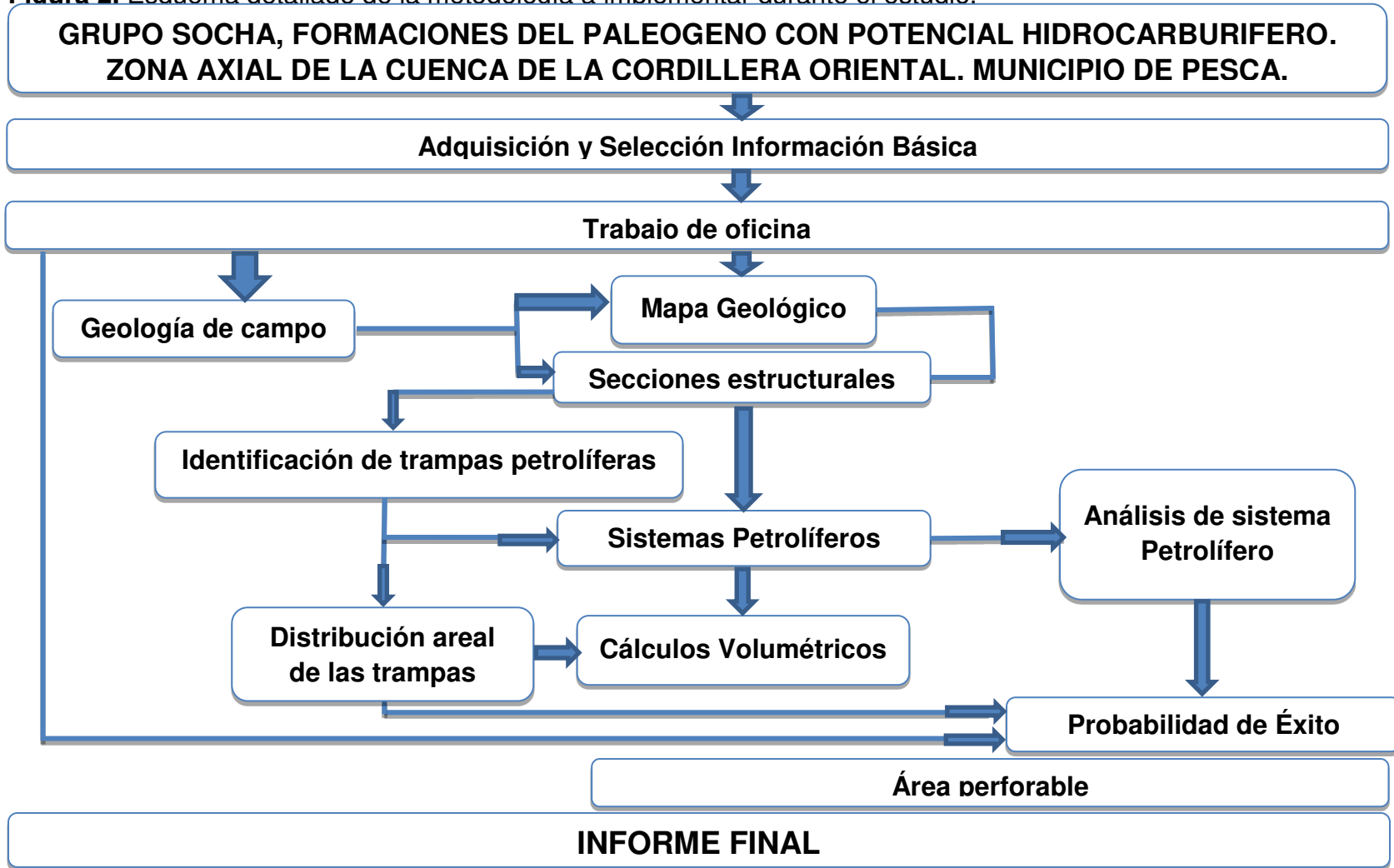
- Open Round Colombia, Cordillera Oriental 2010. Fuente ANH. Disponible en <https://www.coursehero.com/file/15209760/Cordillera-Oriental-pdf-Ronda-Colombia-2010/>.

2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo consistió inicialmente en la adquisición y selección de información básica y fotointerpretación, a través de la cual se generó una cartografía geológica la cual fue verificada con trabajo de campo. Como resultado se obtuvo la cartografía geológica - estructural del área a escala 1:25000.

Con base en la cartografía Geológica se elaboraron cinco secciones estructurales, que fueron utilizadas como base para la identificación de las trampas hidrocarburíferas (estratigráficas y estructurales) y definición de los sistemas petrolíferos. Se realizaron cálculos volumétricos (OOIP y recursos) y se analizó la probabilidad de éxito de cada uno de los *leads* identificados con el fin de conocer la incertidumbre sujeta a cada una de las oportunidades. Finalmente se definió un área en la que se podría realizar una perforación exploratoria con el fin de probar algunos de los *leads* identificados en este proyecto.

Figura 2. Esquema detallado de la metodología a implementar durante el estudio.



Fuente. Autores.

2.1 Fase I SELECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA.

Búsqueda, compilación, análisis, evaluación y selección de la información geológica, específicamente, las características tectónicas y estructurales de la zona; la cual fue complementada con interpretación de imágenes satelitales y aéreas, obtenidas especialmente de GOOGLE EARTH.

La información se organizó y clasificó, según su tipo y destino de uso.

2.2 Fase II. FOTOINTERPRETACIÓN

La fotointerpretación fue realizada con el fin de definir una cartografía geológica de la zona, mediante la identificación de lineamientos geológicos y drenajes. Complementario a esto se utilizaron los títulos mineros de 2014 para delimitar la extensión de las diferentes formaciones.

2.3 Fase III. TRABAJO DE CAMPO

Esta fase se subdivide en dos partes,

- **Cartografía Geológica:** verificación en campo de la cartografía geológica
- **Geología estructural del área:** se realizó la toma de 237 datos estructurales (rumbo buzamiento, coordenadas XY).

2.4 Fase III. TRABAJO DE OFICINA

A partir de la información obtenida a través de las anteriores fases, se realizó el mapa geológico final del área de estudio a escala 1:25.000.

Partiendo de la cartografía geológica final se elaboraron las secciones estructurales que definieron la complejidad estructural de la zona y que fueron base para la identificación de las trampas petrolíferas presentes en el área.

Con base en las secciones se establecieron los sistemas petrolíferos que junto con el límite de acumulación contacto agua-aceite (valorado según estimaciones y consideraciones del codirector del proyecto por conocimiento del área.) permitieron definir las áreas en las que se podrían presentar acumulaciones de hidrocarburo.

Definidas estas áreas y su distribución areal son utilizadas para realizar los cálculos volumétricos de OOIP (*Original oil in place*) y Recursos. Una vez valorados los recursos de cada uno de los leads se evaluó la probabilidad de éxito de cada uno de ellos con el fin de establecer el potencial de dichas trampas. Finalmente se definió un área en la que se podría probar alguna de las oportunidades propuestas.

3 GEOLOGÍA

El área de Soapaga presenta una sucesión cretácica depositada en un paleoalto cercano al borde oriental de la Cuenca Cretácica Colombiana. Los espesores de las unidades que la componen son comparativamente reducidos con respecto a los del eje de la cuenca, que hoy afloran en la mayoría de la Cordillera Oriental. El área de Soapaga está en posición muy oriental dentro de la cordillera y expone estratos proximales que se depositaron sobre un bloque de basamento que tuvo menor subsidencia que los bloques adyacentes. Las fallas de Soapaga y Boyacá separan franjas con espesores diferentes de sedimentos cretácicos, siendo menores los del lado Este de la Falla de Soapaga, produciendo menor subsidencia¹.

3.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

El área de estudio hace parte de la zona axial de la Cordillera Oriental de gran complejidad tectónica, debido a esfuerzos compresivos que originan estructuras estrechas, fallas inversas y de rumbo.

Uno de los rasgos destacables de la región es la falla de Soapaga de tipo invertido, lo cual permite deducir un evento tectónico distensivo previo al más reciente compresivo.

Las formaciones más antiguas presentes en la zona se acumularon durante el Cretácico temprano, bajo un ambiente marino en un régimen tectónico de Arco trasero (Cooper et al., 1995).

La subsidencia de los grábenes formados por este evento tectónico continuó hasta el Paleoceno medio, período en el cual comienza a actuar una tectónica compresiva

¹ MONTES, Luis. Universidad Nacional De Colombia. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera, Bogotá, 2008.P. 47. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

que origina una rotación de las fallas normales preexistentes y posteriormente invierte el desplazamiento relativo de éstas.

Esta inversión provocó el levantamiento de bloques con desarrollo de fallas de cabalgamiento. Para el Cenozoico tardío y el Cuaternario, el evento compresivo genera retrocabalgamientos menores que afectan la secuencia sedimentaria.²

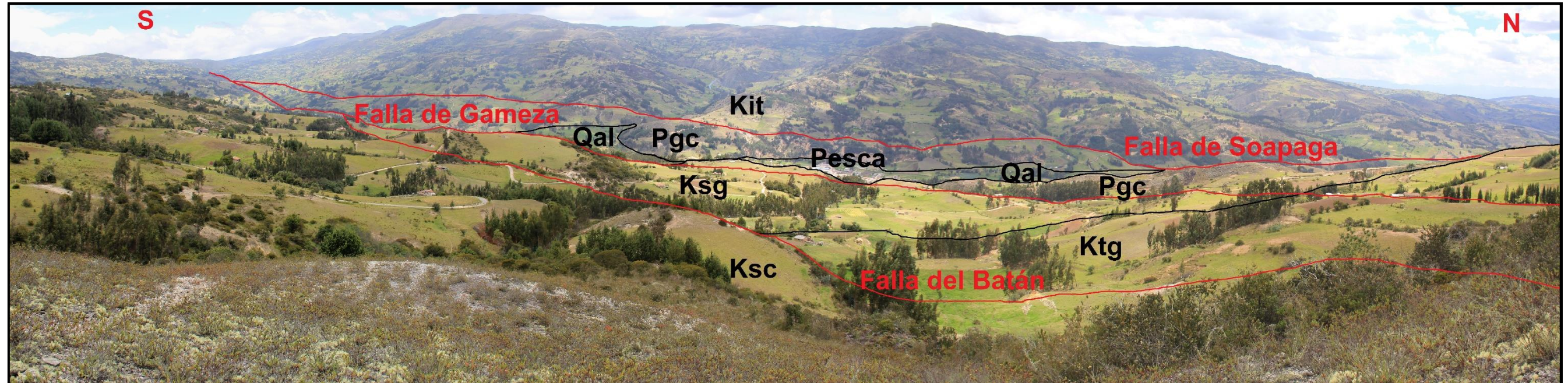
La Falla de Soapaga es una estructura definida como una falla afectada por inversión Julivert (1970) y, según la clasificación de Coward (1992), como falla de inversión positiva².

3.2 ESTRATIGRAFÍA LOCAL

Las unidades estratigráficas que afloran en el área de estudio corresponden a rocas, ígneas y sedimentarias, con edades desde el Cretáceo inferior hasta el Cuaternario.

² ULLOA, Carlos. RODRÍGUEZ, Erasmo. FUQUEN, Jaime. ACOSTA, Jorge. 2001. INGEOMINAS. Geología de la plancha 192 Laguna de Tota: 25-44 p. Bogotá. Disponible en <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010002291/documento/pdf/0101022911101000.pdf>

Imagen 1. Fotografía panorámica de la zona de estudio. Coordenadas E 1115943, N 1105738.



Fuente. Guillermo Hernández, codirector del proyecto.

3.2.1 MESOZOICO - CRETÁCICO INFERIOR

3.2.1.1 Formación Tibasosa (Kit)

Formación cretácica que se presenta en el municipio de Tibasosa, Toledo y para el caso de estudio en Pesca (Boyacá). Nombrada así por Giancarlo Renzoni, para el sector de Tibasosa. Él la clasifica en los siguientes miembros: Miembro basal, Miembro calcáreo inferior, Miembro arenáceo intermedio y Miembro calcáreo superior. Así mismo Renzoni (1981)³ describe la presencia de fauna en los miembros calcáreos que indican una probable edad Hauteriviano a Albiano medio a superior.

En la zona de estudio la unidad se extiende desde el municipio de Firavitoba hasta el municipio de Pesca. Cubriendo lateralmente la parte Oeste de la zona, siendo en la parte Noroeste el eje del sinclinal de Pesca, anticlinal de Pesca, el sinclinal de Alcaparral y el anticlinal de Alcaparral.

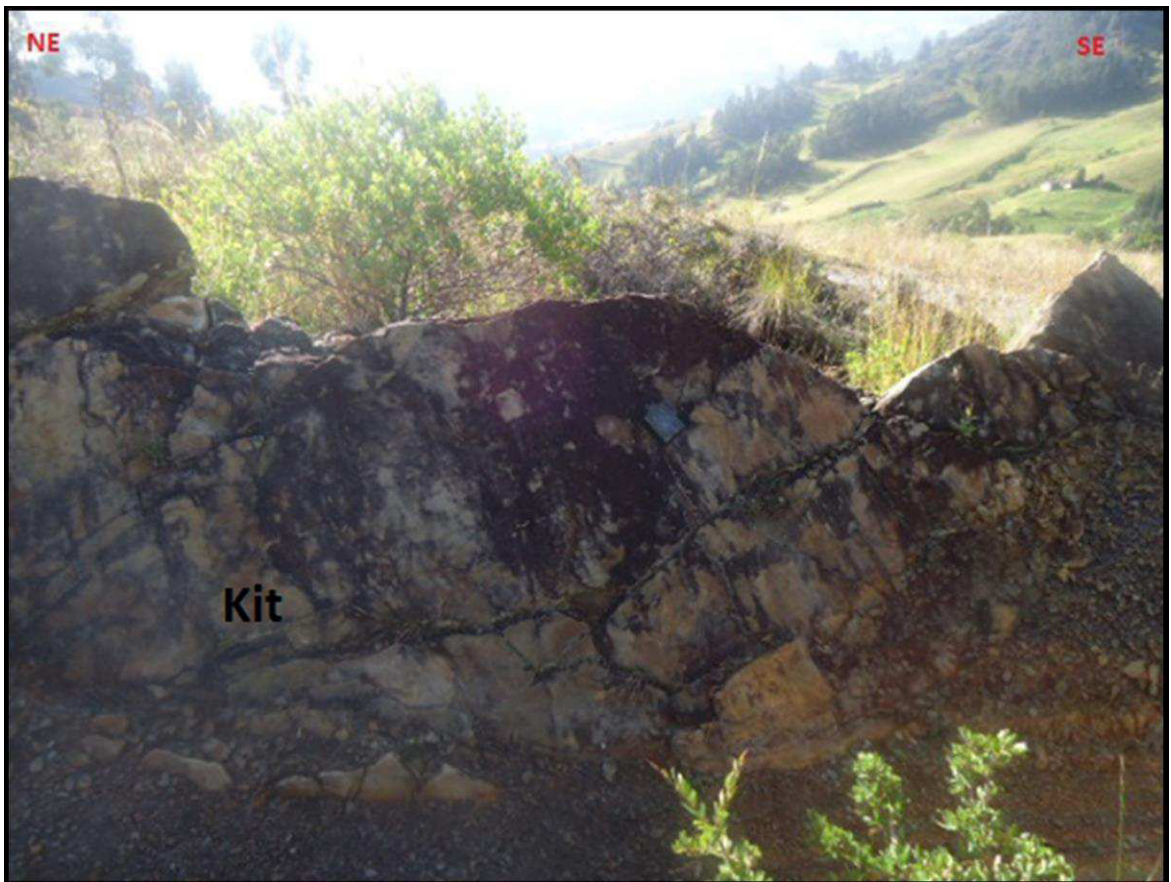
En el sector aflora en gran parte el miembro intermedio de esta (Kit2) y está constituido esencialmente por intercalaciones de bancos de caliza de hasta tres metros de espesor con arcillolitas y areniscas calcáreas de tonalidades amarillas a grises, tamaño de grano fino a medio, estratificación plano paralela y microfracturas. Y en menor cantidad en el Oeste hacia los límites de Firavitoba con Pesca aflora el miembro superior (Kit1) predominantemente arcilloso, está compuesto por arcillolitas con eventuales intercalaciones de caliza, distinguiendo hacia el techo de la formación algunos bancos de arenisca muy compacta con algunas intercalaciones de arcillolitas.

En el sector presenta un espesor 350 m. El rumbo y buzamiento son aproximadamente N33E/ 56NW. En el área de estudio, esta unidad del cretácico es puesta en contacto lateral por la falla de Soapaga con la formación Concentración

³ RENZONI, G. Geología del cuadrángulo J-12 Tunja, citado por MONTES, Luis. Universidad Nacional De Colombia. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera, Bogotá, 2008.P. 47. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

del Paleógeno. Además, es afectada por la falla de rumbo de Pesca. Esta unidad es correlacionable cronológicamente con la formación Fómeque en los llanos orientales.

Imagen 2. Fotografía en la vía Pesca – Toca, afloramiento de la formación Tibasosa, se presenta en pequeños bancos de arcillolitas calcáreas de tonalidad amarilla a gris, sin presencia de fósiles. Coordenadas E 1111859, N 1106675.



Fuente. Autores.

Imagen 3. Fotografía en la vía Pesca – Toca, afloramiento de la formación Tibasosa, se presenta en grandes bancos de areniscas calcáreas de tonalidad amarilla a gris, algunas tonalidades rojizas debido a la presencia de óxidos de hierro, sin presencia de fósiles, la línea negra indica la estratificación. Coordenadas E 1108670, N 1103927.



Fuente. Autores.

3.2.1.2 Formación Une (Kiu)

Formación cretácica, cuya localidad tipo se encuentra sobre la carretera Bogotá Villavicencio, en cercanías del municipio de Cáqueza, donde fue descrita por

Hubach (1931)⁴, como parte media del Grupo Villeta. Renzoni (1962)⁵ utiliza este nombre para las secuencias aflorantes en la carretera de Une – Fosca y Coachí – Bogotá. Su edad ha sido considerada por Burgl (1961)⁶ como Albiano a Cenomaniano. La formación en general en el sector presenta un espesor 510 m.

Para el área de estudio se presenta al Sureste de esta, en el municipio de Pesca, siendo el núcleo del anticlinal del Alto. La unidad presenta areniscas cuarzosas de tonalidades blancas a amarillas, tamaño de grano medio a grueso. El rumbo y buzamiento correspondientes a esta son aproximadamente N60E/34SE.

En el área de estudio, esta unidad está en contacto con la formación Chipaque. Esta unidad es correlacionable con la parte superior de la formación San Gil y es también posible que su parte alta corresponda a la arenisca basal del Grupo Churuvida.

⁴ HUBACH; E. Geología Petrolífera del Departamento de Norte de Santander, citado por MONTES, Luis. Universidad Nacional De Colombia. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera, Bogotá, 2008.P. 47. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

⁵ RENZONI, G. Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al Este y Sureste de Bogotá, citado por MONTES, Luis. Universidad Nacional De Colombia. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera, Bogotá, 2008.P. 47. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

⁶ BÜRGL, H. Historia geológica de Colombia, citado por MONTES, Luis. Universidad Nacional De Colombia. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera, Bogotá, 2008.P. 47. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

Imagen 4. Sector el Alto, municipio de Pesca, afloramiento de la formación Une, se presenta en estratificación (líneas negras) delgada de areniscas de tonalidad blanca a amarilla, algunas tonalidades grises debido a la meteorización. Coordenadas E 1116411 N 1104690.



Fuente. Autores.

3.2.1.3 Formación Chipaque (Ksc)

Unidad cretácica denominada así por Hubach E. (1931)⁷ y redefinida por Renzoni (1962)⁸, para el segmento alto del Grupo Villeta, presente en el municipio de Tauramena, en los municipios de Iza y Pesca. Su edad fue

⁷ Hubach E. Op. cit., p. 44

⁸ Renzoni, G. Op. cit., p. 44

considerada por Hubach E. (1957)⁹ como Cenomaniano Superior al Coniaciano.

Se encuentra al NE en el municipio de Iza siendo el eje del anticlinal de Iza y hacia el Sur siendo el eje del sinclinal de la esperanza. La unidad presenta lutitas negras con intercalaciones de calizas, y/o con intercalaciones de areniscas cuarzosas, grises claros, de grano fino. La formación en general en el sector presenta un espesor 455 m. El rumbo y buzamiento correspondientes a esta son aproximadamente N40E/30SE.

Imagen 5. Sector el Alto, municipio de Pesca, afloramiento de la formación Chipaque, se presenta en grandes bancos de areniscas de grano fino poco friable de tonalidad gris claro. Coordenadas E 1113914N 1102801.



Fuente. Autores.

⁹ HUBACH, E., 1957. Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores, citado por MONTES, Luis. Universidad Nacional De Colombia. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera, Bogotá, 2008.P. 47. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

3.2.1.4 Grupo Guadalupe (Ksg)

Es definido formalmente al oriente de Bogotá por Pérez & Salazar, (1978)¹⁰ y compuesto por los miembros Dura, Plaeners, Labor, los Pinos y Tierna, pero para efectos del estudio será denominado como el Grupo Guadalupe y no se hará distinción de alguno de los miembros

Imagen 6. Fotografía en la vía Cuítiva – Iza, afloramiento del Grupo Guadalupe, se presenta estratificación plano paralela (líneas negras) de lilitas compactas de tonalidad amarillo, con diaclasas presentadas en líneas de color rojo. Coordenadas E 1122626 N 1109380.



Fuente. Autores.

¹⁰ PÉREZ, G. & SALAZAR A. Estratigrafía y facies del Grupo Guadalupe, citado por ULLOA, Carlos. RODRÍGUEZ, Erasmo. FUQUEN, Jaime. ACOSTA, Jorge. 2001. INGEOMINAS. Geología de la plancha 192 Laguna de Tota. P.25-29. Disponible en <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010002291/documento/pdf/0101022911101000.pdf>

En la zona de estudio la unidad se presenta en el NE, en la vía que conduce del municipio de Iza a Cuítiva y hacia el SE en el municipio de Tota. Ésta presenta una amplia variedad litológica que va desde areniscas cuarzosas, blancas, compactas y tamaño de grano fino a medio; lutitas negras con intercalaciones de areniscas; hasta limolitas silíceas grises y chert grises. La formación en general en el sector presenta un espesor 230 m. El rumbo y buzamiento correspondientes a esta son aproximadamente N20E/28SE.

Esta unidad es correlacionable con el Grupo Palmichal de Tauramena.

3.2.1.5 Formación Guaduas (Ktg)

La Formación Guaduas fue descrita originalmente por Hettner (1892, en De Porta, 1974)¹¹ para referirse a los materiales que afloran en la región de Bogotá y que están por encima del Grupo Guadalupe. En la zona de estudio se encuentra hacia el NE, en el municipio de Iza siendo el núcleo del sinclinal de Iza, el sinclinal del Alto y del anticlinal de la Mina. Está en contacto con el intrusivo de Iza (Riolitas de Iza).

Esta formación se encuentra afectada por la falla inversa de Gameza y la falla de rumbo Alcaparral hacia el municipio de Iza.

Esta unidad presenta arcillas y arcillolitas grises en su mayoría, con intercalaciones de arenisca cuarzosa friable, y niveles de carbón en menor proporción para esta zona. Su tamaño de grano va de fino a medio. La formación en general en el sector presenta un espesor 325 m. El rumbo y buzamiento correspondientes a esta son aproximadamente N18W/ 23SW.

¹¹ DE PORTA DE J. Lexique Internationale Stratigraphique. Amerique Latina, citado por MONTES, Luis. Universidad Nacional De Colombia. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera, Bogotá, 2008.P. 47. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

Imagen 7. Fotografía en el municipio de Iza, afloramiento de la formación Guaduas, presenta estratificación plano paralela (línea negra) de arenisca friable de tonalidad amarillo, bastante meteorizada y fracturada. Coordenadas E 1119633 N 1110133.



Fuente. Autores.

Ulloa & Rodríguez (1979)¹² correlacionan La Formación Guaduas por posición estratigráfica con la parte superior del Grupo Palmichal. En la región de Guaduas se correlaciona con la Formación Seca, de De Porta (1966)¹³. Su edad fue datada palinológicamente como Maestrichtiano Superior – Paleoceno Inferior (Sarmiento, 1992)¹⁴.

3.2.2 CENOZOICO- PALEÓGENO

3.2.2.1 Riolitas de Iza (Pgri)

Cerca al casco urbano de Iza se encuentra un cuerpo de rocas volcánicas con dimensiones que varían de 2 a 1 km², se observó que está puesto en contacto con rocas del Grupo Guadalupe y formación Guaduas en superficie. Este cuerpo volcánico de forma circular es de composición riolítica según Renzoni (1969)¹⁵. Macroscópicamente las rocas que lo componen son de color blanco con trazas amarillas a rojiza.

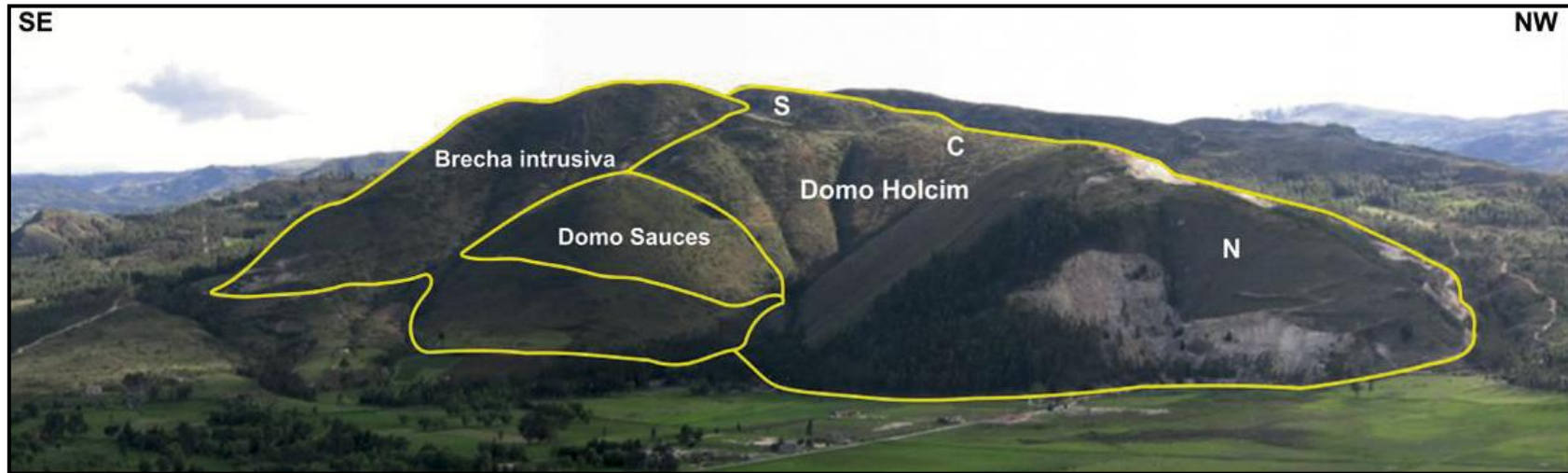
¹² ULLOA, C. & RODRÍGUEZ, E. Geología del Cuadrángulo K-12 Guateque, Colombia, citado por MONTES, Luis. Universidad Nacional De Colombia. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera, Bogotá, 2008.P. 47. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

¹³ DE PORTA DE J. La Geología del extremo Sur del Valle Medio del Magdalena, citado por MONTES, Luis. Universidad Nacional De Colombia. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera, Bogotá, 2008.P. 47. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

¹⁴ SARMIENTO, G. Palinología de la Formación Guaduas - Estratigrafía y Sistemática, citado por MONTES, Luis. Universidad Nacional De Colombia. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera, Bogotá, 2008.P. 47. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

¹⁵ RENZONI, G. Geología del Cuadrángulo L11-Villavicencio, escala 1:200.000, citado por ULLOA, Carlos. RODRÍGUEZ, Erasmo. FUQUEN, Jaime. ACOSTA, Jorge. 2001. INGEOMINAS. Geología de la plancha 192 Laguna de Tota: 25-44 p. Bogotá. Disponible en <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010002291/documento/pdf/0101022911101000.pdf>

Imagen 8. Fotografía en el municipio de Iza, panorámica del cuerpo volcánico. Se observa la brecha intrusiva, domo los sauces y domo Holcim parcialmente al Sur (S), la parte central (C) y el Norte (N).



Fuente. Monsalve, et al. 2001¹⁶.

¹⁶ MONSALVE M, ROJAS N., VELANDIA F., PINTOR I., MARTINEZ L. Caracterización geológica del cuerpo volcánico de Iza, Boyacá – Colombia. INGEOMINAS. bol.geol. vol.33 no.1. Bucaramanga. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-02832011000100009

3.2.2.2 Grupo Socha (Pgs)

Grupo formado por dos miembros Areniscas de Socha compuesta por areniscas amarillentas con algunas capas de arcillolitas. Arcillolitas de Socha compuestas por arcillolitas intercaladas con algunas delgadas capas de areniscas. Su edad según T. Van Der Hammen (1957)¹⁷ corresponde al Paleoceno.

Imagen 9. Fotografía en el municipio de Iza, afloramiento del Grupo Socha Miembro Arenoso, areniscas blancas a amarillentas con estratificación plano paralela (líneas negras), con tonalidades grises debido a la meteorización, presenta diaclasamiento (líneas rojas), sin relleno. Coordenadas E 1118440 N 1111394.



Fuente. Autores.

¹⁷ VAN DER HAMMEN, T. Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá (Cordillera Oriental de Colombia), citado por MONTES, Luis. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2008. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera: 47-54 p. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

En la zona de estudio se encuentra al NE. Está afectada por la falla de Pesca y la falla de Gameza. Esta unidad presenta arenisca de grano grueso de tono amarillento con niveles más delgados de arcillas grises, verduzcas y rojizas correspondiente al miembro inferior. Así mismo presenta arcillas grises, verdosas con intercalaciones de delgadas capas de arenisca gris de grano fino perteneciente al miembro superior. La formación en general en el sector presenta un espesor aproximado 350 m. El rumbo y buzamiento correspondientes a esta son aproximadamente N19E/25NW.

3.2.2.3 Formación Picacho (Pgp)

El nombre de Formación Picacho fue dado por Alvarado & Sarmiento (1944)¹⁸ para designar un conjunto potente de areniscas que descansa sobre el Grupo Socha, y establece su localidad tipo en el cerro Picacho, 1,5 km al Noroeste de Paz de Río. Según Van der Hammen (1957)¹⁹, en esta unidad no se han encontrado muestras con polen; sin embargo, basado en su posición estratigráfica, considera que su edad debe ser eocena temprana.

En el área de estudio se encuentra al NE, se encuentra afectada por la falla de rumbo de Pesca y la falla inversa de Gameza.

Esta unidad está compuesta por arenisca conglomerática blanca con ocasionales intercalaciones de conglomerado de cuarzo y chert de grano grueso. La formación en general en el sector presenta un espesor aproximado 110 m. El rumbo y buzamiento correspondientes a esta son aproximadamente N66W/7SW.

¹⁸ ALVARADO, B.; SARMIENTO, R. Informe geológico sobre los yacimientos de hierro, carbón y caliza de la región de Paz de Río, Departamento de Boyacá, citado por MONTES, Luis. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2008. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera: 47-54 p. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

¹⁹ VAN DER HAMMEN, T. Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá (Cordillera Oriental de Colombia, Op. Cit., p. 54.

Van Der Hammen (1957)²⁰ establece su coetaneidad con las formaciones La Paz del Valle Medio del Magdalena, El Mirador de la Concesión Barco y Hoyón del Valle Medio del Magdalena y la región de la Sabana de Bogotá.

Imagen 10. Fotografía en el municipio de Iza, afloramiento de la formación Picacho, se presentan potentes bancos de areniscas conglomeráticas blancas a amarillas, fracturadas (líneas rojas) y meteorizadas. Coordenadas E 1118155 N 1111662.



Fuente. Autores.

3.2.2.4 Formación Concentración (Pgc)

Denominada así para la sección que aflora en los alrededores del caserío de Concentración sobre la carretera Belén – Paz de Río. Su edad fue determinada en

²⁰ Ibíd., p. 54

el estudio del polen por Vander Hammen T. (1957)²¹, entre el Eoceno medio y Oligoceno medio.

Imagen 11. Fotografía en el casco urbano de Pesca, explotación de asfaltitas, afloramiento de la formación Concentración, arenisca conglomerática con impregnación de Hidrocarburo. Coordenadas E 110758568 N 1118859.



Fuente. Autores.

En la zona de estudio se encuentra al NE y en cercanías del municipio de Pesca, por la falla regional de Soapaga está en contacto lateral con la formación Tibasosa, se encuentra afectada por la falla de rumbo de Pesca y la falla inversa de Gameza. Esta unidad está compuesta por arenisca conglomerática con cemento de óxidos de hierro con intercalaciones de arcillas gris, verduzcas a rojizas. La formación en

²¹ *Ibíd.*, p. 54

general en el sector presenta un espesor aproximado 150 m. El rumbo y buzamiento correspondientes a esta son aproximadamente N53E/25SE.

Vander Hammen T. (1957)²² establece su correlación, con excepción de la parte inferior, con las formaciones San Fernando y Diablo del Borde Llanero y Carbonera de la Cuenca de Maracaibo.

3.2.3 CUATERNARIO

3.2.3.1 Coluviales (Qc)

Los depósitos coluviales incluyen los depósitos de talud y derrubios y se constituyen por acumulación de material de tamaño variable y de composición heterogénea, predominantemente bloques angulares.

3.2.3.2 Aluviales (Qal)

Los depósitos aluviales se encuentran hacia las márgenes de los drenajes y consisten principalmente de arenitas, en una matriz areno arcillosa, con bloques redondeados a subredondeados.

²² *Ibíd.*, p. 54

3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

La tectónica de la zona de estudio se caracteriza por poseer esfuerzos compresivos en dirección NW - SE, estas fuerzas originan el conjunto de estructuras geológicas con dirección preferencial SW - NE que se encuentran en el área y que se describe a continuación.

3.4 FALLAS

3.4.1.1 Falla de Soapaga

Procedente de la Falla de Bucaramanga, la falla de Soapaga es una falla inversa reactivada de dirección NE – SW, la cual mantiene constante a través de todo el trayecto que se encuentra en la zona de estudio. Durante la fase andina (Mioceno Superior a Plioceno) se invirtieron las cuencas de rift, lo que llevó a que la falla se invirtiera y cambiara su naturaleza de tipo normal a inversa (Colleta, et al., 1990)²³. En la zona de estudio esta falla pone en contacto las rocas del Cenozoico (Formación Concentración) con rocas del cretáceo (Formación Tibasosa).

3.4.1.2 Falla de Gameza

Estructura de gran importancia en el área de estudio. Falla Inversa con dirección predominante NE – SW, esta falla aparece en el área de estudio hacia el norte del casco urbano de Iza donde pone en contacto los Grupos Socha y Guadalupe, continuando con su trazado hacia el Sur se encuentra cubierta por un cuaternario aluvial hasta reaparecer en superficie y atravesar la formación Chipaque, Grupo Guadalupe y a la formación Guaduas. Hacia la parte central pone en contacto formaciones del cretácico (Grupo Guadalupe) con formaciones del paleógeno (Grupo Socha). En este sector, se desprende la falla del Batán de esta estructura.

²³ COLLETA, B., Hebrard, F., Letouzey, J., Werner, P., and Rudkiweicz, J. L., Tectonic style and crustal structure of the Eastern Cordillera, Colombia from a balanced cross section, citado por MONTES, Luis. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2008. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera: 47-54 p. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf

Y hacia el Sur del área de estudio la falla de Gameza desaparece bajo la falla de Soapaga.

3.4.1.3 Falla de Toca

Falla inversa, de dirección NE – SW, ubicada hacia el NW del casco urbano de Pesca, se desprende de una estructura mayor que está como lo es la falla de Sabú. A través de su extensión total esta falla solo se encuentra atravesando la formación Tibasosa.

3.4.1.4 Falla de Sabú

Falla inversa, su rumbo varía a lo largo de su extensión, hacia el Sur presenta una dirección que varía desde NW –SE a NE – SW, y hacia la parte Norte continua con una dirección preferencial NW –SE, la cual mantiene hasta salir del área de estudio. De esta estructura se desprende, de menor extensión la falla de Toca, y al igual que esta la falla de Sabú solo se encuentra atravesando la formación Tibasosa a lo largo de todo su recorrido.

3.4.1.5 Falla del Batán

Falla inversa, de dirección NE – SW preferencialmente, hacia la parte Sur de la zona de estudio esta estructura aparece al presentarse como una dislocación de la falla de Gameza. A lo largo de su recorrido esta estructura solo involucra formaciones Cretácicas (formación Guaduas, Grupo Guadalupe, Chipaque y Une) las cuales pone en contacto lateral. De esta se desprenden estructuras menores como la falla de Romero y la falla de Tota.

3.4.1.6 Falla de Tota

Falla inversa, de dirección NE - SW, que a lo largo de toda su extensión en la zona de estudio solo se encuentra afectando en superficie a la formación Chipaque. Esta falla se descompone de una estructura mayor como es la falla del Batán, y presenta una vergencia contraria al resto del sistema de fallas.

3.4.1.7 Falla de Romero

Falla inversa, de dirección NE -SW, esta estructura de carácter local solo desplaza en superficie a la formación Chipaque, la falla de Romero que hacía el Norte se desprende de la falla del Batán, continua con la misma vergencia de la estructura de la cual proviene.

Las fallas inversas anteriormente mencionadas, Gameza, Tota, Batán y Romero tienen un probable despegue en los niveles arcillosos de la formación Tibasosa.

3.4.1.8 Falla de Alcaparral,

Falla de rumbo, de dirección NW - SE, se encuentra en la parte Norte de la zona de estudio cerca al río Tota. Se infiere que está atravesando el valle cubierto por el cuaternario aluvial hasta llegar a la parte Este donde falla la secuencia compuesta por las formaciones de Chipaque, Guaduas y el Grupo Guadalupe. En su trayecto también desplaza estructuras como el sinclinal y el anticlinal de Iza.

3.4.1.9 Falla de Pesca,

Falla de rumbo, de dirección NW - SE, que se encuentra hacia el NW de la zona de estudio, esta estructura local corta de Este a Oeste la formación Tibasosa, luego es cubierta por el cuaternario aluvial y aparece de nuevo en superficie afectando las formaciones que pertenecen a la secuencia Paleógena (formación Concentración, Picacho y Grupo Socha). A demás afecta estructuras como el sinclinal de Pesca.

3.4.1.10 Falla de Iza,

Falla de rumbo, de dirección NW - SE, esta estructura se encuentra ubicada en el costado Este de la zona central del área de estudio, al igual que la anterior estructura esta falla es de carácter local, y corta en sentido W – E las formaciones Guaduas, Chipaque y al Grupo Guadalupe.

3.4.2 PLIEGUES

3.4.2.1 Anticlinal de Pesca

Anticlinal de dirección NE - SW, ubicado al costado NW de la zona de estudio, en los límites entre el municipio de Pesca y el municipio de Firavitoba, en superficie el núcleo del anticlinal se encuentra compuesto por rocas de la formación Tibasosa, así como en sus flancos. Esta estructura tiene una extensión aproximada de 2Km.

3.4.2.2 Anticlinal de Alcaparral

Ubicado al NW del área de estudio, esta estructura cuenta con una dirección NE - SW, y se encuentra paralelo al trazado de la falla de Soapaga. Este anticlinal que en superficie solo involucra a la formación Tibasosa, en la mayor parte de su trazado se encuentra cubierto por el cuaternario aluvial. Su extensión total es aproximadamente 4 Km.

3.4.2.3 Anticlinal de la Mina

Estructura localizada en la parte central de la sección Norte de la zona de estudio, presenta una dirección preferencial NE – SW. Este anticlinal que hacia su parte Sur solo se evidencia en la formación Guaduas, hacia su parte Norte se encuentra cubierto por un cuaternario aluvial de gran extensión. Su longitud aproximada en el área de estudio es de 3 Km.

3.4.2.4 Anticlinal Iza

Localizado contiguo a la falla del Batán, este anticlinal de dirección NE - SW, está ubicado en la parte NE del área de estudio. Su núcleo en superficie se involucra con la formación Chipaque hacia su segmento Norte y Sur. En la parte central se encuentra cubierto por un cuaternario aluvial, en el cual, por acción de la falla del Alcaparral, hacia su segmento Norte, pasa a comportarse como un anticlinal tumbado (criterio de los autores). Su extensión aproximada en la zona de estudio es de 8 Km.

3.4.2.5 Anticlinal de la Esperanza

Estructura geológica que en la zona de estudio se encuentra ubicada en la parte central cerca del casco urbano del municipio de Pesca. Presenta una dirección preferencial NE - SW, en su extensión superficial solo afecta el Grupo Guadalupe. Se encuentra limitado al Oeste por la falla de Gameza y al Este por la falla del Batán. Su extensión aproximada en el área de estudio es 3 Km.

3.4.2.6 Anticlinal del Alto

Anticlinal ubicado en la parte Sur de la zona de estudio y presenta una dirección NE - SW, en superficie solo se involucra con la formación Une, hacia su parte Norte la estructura se ve truncada por la falla del Batán. Su extensión aproximada en el área es 9 Km.

3.4.2.7 Sinclinal de Pesca

Localizado hacia la parte Oeste de la zona de estudio, el sinclinal de Pesca es la estructura plegada con mayor longitud en toda el área. Presenta una dirección predominante NE – SW, a lo largo de todo su trazado en superficie, el núcleo de esta estructura se encuentra en las rocas formación Tibasosa. Hacia su parte Norte se encuentra afectada por la falla de Pesca, esta estructura tiene un trazado paralelo a la falla de Soapaga lo que indica su posible generación durante la orogenia Andina. Su extensión aproximada es de 13 Km en la zona de estudio.

3.4.2.8 Sinclinal de Alcaparral

Sinclinal de dirección NE - SW, ubicada al costado NW de la zona de estudio, esta estructura es una de las más pequeñas en longitud, solo se encuentra afectando a la formación Tibasosa en superficie. Su extensión aproximada en el área de estudio es 1Km.

3.4.2.9 Sinclinal de Iza

Sinclinal de dirección NE - SW, ubicada al lado NE de la zona de estudio, esta estructura tumbada es el resultado de la acción de la falla del Alcaparral. En

superficie esta estructura tiene su núcleo en las rocas de la formación Guaduas. Su extensión aproximada en la zona de estudio es 4 Km.

3.4.2.10 Sinclinal del Alto

Ubicado en la parte Este de la zona central del área de estudio, esta estructura presenta una dirección NE – SW, y se mantiene paralela a la falla de Gameza. El núcleo en superficie de esta estructura se encuentra compuesto en su totalidad por rocas de la formación Guaduas. Su extensión aproximada en superficie es 4 Km.

3.4.2.11 Sinclinal de la Esperanza

Localizado hacia la parte SE del área de estudio, cuenta con una dirección NE - SW, esta estructura solo se encuentra afectando a la formación Chipaque en superficie, hacia la parte Norte la estructura se ve truncada por acción de la falla de Romero. Su extensión aproximada en la zona de estudio es de 3 Km.

4 RESULTADOS

En este capítulo se describe el análisis de datos, interpretación, y cálculos realizados. Se presenta el mapa geológico a escala 1:25000, las secciones estructurales donde se propone la existencia de una serie de acumulaciones de hidrocarburos

Basados en las secciones estructurales derivadas del mapa Geológico, se definieron los sistemas petrolíferos para esta zona, se definió el límite de acumulación basados en un contacto agua-aceite subjetivo, el cual permitió delimitar las áreas de interés, a partir de éstas se realizó una estimación del volumen de hidrocarburo OOIP (*Original oil in place*) y de Recursos presente en cada una de las trampas identificadas.

Finalmente se calculó la probabilidad de éxito de cada *lead* con el fin de conocer la incertidumbre sujeta a cada una de las oportunidades. En conclusión, se definió un área, donde se podría perforar un pozo con el fin de probar las trampas

4.1 SENSORES REMOTOS

Fotointerpretación, con el fin de diseñar un mapa geológico preliminar mediante Google Earth, se usaron imágenes satelitales, fotografías aéreas y antiguos mapas geológicos de la zona. En algunas áreas se complementó la delimitación de las formaciones con la base de datos de solicitudes y títulos mineros (explotaciones de Carbón, y demás materiales).

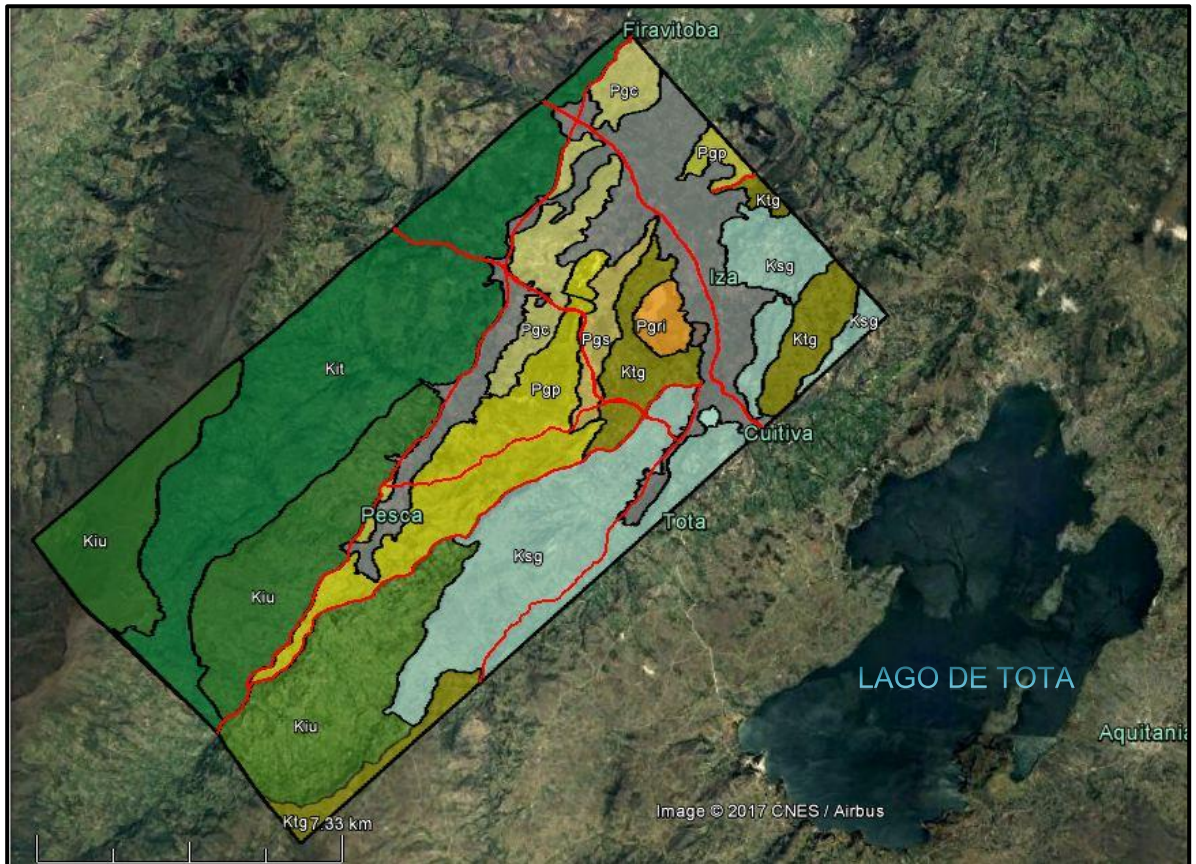
Figura 3. Zona de estudio enmarcada en el polígono rojo, solicitudes y títulos mineros existentes delimitados en polígonos negros, vista satelital.



Fuente. Google Earth, autores.

El relieve, herramienta de Google Earth, facilitó la delimitación de los depósitos cuaternarios, así mismo algunas formaciones debido al patrón morfológico distintivo.

Figura 4. Zona de estudio delimitado por el polígono negro, geología (polígonos de color) y fallas preliminares (líneas rojas) vista satelital.



Fuente. Google Earth, autores.

El mapa geológico preliminar a escala 1:25000 de la zona de estudio fue parte de la campaña de campo.

4.2 CARTOGRAFIA GEOLOGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Basados en la fotointerpretación y el trabajo de campo se identificaron las formaciones geológicas presentes y se realizó la toma de datos estructurales, el producto final fue el mapa geológico a escala 1:25000, **ANEXO 1**.

Los esfuerzos principales en la zona tienen direcciones preferenciales NW – SE. Debido al comportamiento compresivo que se presenta, en la zona se generan plegamientos, fallamiento inverso con dirección NE-SW y fallas de rumbo con direcciones perpendiculares a las demás estructuras.

En la zona de estudio se presentan dos secuencias estratigráficas de diferentes edades, la primera es la secuencia Cretácica constituida por las formaciones Tibasosa (Kit), Une (Kiu), Chipaque (Ksc), Grupo Guadalupe (Ksg), Guaduas (Ktg). La segunda es la secuencia Paleógena compuesta por las siguientes formaciones Grupo Socha (Pgs), Picacho (Pgp), Concentración (Pgc). Además de la presencia del intrusivo Riolitas de Iza, depósitos cuaternarios Aluviales y Coluviales.

La zona presenta dos estructuras de carácter regional, las fallas de Soapaga y Gameza. La falla de Soapaga atraviesa el área en sentido SW – NE y pone en contacto rocas cretácicas con rocas paleógenas. Esta estructura de carácter invertido divide la zona en dos sectores, hacia el Oeste se presenta la sucesión cretácica en la que aflora la formación Tibasosa. La sección Este de la falla de Soapaga, es también la zona central del área de estudio, de gran importancia pues se comporta como bloque yacente para las dos fallas (fallas Soapaga y Gameza).

En la parte central de la zona se encuentran aflorantes rocas paleógenas, cretácicas y el intrusivo de Iza, que fue llevado a superficie probablemente por la acción de la falla de Gameza. Hacia la parte SW de esta faja central del área de estudio la falla de Gameza desaparece bajo la falla de Soapaga. El bloque colgante de la falla de Gameza que representa el sector Este de la zona de estudio está compuesto en su totalidad por rocas de la sucesión Cretácica. Por otra parte, esta zona está afectada por un sistema de fallas inversas (Batán, Romero, Tota.), que mantienen una dirección predominante NW -SE.

Como se ha mencionado anteriormente la zona de estudio se divide en tres secciones principalmente Oeste, Central y Este. En la sección Oeste se presentan en la formación Tibasosa, plegamientos alargados, pero de pequeña extensión lateral (Anticlinal y sinclinal de Pesca, Anticlinal y sinclinal del Alcaparral) paralelos al trazado de la falla de Soapaga. Hacia la parte central solo se encuentra una estructura representativa sobre la formación Guaduas, el anticlinal de la Mina, con pequeña longitud y gran extensión lateral. Por último, en la sección Este, hacia el municipio de Iza se encuentra el sinclinal y el anticlinal de Iza, estructuras tumbadas que posiblemente deben su origen a la falla del Alcaparral. Hacia la parte SE de la zona de estudio se encuentran tres estructuras con dirección NW - SE, el anticlinal y sinclinal del Alto y el anticlinal de la esperanza todos con sus núcleos en rocas Cretácicas.

En el sector Norte de la zona de estudio se encuentran tres fallas de rumbo con direcciones NW – SE. La falla del Alcaparral de mayor extensión afecta cuatro formaciones de Oeste-Este, formación Tibasosa, Chipaque, Grupo Guadalupe, Guaduas. La segunda es la falla de Pesca que se vincula a tres formaciones de Oeste-Este, formación Tibasosa, Concentración, Picacho, Grupo Socha. La tercera es la falla de Iza, que en superficie solo afecta tres formaciones de Oeste-Este, formación Guaduas, Grupo Guadalupe, Chipaque.

4.2.1 SECCIONES ESTRUCTURALES

El área de estudio se describe como una zona en la que los esfuerzos principales tienen direcciones preferenciales NW – SE. Con el fin de comprender el comportamiento de las unidades geológicas, se realizaron un total de cinco secciones estructurales las cuales describen en profundidad la complejidad estructural del área. Las secciones se plantearon paralelas a la dirección en la que actúan los esfuerzos principales, con esto se consigue atravesar perpendicularmente las estructuras geológicas.

Las secciones estructurales fueron basadas en la proyección en subsuelo de los datos estructurales y estratigráficos medidos en afloramientos. Las unidades presentes en la totalidad de las secciones geológicas se dividen en dos secuencias, la secuencia Cretácica y la secuencia Paleógena. La secuencia Cretácica está compuesta por las siguientes formaciones Lutitas de Macanal (Kilm), Areniscas de las Juntas (Kiaj), Tibasosa (Kit), Une (Kiu), Chipaque (Ksc), Grupo Guadalupe (Ksg), Guaduas (Ktg). La secuencia paleógena está compuesta por las formaciones, Grupo Socha (Pgs), Picacho (Pgp) y Concentración (Pgc). Además, de la presencia del intrusivo Riolitas de Iza (Pgri) y Cuaternarios Aluviales (Qal).

El área presenta un estilo estructural de piel delgada (*thin skin*) que se produce en cuencas en las que la deformación se concentra en la cobertura sedimentaria sin involucrar el basamento. En la zona de estudio se encuentran dos fallas de carácter regional (Soapaga y Gameza), que al tener vergencias distintas constituyen una zona triangular. Esta sección (zona triangular) se comporta como un bloque yacente, para las dos estructuras, que fueron las encargadas de aportar los sedimentos que componen las rocas del Grupo Socha.

Hacia la parte Sur del área, la zona triangular desaparece en superficie, debido a que la falla de Gameza se oculta bajo la falla de Soapaga. Esto se origina porque los esfuerzos compresivos que afectan las dos estructuras aumentan su intensidad hacia el sector SW de la zona de estudio. Esta afirmación está apoyada en el aumento progresivo en dirección SW, de los saltos de las fallas inversas que se asocian a la falla de Gameza.

En la totalidad de las secciones, hacia el costado Este se presentan un sistema de fallas inversas (Fallas Gameza, Batán, Romero, Tota) que tienen un despegue en los niveles base de la formación Tibasosa y vergencia al SE.

El bloque colgante de la falla de Soapaga, es el que presenta mayor erosión, llevando a que aflore la formación Tibasosa. Además de esto el bloque colgante de la falla de Gameza presenta erosión, aunque en menor proporción.

Para las formaciones presentes en el área de estudio, se utilizaron los siguientes espesores, basados en las descripciones geológicas de estas formaciones en la región:

- Formación Lutitas de Macanal (Kilm) 2000 metros.
- Formación Areniscas de las Juntas (Kiaj) 750 metros.
- Formación Tibasosa (Kit) 350 metros.
- Formación Une (Kiu) 510 metros.
- Formación Chipaque (Ksc) 455 metros.
- Grupo Guadalupe (Ksg) 230 metros.
- Formación Guaduas (Ktg) 325 metros
- Grupo Socha (Pgs) 350 metros.
- Formación Picacho (Pgp) 110 metros
- Formación Concentración (Pgc) 150 metros.

En la totalidad de las secciones las acumulaciones de hidrocarburo se localizan en la parte central, limitada al Oeste por la falla de Soapaga y al Este por la falla de Gameza. En este estudio solo se evaluará este tramo pues se considera que hacia los bloques colgantes de las dos fallas (Soapaga y Gameza) no se presentan acumulaciones. Esto debido a que las rocas que se definen como reservorio, sello y fuente se encuentran aflorando o ya fueron completamente erodadas.

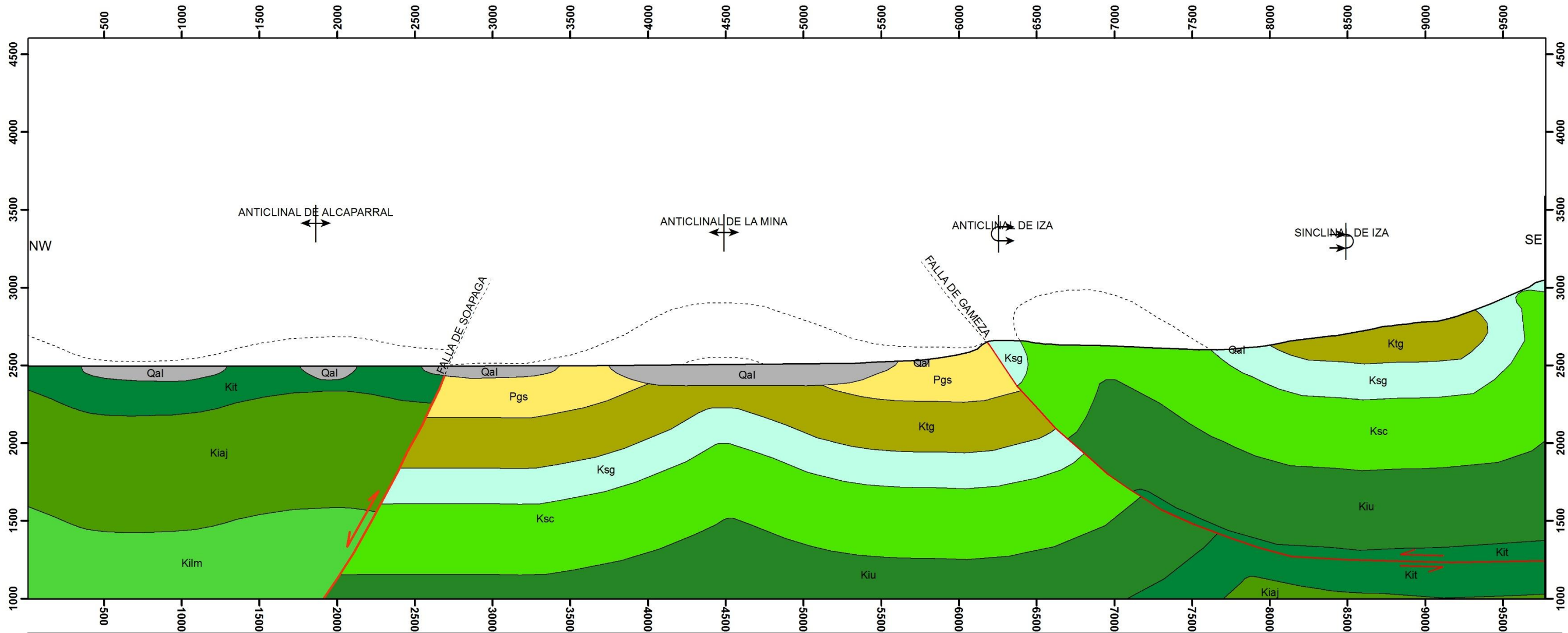
Para el área de estudio se definieron siete acumulaciones de hidrocarburos. La principal y objeto de este estudio se presenta en el Grupo Socha esta se extiende desde la sección **A-A'** hasta la sección **E-E'** y será denominada **trampa Socha**.

Una vez realizadas y evaluadas las secciones estructurales fue notoria la presencia de trampas estructurales que involucraban secuencias cretácicas (Grupo Guadalupe). De este modo al objeto de este estudio se incorporó el Grupo Guadalupe. Para el Grupo Guadalupe se definieron tres acumulaciones para su miembro Tierna que son **trampas Tierna A, Tierna C y Tierna E** del mismo modo

En un gran porcentaje de su longitud la sección atraviesa un cuaternario aluvial de gran extensión y un espesor aproximado de 150 metros.

La sección se extiende desde el municipio de Firavitoba al Oeste hasta el municipio de Iza al Este.

Figura 6. Sección estructural A-A'. **Fuente.** Autores.



LEYENDA

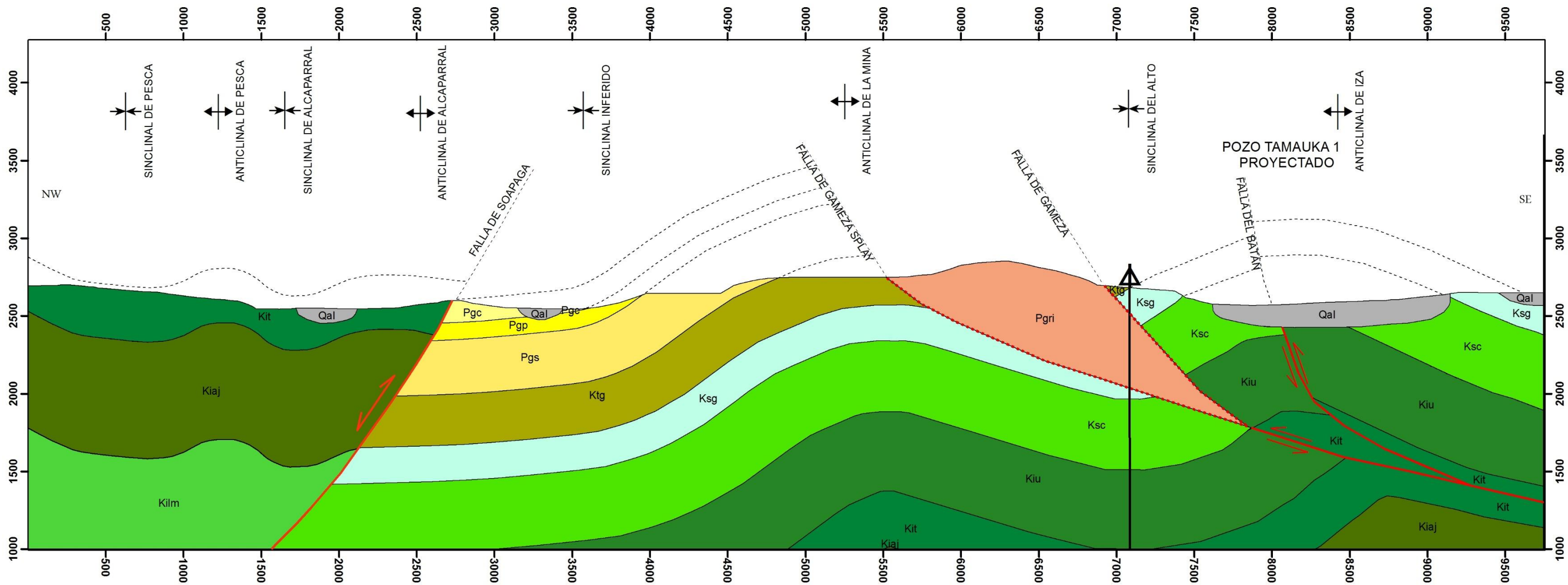
<ul style="list-style-type: none"> Fm. Guaduas Grupo Guadalupe Fm. Chipaque Fm. Une Fm. Tibasosa Fm. Areniscas de las Juntas Fm. Lutitas de Macanal <p>SECUENCIA CRETÁCICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fm. Concentración Fm. Picacho Grupo Socha Riolitas de Iza Depósito Aluvial <p>SECUENCIA PALEÓGENA</p>	<p>CUATERNARIO</p>	<p>CONTACTOS Y FALLAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Erosionado Contacto Definido Falla Inversa Falla Invertida 	<p>ESTRUCTURAS PLEGADAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Sinclinal Anticlinal Anticlinal Volcado Sinclinal Volcado
---	---	---------------------------	---	---

TÍTULO: SECCIÓN ESTRUCTURAL A-A'	REALIZÓ: ADRIANA N. MEDINA IVAN A. ROMERO	REVISÓ/APROBÓ: GUILLERMO A. HERNÁNDEZ ING. GEÓLOGO MSC.	ESCALA 1:25.000
----------------------------------	--	--	-----------------

encuentran el sinclinal del Alto, el anticlinal de Iza y la falla del Batán, que solo afectan a rocas Cretácicas.

En esta sección se muestra una proyección del pozo Tamauka 1.

Figura 8. Sección estructural B-B'. **Fuente.** Autores.



LEYENDA

- Fm. Guaduas
 - Grupo Guadalupe
 - Fm. Chipaque
 - Fm. Une
 - Fm. Tibasosa
 - Fm. Areniscas de las Juntas
 - Fm. Lutitas de Macanal
- SECUENCIA CRETÁCICA**

- Fm. Concentración
 - Fm. Picacho
 - Grupo Socha
- SECUENCIA PALEÓGENA**

- Depósito Aluvial
 - Riolitas de Iza
- CUATERNARIO**

CONTACTOS Y FALLAS

- Erosionado
- Contacto Definido
- Falla Inversa
- Falla Invertida

ESTRUCTURAS PLEGADAS

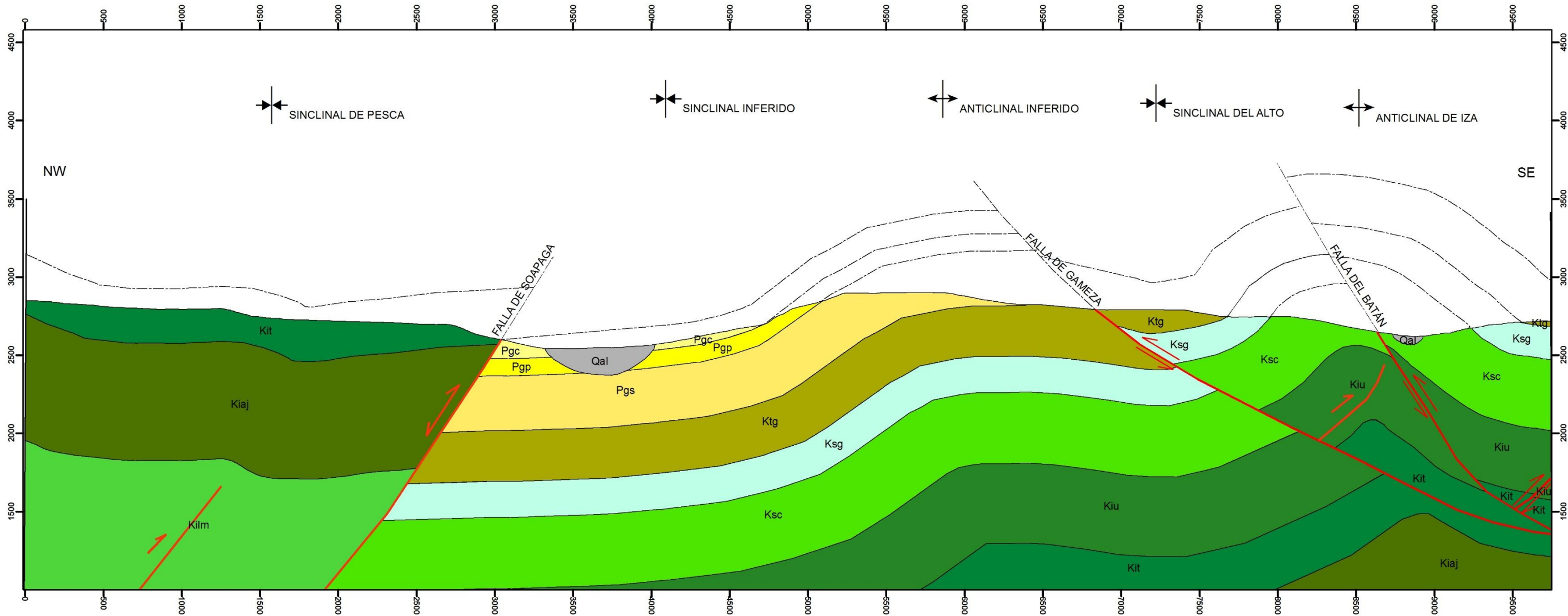
- Sinclinal
- Anticlinal
- Anticlinal Volcado
- Sinclinal Volcado

TÍTULO: SECCIÓN ESTRUCTURAL B-B'

REALIZÓ: ADRIANA N. MEDINA
IVAN A. ROMERO

REVISÓ/APROBÓ: GUILLERMO A. HERNÁNDEZ
ING. GEÓLOGO MSC.

ESCALA 1:25.000



LEYENDA

- Fm. Guaduas
- Grupo Guadalupe
- Fm. Chipaque
- Fm. Une
- Fm. Tibasosa
- Fm. Areniscas de las Juntas
- Fm. Lutitas de Macanal

SECUENCIA CRETÁCICA

- Fm. Concentración
- Fm. Picacho
- Grupo Socha

SECUENCIA PALEÓGENA

- Riolitas de Iza



Depósito Aluvial

CUATERNARIO

CONTACTOS Y FALLAS

- Erosionado
- Contacto Definido
- Falla Inversa
- Falla Invertida

ESTRUCTURAS PLEGADAS

- Sinclinal
- Anticlinal
- Anticlinal Volcado
- Sinclinal Volcado

TÍTULO: SECCIÓN ESTRUCTURAL C-C'

REALIZÓ: ADRIANA N. MEDINA
IVAN A. ROMERO

REVISÓ/APROBÓ: GUILLERMO A. HERNÁNDEZ
ING. GEÓLOGO MSC.

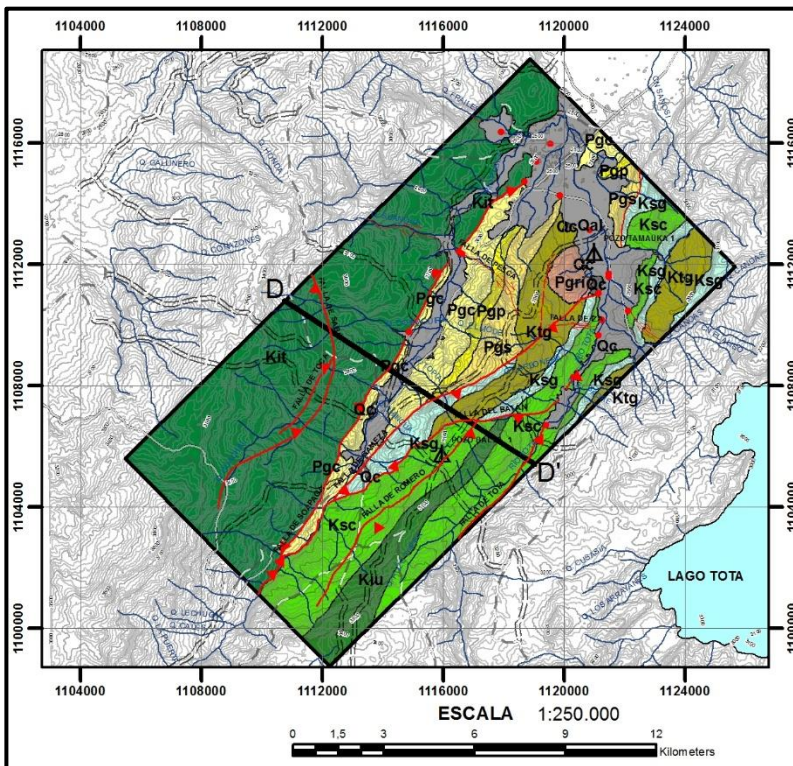
ESCALA 1:25.000

4.2.1.4 Sección estructural D-D'

Avanzando de Oeste a Este en la sección, se encuentra la falla de Sabú, que se desprende de la falla de Soapaga afecta la secuencia cretácica. Continuando hacia al Oeste se encuentra una falla de empuje inferida que genera el Sinclinal de Pesca. Conjuntamente hacia la parte Oeste de la sección se encuentra un complejo sistema de fallas que incluye la falla de Gameza, del Batán y de Romero. Así mismo se puede notar la falla de Tota (de tipo *back thrust*), que se desprende del sistema de fallas anteriormente nombrado, pero con vergencia opuesta.

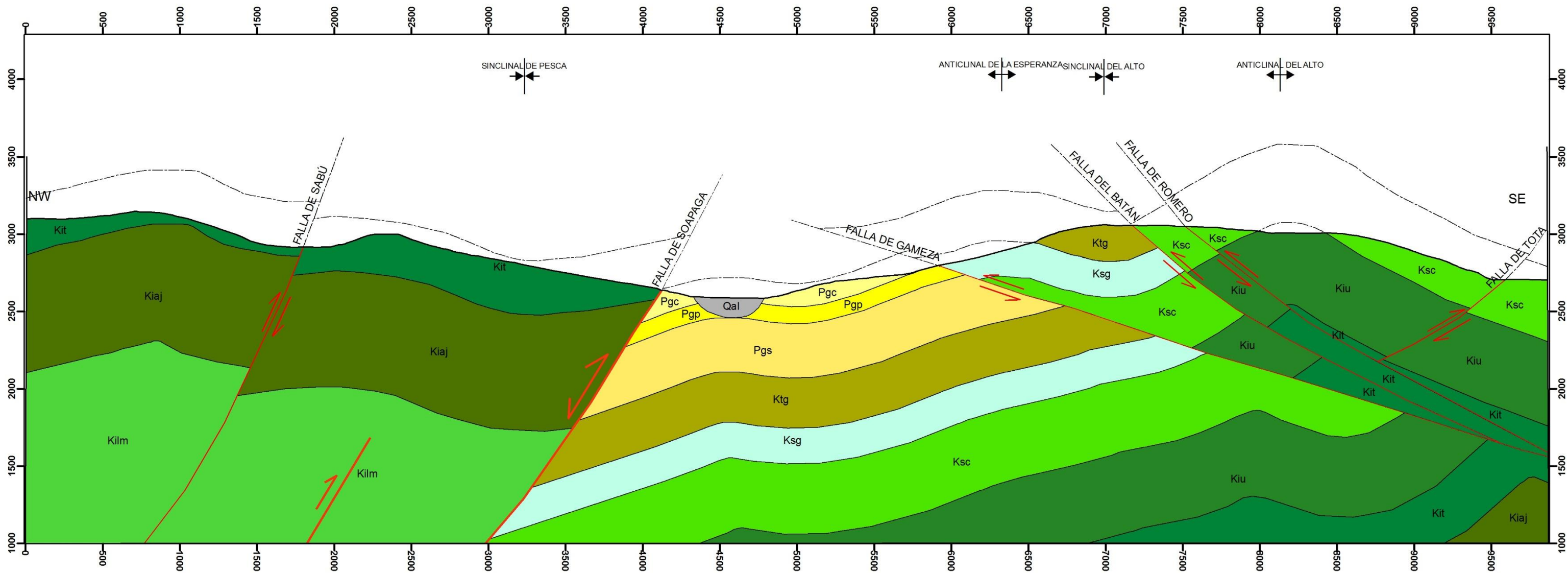
Presentes en el bloque colgante de la falla de Gameza, se encuentran los anticlinales del Alto, de la Esperanza y sinclinal del Alto, afectadas por el sistema de fallas mencionado anteriormente.

Figura 11. Mapa ubicación sección D-D', Escala 1:250000.



Fuente. Autores.

Figura 12. Sección estructural D-D'. **Fuente.** Autores.



LEYENDA

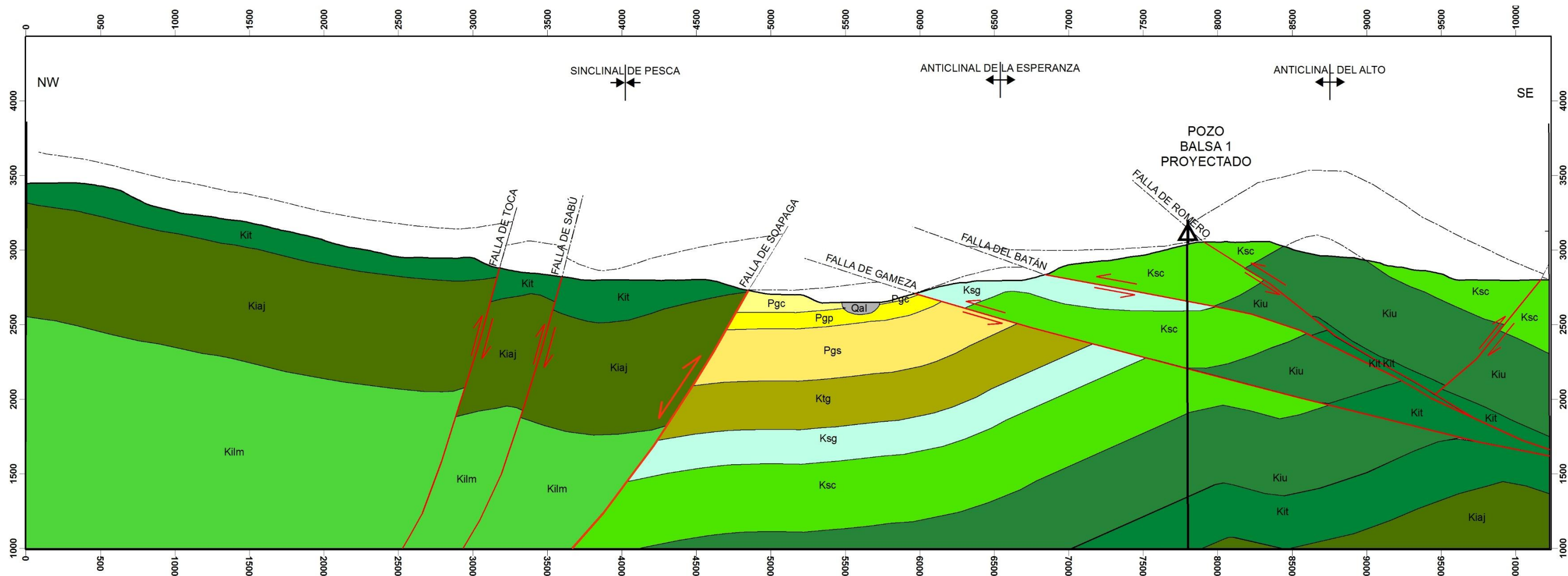
<ul style="list-style-type: none"> Fm. Guaduas Grupo Guadalupe Fm. Chipaque Fm. Une Fm. Tibasosa Fm. Areniscas de las Juntas Fm. Lutitas de Macanal <p>SECUENCIA CRETÁCICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fm. Concentración Fm. Picacho Grupo Socha Riolitas de Iza Depósito Aluvial <p>SECUENCIA PALEÓGENA</p>	<p>CUATERNARIO</p>	<p>CONTACTOS Y FALLAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Erosionado Contacto Definido Falla Inversa Falla Invertida 	<p>ESTRUCTURAS PLEGADAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Sinclinal Anticlinal Anticlinal Volcado Sinclinal Volcado
---	---	---------------------------	---	---

TÍTULO: SECCIÓN ESTRUCTURAL D-D'

REALIZÓ: ADRIANA N. MEDINA
IVAN A. ROMERO

REVISÓ/APROBÓ: GUILLERMO A. HERNÁNDEZ
ING. GEÓLOGO MSC.

ESCALA 1:25.000



LEYENDA

<ul style="list-style-type: none"> Fm. Guaduas Grupo Guadalupe Fm. Chipaque Fm. Une Fm. Tibasosa Fm. Areniscas de las Juntas Fm. Lutitas de Macanal <p>SECUENCIA CRETÁCICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fm. Concentración Fm. Picacho Grupo Socha Riolitas de Iza Depósito Aluvial <p>SECUENCIA PALEÓGENA</p>	<p>CUATERNARIO</p>	<p>CONTACTOS Y FALLAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Erosionado Contacto Definido Falla Inversa Falla Invertida 	<p>ESTRUCTURAS PLEGADAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Sinclinal Anticlinal Anticlinal Volcado Sinclinal Volcado
---	---	---------------------------	---	---

TÍTULO: SECCIÓN ESTRUCTURAL E-E'

REALIZÓ: ADRIANA N. MEDINA
IVAN A. ROMERO

REVISÓ/APROBÓ: GUILLERMO A. HERNÁNDEZ
ING. GEÓLOGO MSC.

ESCALA 1:25.000

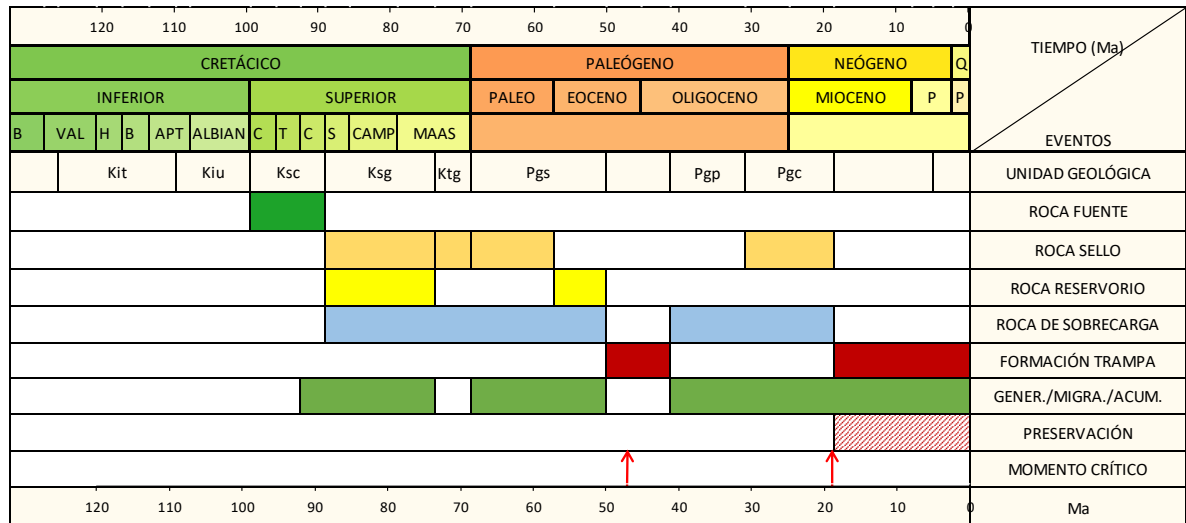
4.3 GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO

En la zona de estudio mediante las secciones estructurales y el análisis depositacional del Grupo Socha, objeto del estudio, se identificaron posibles entrapamientos de hidrocarburo. Los sistemas petrolíferos se plantearon para formaciones reservorio.

Este proyecto plantea que este hidrocarburo probablemente ascendió desde la cocina - roca fuente (formación Chipaque), a través de fallas tales como la falla de Soapaga y migró por medios permeables hasta llegar a lugares de menor presión donde encontró los reservorios (Grupo Socha/Guadalupe).

En la **figura 10** se puede observar la carta de eventos que muestra los elementos de los sistemas petrolíferos existentes y el tiempo en que posiblemente ocurrieron estos sucesos. Esta tabla muestra elementos como la roca fuente, reservorio, sello y de sobrecarga con su edad, junto al momento de la generación, migración y acumulación de hidrocarburo ocurrido posiblemente durante el Cretáceo Superior (Coniaciense) – Pleistoceno. Se expone el tiempo de la formación de las trampas que probablemente se da en dos momentos Eoceno-Oligoceno y Mioceno. Dentro de esta tabla se encuentran dos variables importantes, una denominada el momento crítico que posiblemente ocurrió durante el Eoceno-Mioceno. La segunda variable es la preservación que se toma a partir del Mioceno hasta el Pleistoceno.

Figura 15. Carta de eventos que muestra la relación temporal entre los elementos y procesos del sistema petrolífero, además del momento crítico y el tiempo de preservación.



Fuente. Guillermo Hernández, Codirector del proyecto.

4.3.1 SISTEMA PETROLÍFERO

4.3.1.1 Roca Fuente

Para la zona de estudio la formación Chipaque se considera potencial roca generadora de petróleo y gas, está formación es madura y está entrando en la ventana de sobre madurez. Ventana de generación de petróleo en el límite Cretáceo-Paleógeno, figura 10.

4.3.1.2 Roca Reservorio

Constituido por las formaciones Paleógenas, las areniscas del Grupo Socha. Adicionalmente las formaciones del Cretáceo superior Tierna y Plaeners del Grupo Guadalupe, con base en el bloque Buenavista, donde se ha probado exitosamente estos reservorios, figura 10.

4.3.1.3 Roca Sello

Para la **trampa Socha**, se plantea como sello, las capas arcillosas del Grupo Socha, figura 10.

Para las **trampas del Grupo Guadalupe**, sus sellos son la formación Guaduas y demás miembros del mismo grupo, figura 10.

4.3.1.4 Migración

En la zona de estudio el estilo de migración propuesta es vertical y lateral. En general el hidrocarburo se mueve a través de las zonas permeables por diferencia de presiones.

Para la trampa del Grupo Socha se contempla que la principal ruta de migración son las fallas y fracturas existentes y muy probablemente la falla de Soapaga. Para las trampas del Grupo Guadalupe existen dos rutas de migración zonas de fractura - la falla de Soapaga y la falla de Gameza, figura 10.

Estas fallas, como las microfracturas que se presentan por los plegamientos generados por fuerzas compresivas posiblemente pudieron ser un canal de transporte del hidrocarburo a la superficie en algunos sectores.

4.3.1.5 Trampas

En la zona de estudio existen dos tipos de trampas, estratigráficas para el Grupo Socha y estructurales para el Grupo Guadalupe, figura 10. Formadas posiblemente durante el Eoceno-Oligoceno y Mioceno-Pleistoceno.

4.3.1.6 Sistemas petrolíferos identificados

Sistema Formación Chipaque – Grupo Socha.

Sistema Formación Chipaque – Grupo Guadalupe.

4.3.2 DEFINICIÓN GRÁFICA DE SISTEMAS PETROLÍFEROS

Con el fin de evaluar el potencial hidrocarburífero en la zona de estudio, se definieron en cada sección estructural los sistemas petrolíferos, en el cual se muestra cómo funcionarían los sistemas petrolíferos propuestos para la zona.

Durante el Mesozoico temprano la zona de estudio experimentó esfuerzos extensivos que generaron fallas normales como la falla de Soapaga, que durante la

fase andina (Mioceno Superior a Plioceno) se invirtieron. Esta inversión tectónica ocasionó que el bloque Oeste de la falla de Soapaga se levantara y erosionara hasta quedar aflorante la formación Tibasosa. Aportando materiales gruesos a la parte central de la zona, una depresión del bloque yacente que tiene en común con la falla de Gameza.

Al generarse la falla de Gameza el bloque Este se levantó, en menor proporción que el bloque colgante de la falla de Soapaga y se erosionó parte de la formación Guaduas. Esto produjo sedimentos finos que se depositaron en su bloque yacente, alternantes con los provenientes del bloque colgante de la falla de Soapaga.

La alternancia de sedimentos en el bloque yacente de estas dos fallas sobre la formación Guaduas, descrito anteriormente, dan como resultado la depositación del Grupo Socha durante el Paleógeno. El Grupo Socha se encuentra contra la formación Guaduas haciendo *onlap*, este tipo de distribución de secuencias facilita la posible acumulación de hidrocarburos, siendo el sello las capas arcillosas producidas por este tipo de depositación.

Adicionalmente las trampas para el Grupo Guadalupe están relacionadas a estructuras compresivas correspondientes a pliegues anticlinales limitados por fallas, que afectan la secuencia sedimentaria.

A continuación, se muestran los sistemas petrolíferos para cada una de las secciones estructurales y estratigráficas con el entrampamiento y los sistemas petrolíferos existentes propuestos. Donde se puede notar la continuidad de la **trampa Socha** a lo largo de las cinco secciones.

Para el Grupo Guadalupe se dividió en seis trampas, debido a que estas no se extienden en la totalidad de secciones en la zona de estudio.

La migración se encuentra representada por flechas blancas, las cuales muestran el posible transporte del hidrocarburo desde la cocina ubicada en la formación Chipaque en la sección Oeste del bloque central de la zona. El hidrocarburo

posiblemente fluye verticalmente a través de fallas o zonas de fractura como la falla de Soapaga y lateralmente por las arenas del Grupo Socha hasta depositarse en los lugares de menor presión.

Para el caso del entrampamiento en el Grupo Guadalupe el hidrocarburo generado por la roca fuente, tiene dos posibles rutas de migración. El principal trayecto para la mayoría de las trampas de este Grupo es a través de fracturas y fallas como la Falla de Soapaga. El otro probable recorrido es a través de zonas permeables, hasta llegar a las trampas.

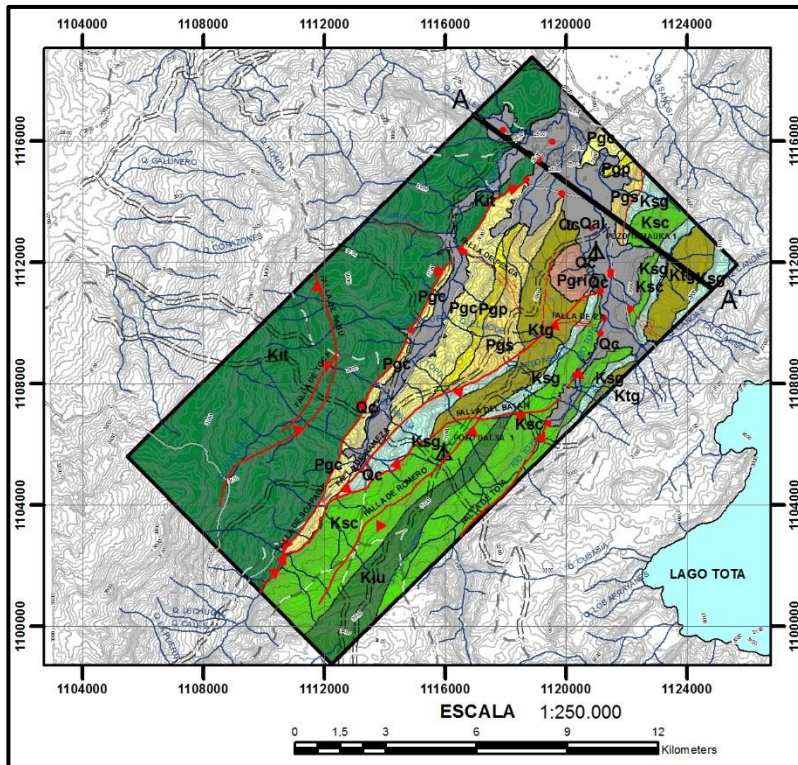
El límite de cada acumulación en el caso de las trampas asociadas a anticlinales corresponde a su cierre estructural definido por el contacto agua-aceite establecido de manera conservadora y basado en el conocimiento de la tarea del codirector, quien ha evaluado el área por los últimos 8 años.

4.3.2.1 SECCIÓN ESTRUCTURAL A-A'. SISTEMA PETROLÍFERO. GRÁFICO ESQUEMÁTICO.

La figura 17 muestra en la parte central de la zona, el bloque yacente de las fallas Soapaga y Gameza, se encuentra **la trampa Socha**, en el cual se da la acumulación de hidrocarburo en los pinchamientos arenosos producidos por el tipo de sedimentación, donde la parte arcillosa del mismo Grupo se comporta como sello.

De la misma forma se presenta la posible acumulación en los miembros Plaeners y Tierna del Grupo Guadalupe. Las primeras en el anticlinal de La Mina. Las segundas que se encuentran contra la falla de Gameza, en las que se puede notar otra probable ruta de migración a través de la falla de Gameza.

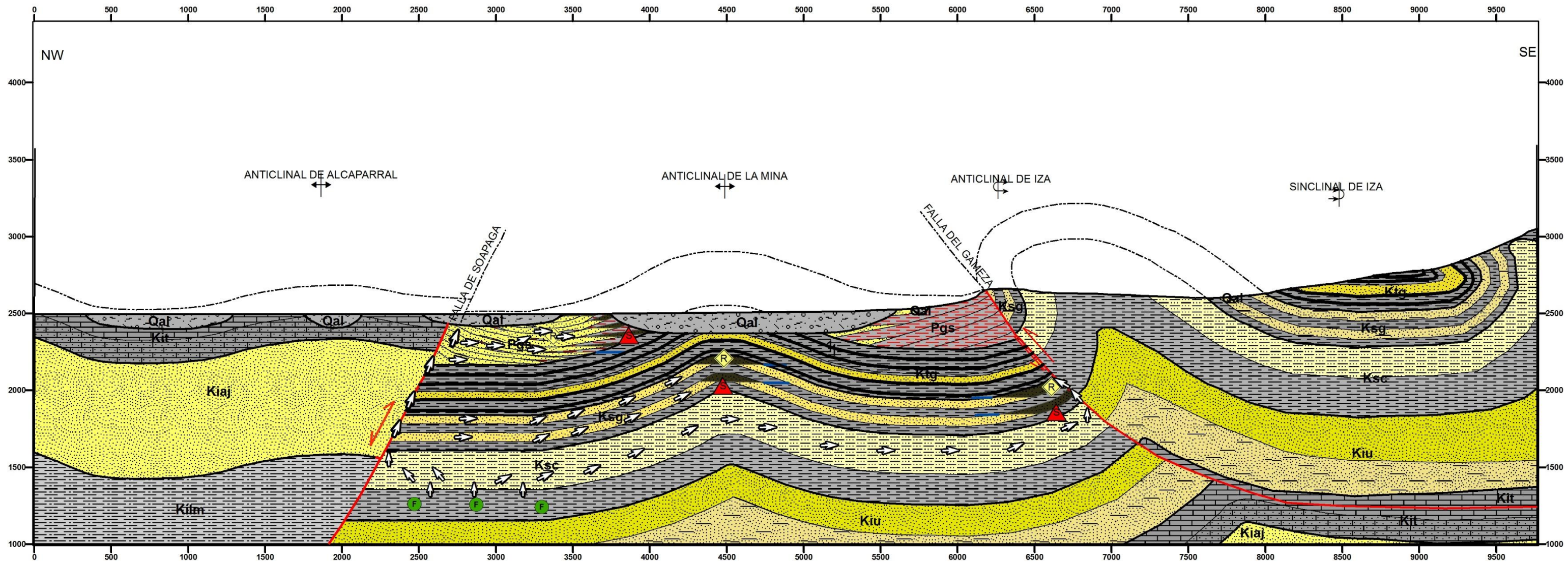
Figura 16. Mapa ubicación sección A-A', Escala 1:250000.



Fuente. Autores

Figura 17. Sección estructural A-A'. Sistema petrolífero. Gráfico esquemático.

Fuente. Autores



LEYENDA

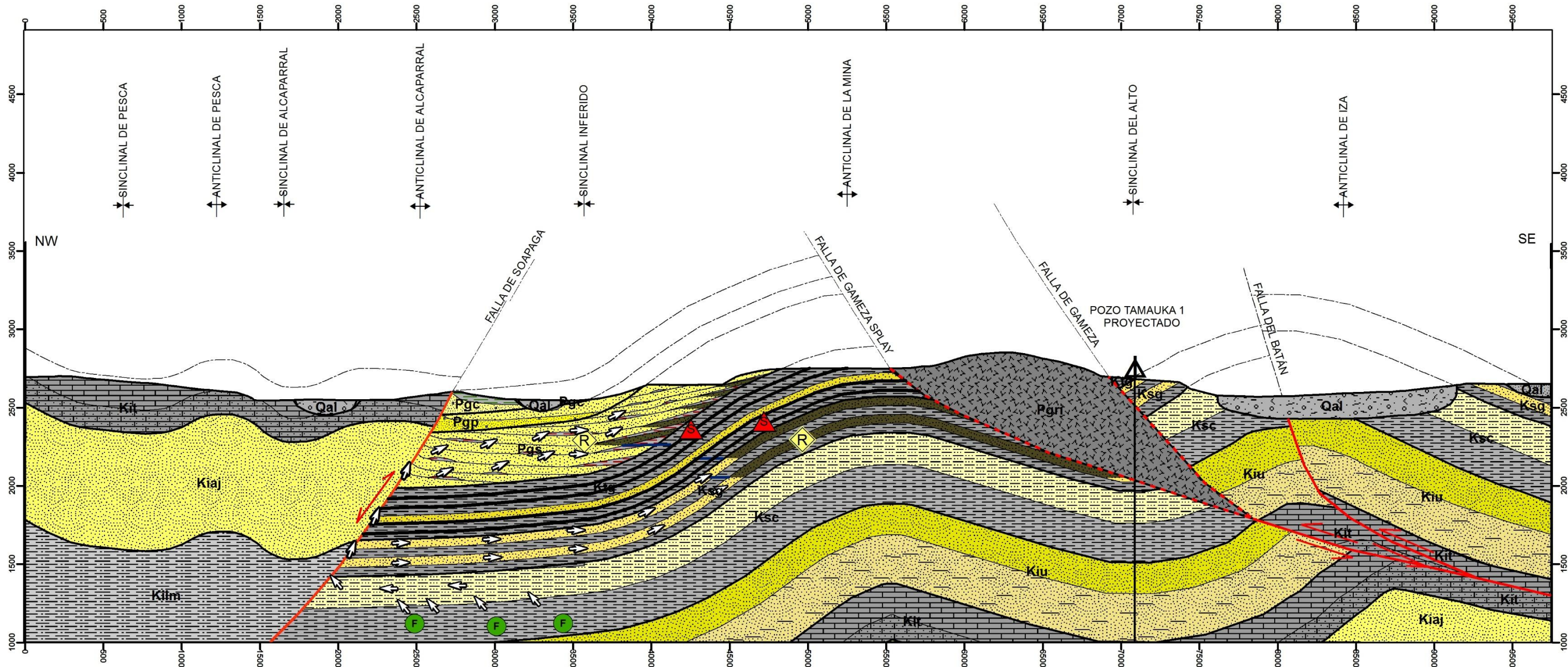
<ul style="list-style-type: none"> Fm. Guaduas Grupo Guadalupe Fm. Chipaque Fm. Une Fm. Tibasosa Fm. Areniscas de las Juntas Fm. Lutitas de Macanal <p>SECUENCIA CRETÁCICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fm. Concentración Fm. Picacho Grupo Socha Riolitas de Iza <p>SECUENCIA CENOZOICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> Depósito Aluvial <p>CUATERNARIO</p>	<p>LITOLOGÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> Riolita Caliza Arenisca calcárea Arenisca Arenisca arcillosa Arcillolita arenosa Arcillolita Conglomerado Carbón Hidrocarburo 	<p>CONTACTOS Y FALLAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Erosionado Contacto Definido Falla Inversa Falla Invertida <p>ESTRUCTURAS PLEGADAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Sinclinal Anticlinal Anticlinal Volcado Sinclinal Volcado 	<p>SISTEMA PETROLÍFEROS</p> <ul style="list-style-type: none"> ROCA FUENTE (F) ROCA RESERVORIO (R) ROCA SELLO (S) MIGRACIÓN LÍMITE DE ACUMULACIÓN <p>FM. CHIPAQUE-GRUPO SOCHA</p> <ul style="list-style-type: none"> Fm. Chipaque Grupo Socha (Niveles arenosos) Grupo Socha (Niveles arcillosos) <p>FM. CHIPAQUE-GRUPO GUADALUPE</p> <ul style="list-style-type: none"> Fm. Chipaque Grupo Guadalupe (Miembros Tierna y Plaeners) Fm. Guaduas, Grupo Guadalupe (Miembro Labor)
--	--	--	--	--	---

TÍTULO: SECCIÓN ESTRUCTURAL A-A'
SISTEMA PETROLÍFERO
GRÁFICO ESQUEMÁTICO

REALIZÓ: ADRIANA N. MEDINA
IVAN A. ROMERO

REVISÓ/APROBÓ: GUILLERMO A. HERNÁNDEZ
ING. GEÓLOGO MSC.

ESCALA 1:25.000



LEYENDA

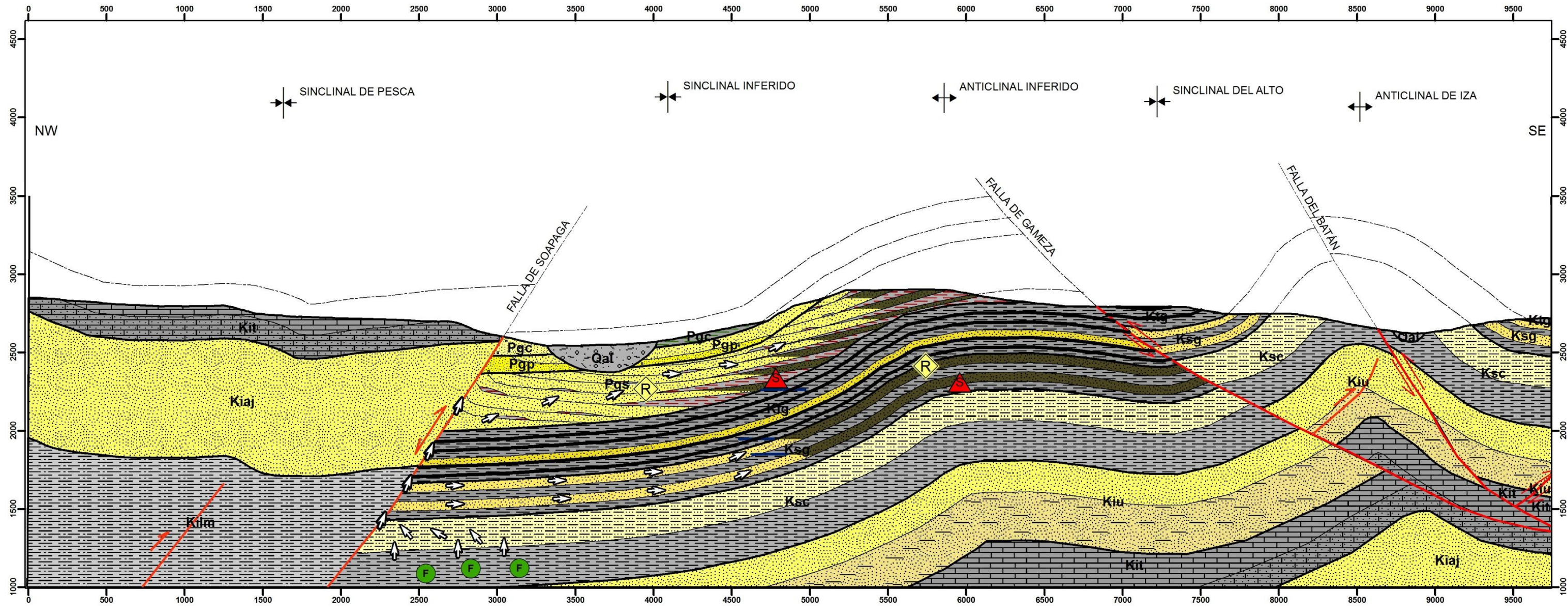
<p>SECUENCIA CRETÁCICA</p> <ul style="list-style-type: none"> Fm. Guaduas Grupo Guadalupe Fm. Chipaque Fm. Une Fm. Tibasosa Fm. Areniscas de las Juntas Fm. Lutitas de Macanal 	<p>SECUENCIA CENOZOICA</p> <ul style="list-style-type: none"> Fm. Concentración Fm. Picacho Grupo Socha Riolitas de Iza 	<p>CUATERNARIO</p> <ul style="list-style-type: none"> Depósito Aluvial 	<p>LITOLOGÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> Riolita Caliza Arenisca calcárea Arenisca Arenisca arcillosa Arcillolita arenosa Arcillolita Conglomerado Carbón Hidrocarburo 	<p>CONTACTOS Y FALLAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Erosionado Contacto Definido Falla Inversa Falla Invertida <p>ESTRUCTURAS PLEGADAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Sinclinal Anticlinal Anticlinal Volcado Sinclinal Volcado 	<p>SISTEMA PETROLÍFEROS</p> <ul style="list-style-type: none"> ROCA FUENTE (F) ROCA RESERVORIO (R) ROCA SELLO (▲) MIGRACIÓN (↗) LÍMITE DE ACUMULACIÓN (—) <p>FM. CHIPAQUE-GRUPO SOCHA</p> <ul style="list-style-type: none"> Fm. Chipaque (F) Grupo Socha (Niveles arenosos) (R) Grupo Socha (Niveles arcillosos) (▲) <p>FM. CHIPAQUE-GRUPO GUADALUPE</p> <ul style="list-style-type: none"> Fm. Chipaque (F) Grupo Guadalupe (Miembros Tierna y Plaeners) (R) Fm. Guaduas, Grupo Guadalupe (Miembro Labor) (▲)
--	--	--	--	--	---

TÍTULO: SECCIÓN ESTRUCTURAL B-B'
SISTEMA PETROLÍFERO
GRÁFICO ESQUEMÁTICO

REALIZÓ: ADRIANA N. MEDINA
IVAN A. ROMERO

REVISÓ/APROBÓ: GUILLERMO A. HERNÁNDEZ
ING. GEÓLOGO MSC.

ESCALA 1:25.000



LEYENDA

SECUENCIA CRETÁCICA		SECUENCIA CENOZOICA		CUATERNARIO		LITOLOGÍA		CONTACTOS Y FALLAS		SISTEMA PETROLÍFEROS		
	Fm. Guaduas		Fm. Concentración		Depósito Aluvial		Riolita		Erosionado		ROCA FUENTE	
	Grupo Guadalupe		Fm. Picacho		Riolitas de Iza		Caliza		Contacto Definido		ROCA RESERVORIO	
	Fm. Chipaque		Grupo Socha				Arenisca calcárea		Falla Inversa		ROCA SELLO	
	Fm. Une						Arenisca		Falla Invertida		MIGRACIÓN	
	Fm. Tibasosa						Arenisca arcillosa	ESTRUCTURAS PLEGADAS			LÍMITE DE ACUMULACIÓN	
	Fm. Areniscas de las Juntas						Arcillolita arenosa		Sinclinal			
	Fm. Lutitas de Macanal						Arcillolita		Anticlinal			Fm. Chipaque
							Conglomerado		Anticlinal Volcado			Grupo Socha (Niveles arenosos)
							Carbón		Sinclinal Volcado			Grupo Socha (Niveles arcillosos)
							Hidrocarburo					Fm. Chipaque-GUADALUPE (Miembros Tierra y Plaeners)
												Fm. Guaduas, Grupo Guadalupe (Miembro Labor)

TÍTULO: SECCIÓN ESTRUCTURAL C-C'
SISTEMA PETROLÍFERO
GRÁFICO ESQUEMÁTICO

REALIZÓ: ADRIANA N. MEDINA
IVAN A. ROMERO

REVISÓ/APROBÓ: GUILLERMO A. HERNÁNDEZ
ING. GEÓLOGO MSC.

ESCALA 1:25.000

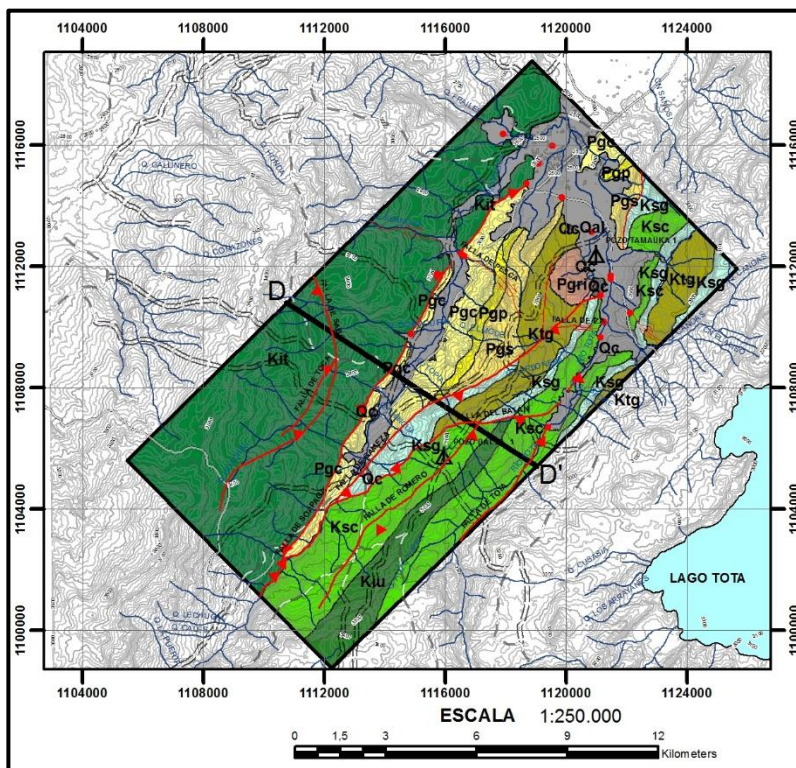
4.3.2.4 SECCIÓN ESTRUCTURAL D-D'. SISTEMA PETROLÍFERO. GRÁFICO ESQUEMÁTICO.

En este tramo de la zona de estudio se aprecia la trampa del Grupo Socha contra la falla de Gameza, debido a la reducción de la zona central. Este grupo se encuentra cubierto aquí, totalmente por la formación Picacho, lo que aumenta la probabilidad de conservación del hidrocarburo.

En este sector, cerca al trazado de la falla de Soapaga se encuentra la explotación de asfaltitas del municipio de Pesca, lo que indica posible migración de hidrocarburo a través de fallas.

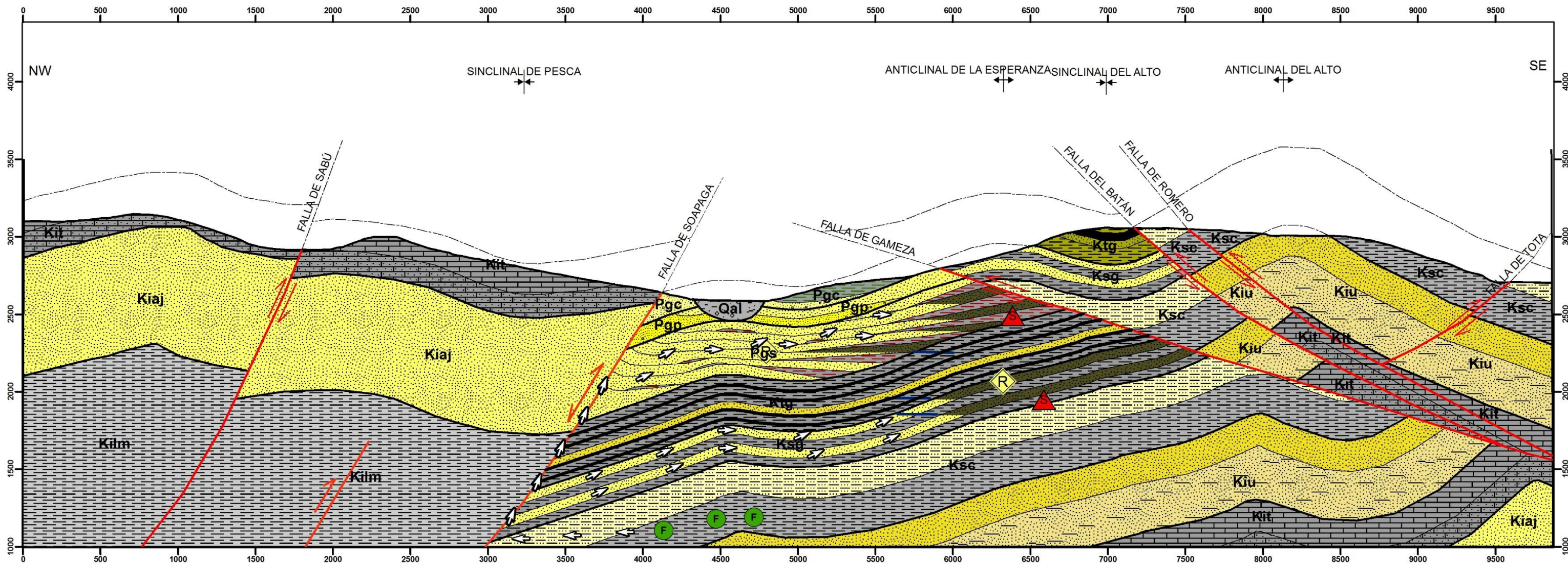
También se encuentran las acumulaciones del Grupo Guadalupe contra la falla de Gameza.

Figura 22. Mapa ubicación sección D-D', Escala 1:250000.



Fuente. Autores

Figura 23. Sección estructural D-D'. Sistema petrolífero. Gráfico esquemático.
Fuente. Autores.



LEYENDA

<ul style="list-style-type: none"> Fm. Guaduas Grupo Guadalupe Fm. Chipaque Fm. Une Fm. Tibasosa Fm. Areniscas de las Juntas Fm. Lutitas de Macanal <p>SECUENCIA CRETÁCICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fm. Concentración Fm. Picacho Grupo Socha Riolitas de Iza <p>SECUENCIA CENOZOICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> Depósito Aluvial <p>CUATERNARIO</p>	<p>LITOLOGÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> Riolita Caliza Arenisca calcárea Arenisca Arenisca arcillosa Arcillolita arenosa Arcillolita Conglomerado Carbón Hidrocarburo 	<p>CONTACTOS Y FALLAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Erosionado Contacto Definido Falla Inversa Falla Invertida <p>ESTRUCTURAS PLEGADAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Sinclinal Anticlinal Anticlinal Volcado Sinclinal Volcado 	<p>SISTEMA PETROLÍFEROS</p> <ul style="list-style-type: none"> ROCA FUENTE (F) ROCA RESERVORIO (R) ROCA SELLO (▲) MIGRACIÓN (↷) LÍMITE DE ACUMULACIÓN (—) <p>FM. CHIPAQUE-GRUPO SOCHA</p> <ul style="list-style-type: none"> Fm. Chipaque (F) Grupo Socha (Niveles arenosos) (R) Grupo Socha (Niveles arcillosos) (▲) <p>FM. CHIPAQUE-GRUPO GUADALUPE</p> <ul style="list-style-type: none"> Fm. Chipaque (F) Grupo Guadalupe (Miembros Tierna y Plaeners) (R) Fm. Guaduas, Grupo Guadalupe (Miembro Labor) (▲)
--	--	--	--	--	---

TÍTULO: SECCIÓN ESTRUCTURAL D-D'
SISTEMA PETROLÍFERO
GRÁFICO ESQUEMÁTICO

REALIZÓ: ADRIANA N. MEDINA
IVAN A. ROMERO

REVISÓ/APROBÓ: GUILLERMO A. HERNÁNDEZ
ING. GEÓLOGO MSC.

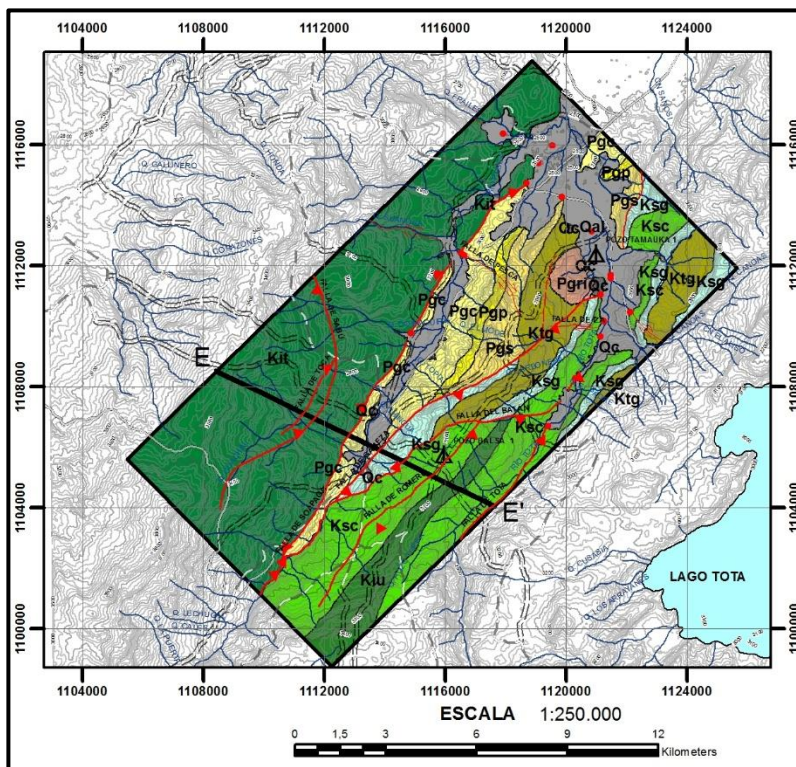
ESCALA 1:25.000

4.3.2.5 SECCIÓN ESTRUCTURAL E-E'. SISTEMA PETROLÍFERO. GRÁFICO ESQUEMÁTICO.

Para esta última sección realizada se modeló la **trampa Socha** contra la falla de Gameza, bajo las formaciones Picacho y Concentración, que facilita su posible preservación.

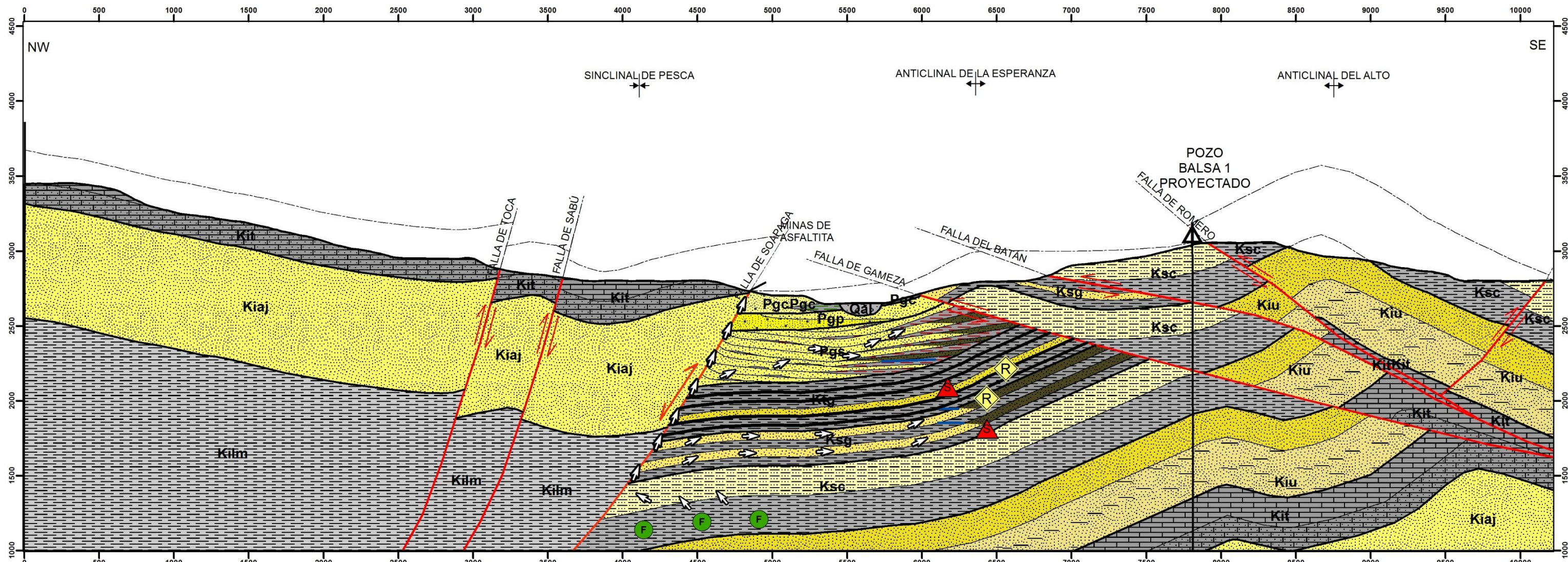
A unos metros de profundidad, bajo la formación Guaduas se encuentra el entrapamiento del Grupo Guadalupe, en el que se encuentra acumulado el hidrocarburo contra la falla de Gameza.

Figura 24. Mapa ubicación sección E-E', Escala 1:250000.



Fuente. Autores

Figura 25. Sección estructural E-E'. Sistema petrolífero. Gráfico esquemático.
Fuente. Autores.



LEYENDA

SECUENCIA CRETÁCICA		SECUENCIA CENOZOICA		CUATERNARIO		LITOLOGIA		CONTACTOS Y FALLAS		SISTEMA PETROLÍFEROS	
	Fm. Guaduas		Fm. Concentración		Depósito Aluvial		Riolita		Erosionado		ROCA FUENTE
	Grupo Guadalupe		Fm. Picacho		Riolitas de Iza		Caliza		Contacto Definido		ROCA RESERVORIO
	Fm. Chipaque		Grupo Socha				Arenisca calcárea		Falla Inversa		ROCA SELLO
	Fm. Une						Arenisca		Falla Invertida		MIGRACIÓN
	Fm. Tibasosa						Arenisca arcillosa		Sinclinal, Anticlinal, Anticlinal Volcado, Sinclinal Volcado		LÍMITE DE ACUMULACIÓN
	Fm. Areniscas de las Juntas						Arcillolita arenosa				
	Fm. Lutitas de Macanal						Arcillolita				
							Conglomerado				
							Carbón				
							Hidrocarburo				

TÍTULO: SECCIÓN ESTRUCTURAL E-E'
SISTEMA PETROLÍFERO
GRÁFICO ESQUEMÁTICO

REALIZÓ: ADRIANA N. MEDINA
IVAN A. ROMERO

REVISÓ/APROBÓ: GUILLERMO A. HERNÁNDEZ
ING. GEÓLOGO MSC.

ESCALA 1:25.000

4.3.2.6 DISTRIBUCIÓN AREAL DE LAS TRAMPAS

Con base en las secciones estructurales y el análisis de los sistemas petrolíferos se estableció el límite de las acumulaciones presentes en la zona. Esta delimitación o *boundary* fue definido de acuerdo al relieve de las trampas, características estructurales y capacidad del reservorio para almacenar Hidrocarburo. Una vez fueron valorados estos aspectos se definió un contacto agua – aceite conservador, basado en los criterios mencionados y el conocimiento del área del codirector. Después de ser definidas estas áreas ANEXOS 2,3 y 4, estas fueron utilizadas con el fin de realizar los cálculos volumétricos de hidrocarburo presente en las trampas identificadas (OOIP y recursos).

4.4 VOLUMETRÍA Y ANÁLISIS GEOLÓGICO

A partir del mapa geológico se realizaron las secciones estructurales y basado en estas se plantearon los sistemas petrolíferos. Para realizar una estimación numérica del posible hidrocarburo presente, se efectuarán los cálculos volumétricos y probabilidad de éxito de las trampas existentes como se mostrará a lo largo de este capítulo.

Con el fin de evaluar el potencial de almacenamiento de hidrocarburo en cada una de las trampas identificadas, se proyectaron los límites agua – aceite a superficie para delimitar de forma conservadora las áreas de interés.

Se identificaron dos tipos de trampas, trampa estratigráfica tipo *onlap* (Grupo Socha) y trampas estructurales (Grupo Guadalupe). Se realizó la división areal de las siete trampas para las cuales se calcularon los volúmenes de hidrocarburo. A partir de los resultados de estos cálculos las trampas serán llamadas *leads*.

La tabla 2 muestra los datos generales usados en el cálculo volumétrico. Los valores de área fueron calculados mediante el software ArcMap. El espesor y datos petrofísicos de las rocas reservorio necesarios para realizar este cálculo fueron basados en estudios del bloque Buenavista, publicados por la ANH y los demás datos necesarios fueron suministrados verbalmente por el Codirector del proyecto debido a restricciones para tener datos directamente de registros de pozos y/o corazones.

Tabla 2. Datos generales de las rocas reservorio, utilizados para los cálculos volumétricos.

TRAMPA	ÁREA (Acres)	ESPESOR (ft)	POROSIDAD PROMEDIO	(1-S _w)	Bo	NTG	FG	FACTOR DE RECOBRO
TIERNA A	116,4	150	18%	0,6	1,1	0,6	0,7	0,2
TIERNA C	1185,96	150	18%	0,6	1,1	0,6	0,7	0,2
TIERNA E	2948,19	150	18%	0,6	1,1	0,6	0,7	0,2
PLAENERS B	125,14	150	7%	0,6	1,1	0,6	0,7	0,2
PLAENERS D	1513,75	150	7%	0,6	1,1	0,6	0,7	0,2
PLAENERS F	3112	150	7%	0,6	1,1	0,6	0,7	0,2
SOCHA	3947,09	100	13%	0,6	1,1	0,6	0,57	0,15

Fuente. Autores.

4.4.1 ECUACIONES VOLUMÉTRICAS

El cálculo de petróleo original in situ (OOIP) se realiza usando la siguiente fórmula:

$$OOIP (MMstbo) = \left(\frac{7758 * A * h * FG * \varphi * NTG * (1 - S_w)}{\beta_{oi}} \right) / 1'000.000$$

$$Re (MMstbo) = OOIP * FR$$

Donde:

La constante 7758 resulta de 43560 ft²/acre/5.615 ft³/bbl.

A: Área en acres.

(1-S_w): Saturación de hidrocarburo.

h: Espesor en pies (ft).

β_{oi}: Factor volumétrico.

FG: Factor de geometría.

OOIP: *Original oil in place*, Aceite original in situ.

φ: Porosidad.

Re: Recursos MMstbo

NTG: *Net to Gross*.

FR: Factor de Recobro.

La tabla 3 muestra todos los datos utilizados para los cálculos volumétricos, incluye el valor de cada variable en cada escenario Conservador (valor mínimo), Promedio (valor medio) y Optimista (valor máximo), asignando así un rango para cada una de las acumulaciones/leads.

Tabla 3. Datos usados en el cálculo de volumen estimado de hidrocarburos en el área de estudio.

	ESCENARIO	TRAMPA TIERNA A	TRAMPA TIERNA C	TRAMPA TIERNA E	TRAMPA PLAENERS B	TRAMPA PLAENERS D	TRAMPA PLAENERS F	TRAMPA SOCHA
ÁREA (Acres)	CONSERVADOR	69,84	711,58	1768,91	75,08	908,25	1867,2	2368,25
	PROMEDIO	93,12	949	2359	100,11	1211	2490	3473,43
	OPTIMISTA	116,4	1185,96	2948,19	125,14	1513,75	3112	3947,09
ESPESOR (ft)	CONSERVADOR	100	100	100	100	100	100	80
	PROMEDIO	150	150	150	150	150	150	100
	OPTIMISTA	200	200	200	200	200	200	120
POROSIDAD PROMEDIO	CONSERVADOR	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,1
	PROMEDIO	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,13
	OPTIMISTA	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,16
(1-Sw)	CONSERVADOR	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	PROMEDIO	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	OPTIMISTA	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Bo	CONSERVADOR	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	PROMEDIO	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	OPTIMISTA	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
NTG	CONSERVADOR	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	PROMEDIO	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	OPTIMISTA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
FG	CONSERVADOR	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	PROMEDIO	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,57
	OPTIMISTA	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,64
FACTOR DE RECOBRO	CONSERVADOR	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,1
	PROMEDIO	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15
	OPTIMISTA	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,2

Fuente. Autores.

4.4.2 RESULTADOS VOLUMÉTRICOS

Para el cálculo de *Original Oil in Place* se usó el programa Crystal Ball (Oracle) el cual permitió elaborar modelos predictivos, simulación y optimización de series de datos. Este programa permitió determinar tres escenarios, optimistas (P10), medio (P50) y conservador (P90).

Adicionalmente se definió un factor de recobro que corresponde al volumen de hidrocarburo que podría ser recuperado, este factor depende de distintas variables asociadas al tipo de hidrocarburo presente, tales como calidad del reservorio, grados API de hidrocarburo, tipo de trampa, facilidades de producción, grado de alteración del hidrocarburo, cercanía a la superficie, permeabilidad, viscosidad, movilidad, temperatura del yacimiento entre muchas otras. Este valor nos permite establecer el volumen de recursos extraíbles para cada *lead*. Para realizar esta simulación se consideran un valor máximo (P10), uno mínimo (P90) y un valor medio que corresponde (P50). Todos han sido estimados a partir de estudios previos en el bloque Buenavista y datos suministrados verbalmente por el Codirector del proyecto.

La tabla 5 muestra las abreviaturas que se utilizaron para conceptos aplicados en los cálculos volumétricos.

Tabla 4. Tabla abreviaturas de cálculos volumétricos y resultados obtenidos de los *Leads*.

Bo	Factor volumétrico de formación del petróleo
NTG	Net to Gross (% del espesor que contiene Hcs)
FG	Factor geométrico
RF	Factor de recobro
OOIP	Original oil in place
Mmstbo	Millones de barriles estándar de aceite

Fuente. Autores.

En las tablas 5 a 11 se expresa el resumen de datos utilizados en los cálculos volumétricos como área, espesor, porosidad, saturación de aceite, factor volumétrico, *net to gross*, factor geométrico y factor de recobro, con sus respectivos resultados.

Estos valores muestran el P90, P10 y la simulación obtenida con el software Crystal Ball para cada factor utilizado en el cálculo, permitiendo obtener los resultados de media, P10, P50 y P90 de OOIP y Recursos totales de cada *lead*.

En las figuras 10 a 16 que acompañan las tablas anteriormente mencionadas, se muestra la ubicación de cada *lead*, delimitados por polígonos en negro a escala 1:250000.

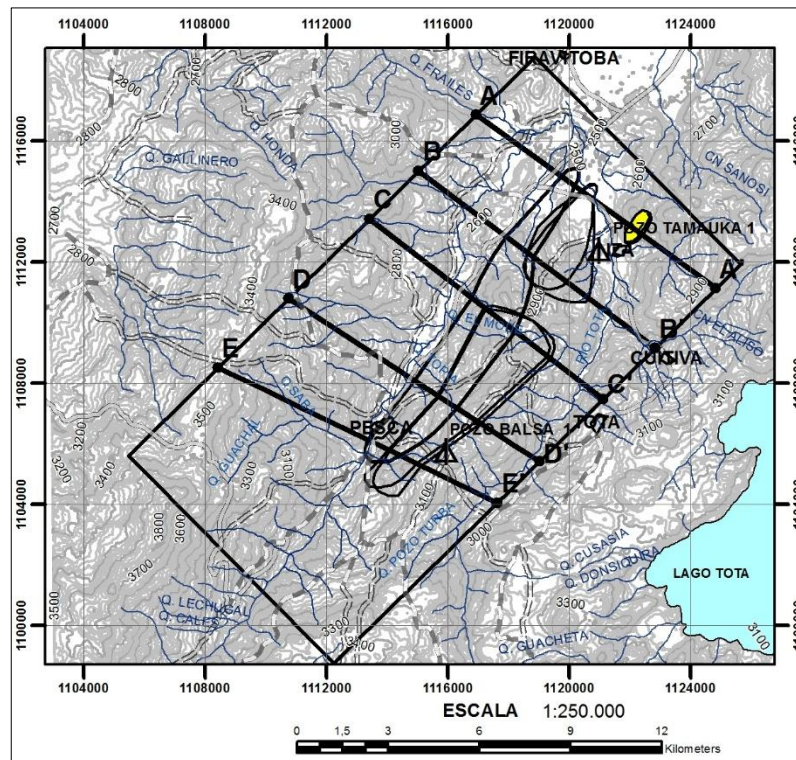
Tabla 5. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del *Lead A Tierna*.

	Simulación	P90	P10
Area (acres)	93,12	69,84	116,4
Espesor (pies)	150	100	200
PHI %	0,18	0,15	0,21
(1-Sw) %	0,5	0,3	0,7
Bo	1,1	0,7	1,4
NTG %	0,6	0,4	0,8
FG	0,7	0,5	0,9
RF (%)	0,2	0,16	0,24

	Media	P90	P50	P10
OOIP (MB)	4	2,7	3,9	5,4
Recursos (MB)	0,8	0,53	0,77	1,1

Fuente. Autores.

Figura 26. Imagen del *Lead A Tierna*, polígono amarillo los polígonos en negro corresponden a otros *leads* identificadas para la zona de estudio.



Fuente. Autores.

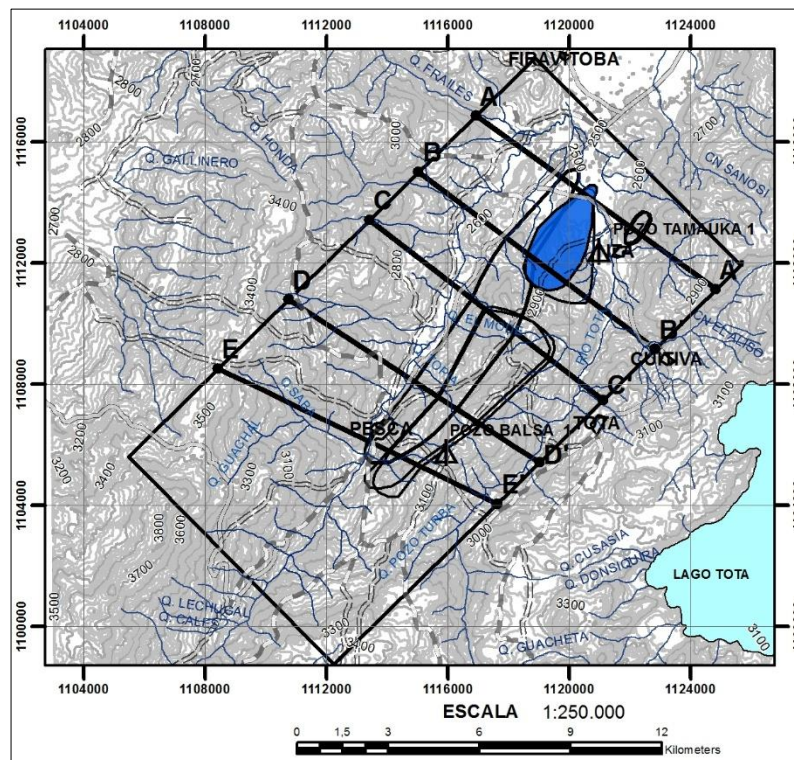
Tabla 7. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del *Lead C Tierna*.

	Simulación	P90	P10
Area (acres)	948,768	711,576	1185,96
Espesor (pies)	150	100	200
PHI %	0,18	0,15	0,21
(1-Sw) %	0,5	0,3	0,7
Bo	1,1	0,7	1,4
NTG %	0,6	0,4	0,8
FG	0,7	0,5	0,9
RF (%)	0,2	0,16	0,24

	Media	P90	P50	P10
OOIP (MB)	40,5	28,1	39,2	54,7
Recursos (MB)	8,1	5,46	7,79	11,08

Fuente. Autores.

Figura 28. Imagen del *Lead C Tierna*, polígono azul, en contexto con los demás *leads*, polígonos en negro para la zona de estudio.



Fuente. Autores

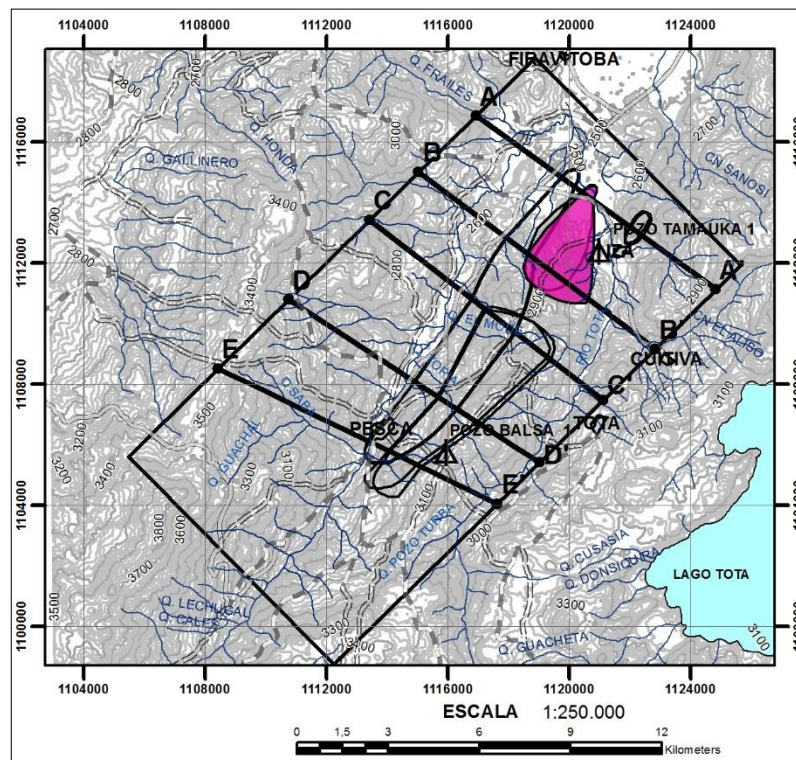
Tabla 8. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del *Lead D Plaeners*.

	Simulación	P90	P10
Area (acres)	1211	908,25	1513,75
Espesor (pies)	150	100	200
PHI %	0,07	0,04	0,1
(1-Sw) %	0,5	0,3	0,7
Bo	1,1	0,7	1,4
NTG %	0,6	0,4	0,8
FG	0,7	0,5	0,9
RF (%)	0,2	0,16	0,24

	Media	P90	P50	P10
OOIP (MB)	20,2	13,9	19,2	27,8
Recursos (MB)	4,04	2,69	3,89	5,52

Fuente. Autores.

Figura 29. Imagen del *Lead D Plaeners*, polígono lila, en contexto con los demás *leads*, polígonos en negro para la zona de estudio.



Fuente. Autores.

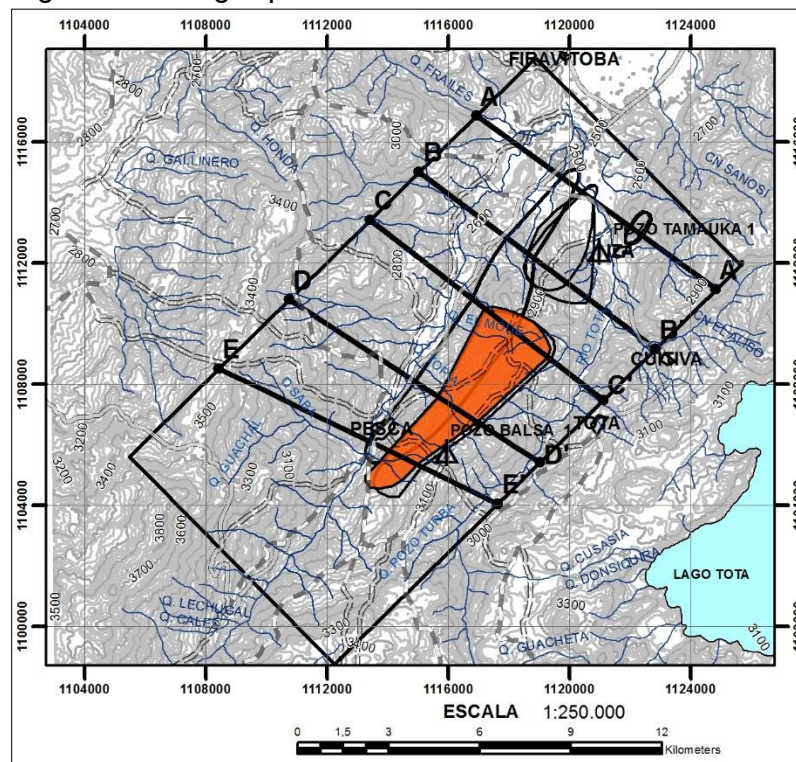
Tabla 9. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del *Lead E Tierna*.

	Simulación	P90	P10
Area (acres)	2358,552	1768,914	2948,19
Espesor (pies)	150	100	200
PHI %	0,18	0,15	0,21
(1-Sw) %	0,5	0,3	0,7
Bo	1,1	0,7	1,4
NTG %	0,6	0,4	0,8
FG	0,7	0,5	0,9
RF (%)	0,2	0,16	0,24

	Media	P90	P50	P10
OOIP (MB)	101,4	69,6	97,3	141,6
Recursos (MB)	20,39	13,69	19,45	28,59

Fuente. Autores.

Figura 30. Imagen del *Lead E Tierna*, polígono naranja, en contexto con los demás *leads*, polígonos en negro para la zona de estudio.



Fuente. Autores.

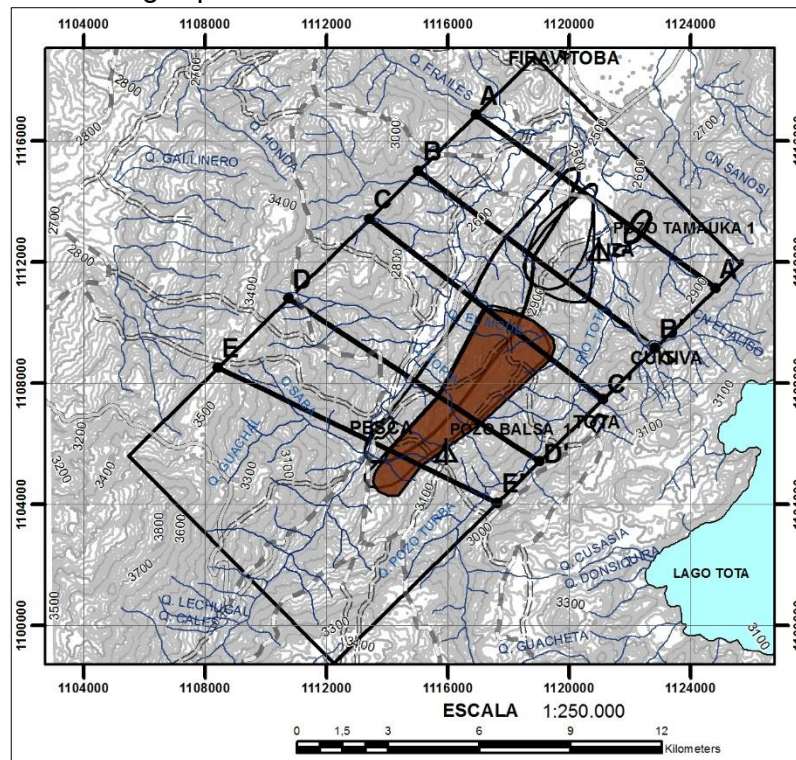
Tabla 10. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del *Lead F* Plaeners.

	Simulación	P90	P10
Area (acres)	2489,6	1867,2	3112
Espesor (pies)	150	100	200
PHI %	0,07	0,04	0,1
(1-Sw) %	0,5	0,3	0,7
Bo	1,1	0,7	1,4
NTG %	0,6	0,4	0,8
FG	0,7	0,5	0,9
RF (%)	0,2	0,16	0,24

	Media	P90	P50	P10
OOIP (MB)	41,1	28,6	39,9	55,7
Recursos (MB)	8,23	5,61	7,93	11,29

Fuente. Autores.

Figura 31. Imagen del *Lead D* Plaeners, polígono lila, en contexto con los demás *leads*, polígonos en negro para la zona de estudio.



Fuente. Autores

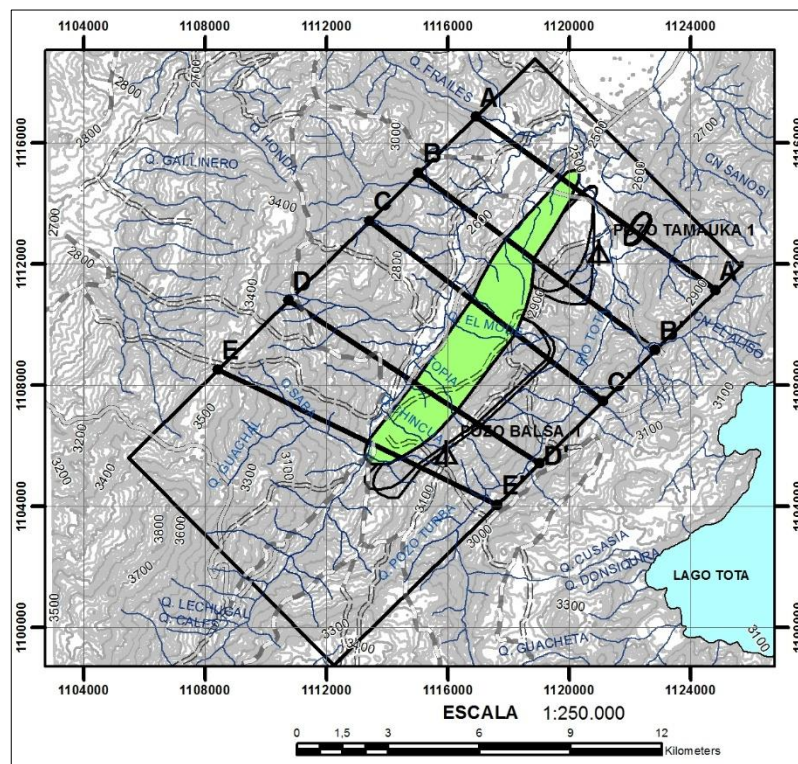
Tabla 11. Tabla resumen de los cálculos volumétricos y resultados obtenidos del *Lead Socha*.

	Simulación	P90	P10
Area (acres)	3473,4348	2368,251	3947,09
Espesor (pies)	100	80	120
PHI %	0,13	0,1	0,16
(1-Sw) %	0,5	0,3	0,7
Bo	1,1	0,7	1,4
NTG %	0,6	0,4	0,80
FG	0,57	0,5	0,64
RF (%)	0,15	0,1	0,2

	Media	P90	P50	P10
OOIP	55,9	37,7	53,8	77,5
Recursos	8,3	5,4	8	11,7

Fuente. Autores.

Figura 32. Imagen de la *Lead D Plaeners*, polígono lila, en contexto con los demás *leads*, polígonos en negro para la zona de estudio.



Fuente. Autores

Tabla 12. Tabla resumen de los resultados obtenidos de OOIP y RECURSOS de la zona de estudio.

LEAD	ESTIMADO VOLUMÉTRICO (MMstbo)	MEDIA	P90	P50	P10
TIERNA A	OOIP	4	2,7	3,9	5,4
	Recursos	0,8	0,53	0,77	1,1
PLAENERS B	OOIP	1,7	1,1	1,6	2,3
	Recursos	0,33	0,22	0,32	0,46
TIERNA C	OOIP	40,5	28,1	39,2	54,7
	Recursos	8,1	5,46	7,79	11,08
PLAENERS D	OOIP	20,2	13,9	19,2	27,8
	Recursos (MMstbo)	4,04	2,69	3,89	5,52
TIERNA E	OOIP	101,4	69,6	97,3	141,6
	Recursos	20,39	13,69	19,45	28,59
PLAENERS F	OOIP	41,1	28,6	39,9	55,7
	Recursos	8,23	5,61	7,93	11,29
SOCHA	OOIP	55,9	37,7	53,8	77,5
	Recursos	8,3	5,4	8	11,7
	TOTAL OOIP	264,8			
	TOTAL RECURSOS	50,19			

Fuente. Autores.

La tabla 12 muestra los volúmenes totales de hidrocarburos OOIP y RECURSOS en millones de barriles estándar de aceite totales para el área de estudio.

En la cuenca Cordillera Oriental ha sido probado el bloque petrolífero Buenavista con características similares al área evaluada en esta investigación. Según la ANH para este bloque se realizó un cálculo de recursos aproximados de 34 MMstbo y para el área del presente estudio se calcularon valores aproximados de 50,19 MMstbo. Esto demuestra que esta zona tiene potencial hidrocarburífero para continuar realizando exploración y llegar a una posible explotación, lo que significa el aumento de recursos y desarrollo económico para la región.

4.4.3 PROBABILIDAD DE ÉXITO GEOLÓGICO (POS – PROBABILITY)

Con el fin de evaluar la viabilidad del proyecto exploratorio en el área de estudio se cuantifica la probabilidad de éxito de un proyecto exploratorio. Esta se evalúa considerando los siguientes factores cada uno independientemente.

- Evaluación de roca fuente (Pf), se evalúa su capacidad por carga y madurez.
- Evaluación de roca reservorio (Pr), presencia y calidad.
- Evaluación de la trampa (P t), se consideran el sello y las características y definición de la trampa.
- Dinámica del play (Pd), contempla el *Timing*, rutas de migración y preservación del hidrocarburo.

La probabilidad de éxito geológico (**POS**) se obtiene multiplicando las probabilidades de ocurrencia de cada uno de los cuatro factores descritos previamente.

$$POS = Pf \times Pr \times Pt \times Pd \text{ (}^{24}\text{)}$$

Figura 33. El **POS** proporciona un método de analizar elementos cualitativos del sistema petrolífero definido para el área, asignando valores numéricos.

No favorable		Cuestionable		Neutral	Alentador		Favorable	
Bajo	Alto	Bajo	Alto		Bajo	Alto	Bajo	Alto
0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

← Modelo soportado por información/análisis →

← Modelo totalmente documentado por información para el área prospecto →

Fuente. Tomado de Otis & Schneidermann²⁵.

²⁴ OTIS, R. & SCHNEIDERMAN N. 1997. A Process for Evaluating Exploration Prospects, AAPG Bulletin, V. 81, No. 7, 1090p. Disponible en <https://es.scribd.com/document/251184199/A-Process-for-Evaluating-Exploration-Prospects-Otis-Schneidermann>.

²⁵ *Ibíd.*, p. 1092.

Para evaluar cada factor se tuvieron en cuenta sus variables, para las que se asignó un valor diferente. Para obtener cálculos de POS conservadores se decidió tomar el menor valor de las variables de cada factor.

Una vez son analizados y evaluados cada uno de los elementos del sistema petrolífero para cada uno de los *leads* identificados se obtiene un POS para cada *lead*. El cual expresa la probabilidad de éxito de un proyecto exploratorio.

Las tablas 13 a 19 muestran los valores numéricos asignados a cada factor del sistema petrolífero en cada *lead*, así mismo se expresa la justificación de este procedimiento.

Tabla 13. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la *Lead* Tierna A.

FACTOR DE PROBABILIDAD DE ÉXITO			ROCA FUENTE		RESERVORIO		TRAMPA Y SELLO			TIMING/MIGRACIÓN		
			Capacidad de generar HCs	Madurez	Presencia	Calidad	Definición de la trampa	Características de la trampa	Sello	Timing (Relación Temporal)	Caminos de migración	Preservación
No Favorable	Bajo	0,1										
	Alto	0,2										
Cuestionable	Bajo	0,3										
	Alto	0,4										
Neutral		0,5										
Alentador	Bajo	0,6										
	Alto	0,7										
Favorable	Bajo	0,8										
	Alto	0,9										
PROBABILIDAD DE ÉXITO		7,2%	TOC entre 1,0 y 3,0% (Fuente: ANH.2010. Open Round Colombia, Cordillera Oriental)	Entrando en ventana de sobremadurez. generación de petróleo durante Cretáceo-Paleógeno.	Verificada en campo.	Porosidad y permeabilidad basado en datos petrofísicos bloque Buenavista y Codirector del proyecto.	Identificadas mediante geología de superficie y geología estructural.	Cierre estructural contra falla.	Formación Guaduas	Migración en el Neógeno	Vertical y lateral	Trampa infrayaciendo a secuencia cretácico-paleógena.

Fuente. Autores.

Tabla 14. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la *Lead Plaeners B*.

FACTOR DE PROBABILIDAD DE ÉXITO			ROCA FUENTE		RESERVORIO		TRAMPA Y SELLO			TIMING/MIGRACIÓN		
			Capacidad de generar HCs	Madurez	Presencia	Calidad	Definición de la trampa	Características de la trampa	Sello	Timing (Relación Temporal)	Caminos de migración	Preservación
No Favorable	Bajo	0,1										
	Alto	0,2										
Cuestionable	Bajo	0,3										
	Alto	0,4										
Neutral		0,5										
Alentador	Bajo	0,6										
	Alto	0,7										
Favorable	Bajo	0,8										
	Alto	0,9										
PROBABILIDAD DE ÉXITO		5,4%	TOC entre 1,0 y 3,0% (Fuente: ANH.2010. Open Round Colombia, Cordillera Oriental)	Entrando en ventana de sobremadurez. generación de petróleo durante Cretáceo-Paleógeno.	Verificada en campo.	Porosidad y permeabilidad basado en datos petrofísicos bloque Buenavista y Codirector del proyecto.	Identificadas mediante geología de superficie y geología estructural.	Cierre estructural contra falla.	Grupo Guadalupe (Miembro Labor)	Migración en el Neógeno	Vertical y lateral	Trampa infrayaciendo a secuencia cretácico-paleógena.

Fuente. Autores.

Tabla 15. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la *Lead* Tierna C.

FACTOR DE PROBABILIDAD DE ÉXITO			ROCA FUENTE		RESERVORIO		TRAMPA Y SELLO			TIMING/MIGRACIÓN		
			Capacidad de generar HCs	Madurez	Presencia	Calidad	Definición de la trampa	Características de la trampa	Sello	Timing (Relación Temporal)	Caminos de migración	Preservación
No Favorable	Bajo	0,1										
	Alto	0,2										
Cuestionable	Bajo	0,3										
	Alto	0,4										
Neutral		0,5										
Alentador	Bajo	0,6										
	Alto	0,7										
Favorable	Bajo	0,8										
	Alto	0,9										
PROBABILIDAD DE ÉXITO		8,6%	TOC entre 1,0 y 3,0% (Fuente: ANH.2010. Open Round Colombia, Cordillera Oriental)	Entrando en ventana de sobremadurez. generación de petróleo durante Cretáceo-Paleógeno.	Verificada en campo.	Porosidad y permeabilidad basado en datos petrofísicos bloque Buenavista y Codirector del proyecto.	Identificadas mediante geología de superficie y geología estructural.	Cierre propio.	Formación Guaduas	Migración en el Neógeno	Vertical y lateral	Trampa infrayaciendo a secuencia cretácico-paleógena.

Fuente. Autores.

Tabla 16. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la *Lead Plaeners D.*

FACTOR DE PROBABILIDAD DE ÉXITO			ROCA FUENTE		RESERVORIO		TRAMPA Y SELLO			TIMING/MIGRACIÓN		
			Capacidad de generar HCs	Madurez	Presencia	Calidad	Definición de la trampa	Características de la trampa	Sello	Timing (Relación Temporal)	Caminos de migración	Preservación
No Favorable	Bajo	0,1										
	Alto	0,2										
Cuestionable	Bajo	0,3										
	Alto	0,4										
Neutral		0,5										
Alentador	Bajo	0,6										
	Alto	0,7										
Favorable	Bajo	0,8										
	Alto	0,9										
PROBABILIDAD DE ÉXITO		6,5%	TOC entre 1,0 y 3,0% (Fuente: ANH.2010. Open Round Colombia, Cordillera Oriental)	Entrando en ventana de sobremadurez. generación de petróleo durante Cretáceo-Paleógeno.	Verificada en campo.	Porosidad y permeabilidad basado en datos petrofísicos bloque Buenavista y Codirector del proyecto.	Identificadas mediante geología de superficie y geología estructural.	Cierre propio.	Grupo Guadalupe (Miembro Labor)	Migración en el Neógeno	Vertical y lateral	Trampa infrayaciendo a secuencia cretácico-paleógena.

Fuente. Autores.

Tabla 17. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la *Lead* Tierna E.

FACTOR DE PROBABILIDAD DE ÉXITO			ROCA FUENTE		RESERVORIO		TRAMPA Y SELLO			TIMING/MIGRACIÓN		
			Capacidad de generar HCs	Madurez	Presencia	Calidad	Definición de la trampa	Características de la trampa	Sello	Timing (Relación Temporal)	Caminos de migración	Preservación
No Favorable	Bajo	0,1										
	Alto	0,2										
Cuestionable	Bajo	0,3										
	Alto	0,4										
Neutral		0,5										
Alentador	Bajo	0,6										
	Alto	0,7										
Favorable	Bajo	0,8										
	Alto	0,9										
PROBABILIDAD DE ÉXITO		7,2%	TOC entre 1,0 y 3,0% (Fuente: ANH.2010. Open Round Colombia, Cordillera Oriental)	Entrando en ventana de sobremadurez. generación de petróleo durante Cretáceo-Paleógeno.	Verificada en campo.	Porosidad y permeabilidad basado en datos petrofísicos bloque Buenavista y Codirector del proyecto.	Identificadas mediante geología de superficie y geología estructural.	Cierre estructural contra falla.	Formación Guaduas	Migración en el Neógeno	Vertical y lateral	Trampa infrayaciendo a secuencia cretácico-paleógena.

Fuente. Autores.

Tabla 18. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la *Lead Plaeners F.*

FACTOR DE PROBABILIDAD DE ÉXITO			ROCA FUENTE		RESERVORIO		TRAMPA Y SELLO			TIMING/MIGRACIÓN		
			Capacidad de generar HCs	Madurez	Presencia	Calidad	Definición de la trampa	Características de la trampa	Sello	Timing (Relación)	Caminos de migración	Preservación
No Favorable	Bajo	0,1										
	Alto	0,2										
Cuestionable	Bajo	0,3										
	Alto	0,4										
Neutral		0,5										
Alentador	Bajo	0,6										
	Alto	0,7										
Favorable	Bajo	0,8										
	Alto	0,9										
PROBABILIDAD DE ÉXITO		5,4%	TOC entre 1,0 y 3,0% (Fuente: ANH.2010. Open Round Colombia, Cordillera Oriental)	Entrando en ventana de sobremadurez. generación de petróleo durante Cretáceo-Paleógeno.	Verificada en campo.	Porosidad y permeabilidad basado en datos petrofísicos bloque Buenavista y Codirector del proyecto.	Identificadas mediante geología de superficie y geología estructural.	Cierre estructural contra falla.	Formación Labor	Migración en el Neógeno	Vertical y lateral	Trampa infrayaciendo a secuencia cretácico-paleógena.

Fuente. Autores.

Tabla 19. Tabla resumen de los cálculos Probabilidad de Éxito y Factor de Riesgo Geológico y resultados obtenidos de la *Lead* Socha.

FACTOR DE PROBABILIDAD DE ÉXITO			ROCA FUENTE		RESERVORIO		TRAMPA Y SELLO			TIMING/MIGRACIÓN		
			Capacidad de generar HCs	Madurez	Presencia	Calidad	Definición de la trampa	Características de la trampa	Sello	Timing (Relación Temporal)	Caminos de migración	Preservación
No Favorable	Bajo	0,1										
	Alto	0,2										
Cuestionable	Bajo	0,3										
	Alto	0,4										
Neutral		0,5										
Alentador	Bajo	0,6										
	Alto	0,7										
Favorable	Bajo	0,8										
	Alto	0,9										
PROBABILIDAD DE ÉXITO		4,8%	TOC entre 1,0 y 3,0% (Fuente: ANH.2010. Open Round Colombia, Cordillera Oriental)	Entrando en ventana de sobremadurez. generación de petróleo durante Cretáceo-Paleógeno.	Verificada en campo.	Porosidad y permeabilidad basado en datos petrofísicos bloque Buenavista y Codirector del proyecto.	Identificadas mediante geología de superficie y geología estructural.	Cierre estratigráfico (<i>On lap</i>).	Niveles arcilloso del Grupo Socha.	Migración en el Neógeno	Vertical y lateral	Trampas someras.

Fuente. Autores.

La tabla 20 muestra los resultados de la evaluación de POS para todos los *leads* identificados, obtenidos en el proceso anterior.

Tabla 20. Tabla resumen de resultados obtenidos en cálculos de probabilidad de éxito.

LEAD	PROBABILIDAD DE ÉXITO
TIERNA A	7,20%
PLAENERS B	5,40%
TIERNA C	8,60%
PLAENERS D	6,50%
TIERNA E	7,20%
PLAENERS F	5,40%
SOCHA	4,80%

Fuente. Autores.

Se puede notar que los valores de probabilidad de éxito para los *leads* de la zona de interés no superan el 10%, debido a la inaccesibilidad a estudios previos que apoyen esta investigación. Pero estos resultados forman una base para aportar al conocimiento de la zona, que en un futuro puede ser fortalecido para mejorar el POS de los *leads* identificados.

Para el **lead Socha** (trampa Socha) el mayor riesgo está representado en la preservación del hidrocarburo, ya que el entrapamiento se encuentra somero. Este POS se puede mejorar mediante estudios complementarios en la zona con el fin de minimizar el riesgo de cada uno de los factores involucrados.

El mayor riesgo para los *leads* del Grupo Guadalupe específicamente los que involucran la formación Plaeners, es la calidad de la roca reservorio, ya que los

valores característicos encontrados como porosidad y permeabilidad no son los mejores para tener la capacidad de almacenar hidrocarburo, su porosidad sería secundaria como fue probada en el pozo Bolivar-1.

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante los cálculos volumétricos y el POS se puede realizar un ranking desde el *Lead* más atractivo desde el punto de vista exploratorio hasta el menos llamativo:

1. *LEAD TIERNA E*, OOIP 101,4, Recursos 20,39, POS 7,2%.
2. *LEAD TIERNA C*, OOIP 40,5, Recursos 8,1, POS 8,6%.
3. *LEAD PLAENERS F*, OOIP 41,1, Recursos 8,23, POS 5,40%.
4. *LEAD SOCHA*, OOIP 55,9, Recursos 8,3, POS 4,8%.
5. *LEAD PLAENERS D*, OOIP 20,2, Recursos 4,04, POS 6,5%.
6. *LEAD TIERNA A*, OOIP 4, Recursos 0,8, POS 7,2%.
7. *LEAD PLAENERS B*, OOIP 1,7, Recursos 0,33, POS 5,4%.

Siendo el ***lead Tierna E*** el más atractivo debido a que su volumen de hidrocarburo es el más alto teniendo un OOIP de 101,4 MMstbo, Recursos de 20,39 MMstbo y el POS el segundo más alto con 7,2 %.

El ***lead Plaeners B*** posee menor área y bajo POS se constituye como el de menor interés con un Recursos de 0,33 MMstbo y POS de 5,4%.

El ***lead Socha***, objeto de estudio, se encuentra en cuarto lugar a pesar de tener un POS bajo 4,8%, posee el segundo valor más alto de Recursos de 8,3 MMstbo.

4.4.4 ÁREA PERFORABLE

Finalmente, gracias a los resultados obtenidos de este proyecto, se definió un área en la que se podrían realizar perforaciones exploratorias con el fin de probar alguno o algunos de los *leads* con mayor interés. Esta área se encuentra en el mapa de distribución areal de los *leads* **ANEXO 5**, esta área definida corresponde a la superposición de varias oportunidades como lo son ***lead Socha***, ***lead Tierna E*** y ***lead Plaeners F***.

5 DISCUSIÓN

El análisis geológico y estructural permitió mostrar el comportamiento de las unidades geológicas en profundidad, así como las fallas presentes. Las fallas regionales Soapaga y Gameza entre otras, las cuales crean una zona triangular donde se plantearon las posibles acumulaciones de hidrocarburo.

Se propuso un sistema petrolífero para la zona de estudio que plantea a la formación Chipaque como roca fuente, el Grupo Socha como roca reservorio y roca sello. Esta afirmación se apoya en las características hidrocarburíferas de la zona de estudio como rezumaderos y el tipo de sedimentación de la roca reservorio y sello.

Adicionalmente se plantea al Grupo Guadalupe, específicamente a sus miembros Tierna y Plaeners, por sus características petrofísicas como posibles reservorios, ya que han sido probados con éxito en el bloque Buenavista.

Aunque el estudio no contó con recursos sísmicos, ni registros de pozo, se consiguió proponer mediante cartografía geológica, análisis estructural y estratigráfico posibles trampas de tipo estratigráfico para el Grupo Socha y tipo estructural para el Grupo Guadalupe.

Se determinó la distribución areal mediante el límite de acumulación propuesto que permitió calcular un estimado de OOIP de 55,9 MMstbo y Recursos de 8,3 MMstbo para el **lead Socha**. Además, se evaluaron para los miembros Tierna y Plaeners del Grupo Guadalupe para los cuales se determinó un estimado de OOIP de 145,9 MMstbo, Recursos de 29,29 MMstbo para Tierna y un estimado de OOIP de 63 MMstbo, Recursos de 12,6 MMstbo para Plaeners.

En total se identificaron siete *leads* en la zona de estudio, cuyo volumen total aproximado de OOIP es de 264,8 MMstbo y de Recursos es de 50,19 MMstbo. Esto

significa que esta zona posee un estimado total de hidrocarburo importante pensando en una futura explotación.

Posterior al proceso descrito se propuso un área perforable con el fin de probar los reservorios propuestos, este polígono **ANEXO 5** intersecta tres *leads* de interés que son el **lead Socha**, **lead Tierna E** y **lead Plaeners F**.

Como un valor agregado, se identificaron acumulaciones que involucran al Grupo Guadalupe, el **lead Tierna E** tiene el mayor volumen de OOIP y de recursos en la zona de estudio. Por el contrario, el menor volumen de OOIP y de recursos calculado fue para el **lead Plaeners B**, cuyo valor dependió de su extensión, que es la menor de todos los *leads* evaluados.

El cálculo de probabilidad de éxito para cada *lead* mostró valores que no superan el 10%, lo que expone la insuficiencia de datos como sísmica e información de pozos. Sin embargo, esta investigación aporta información y conocimiento de la zona.

La mayor limitante fue la falta de información debido a la ausencia de un acuerdo de confidencialidad para su uso, por lo cual se sugiere para futuros proyectos usar datos sísmicos y registros de pozo existentes para complementar esta investigación.

6 CONCLUSIONES

La cartografía geológica y el análisis estructural permitieron definir a un mayor detalle las características de las unidades estratigráficas, las cuales permitieron establecer el estilo estructural de la zona de estudio, *thin skin*.

Los Grupos Guadalupe y Socha han sido probados en otros campos mediante pozos exploratorios, algunos miembros del Grupo Guadalupe están siendo explotados en el campo Corrales. Lo que da una certeza de su potencial como roca almacén.

El ambiente y estilo *onlap* de depositación de las arenas del paleógeno objeto de este estudio, fueron propuestas como rocas con potencial almacenador de hidrocarburo bajo condiciones de trampas estratigráficas. Además, se establecieron trampas estructurales, en las que probablemente se presentaron acumulaciones de hidrocarburo en algunos miembros del Grupo Guadalupe.

Se propusieron dos sistemas petrolíferos, estableciendo a la formación Chipaque como roca fuente, al Grupo Socha como reservorio y sello. Adicionalmente se planteó al Grupo Guadalupe, miembros Tierna y Plaeners, como reservorios y a la formación Guaduas como sello, un sello adicional algunos niveles del Grupo Guadalupe.

Con base en las secciones estructurales se definieron siete probables *leads* y sus áreas de influencia definidas por un límite de acumulación subjetivo para la zona.

El volumen total de OOIP calculado para la zona es de 264,8 MMstbo y de recursos de Recursos de 50,19 MMstbo.

Los volúmenes de hidrocarburo estimado, además de mostrar el potencial hidrocarburífero del Grupo Socha, comparados con volúmenes de otros campos de la misma cuenca son bastante aceptables, lo que brinda la posibilidad de mayor

exploración en la zona de estudio. Gracias a esto se planteó un área perforable, donde se podrían probar tres *leads* de interés que son el ***lead Socha***, ***lead Tierna E*** y ***lead Plaeners F***.

Se calculó el POS de cada *lead*, que mostró valores que no superan el 10%, lo que presenta la insuficiencia de datos como sísmica e información de pozos. Sin embargo, esta investigación aporta información y conocimiento de la zona.

El mayor riesgo en esta investigación es la definición del entrapamiento, debido a que hay incertidumbre respecto a la interpretación de las secciones estructurales ya que esta es subjetiva. Existen otros riesgos como el sello dentro del sistema petrolífero, para el Grupo Socha por su característico *onlap*, el sello pudo ser erosionado y el hidrocarburo migrar totalmente hacia la superficie. Para el entrapamiento del Grupo Guadalupe, que se encuentra contra la falla de Gameza, su sello lateral pudo permitir la migración total del hidrocarburo hacia la superficie.

7 RECOMENDACIONES

Se recomienda aumentar la cantidad de datos estructurales y realizar un balanceo de las secciones estructurales regionales, con el fin de mejorar el análisis estructural.

Realizar estudio de origen de hidrocarburos con el fin de verificar el origen de los hidrocarburos encontrados en los rezumaderos de la zona, esto disminuiría la incertidumbre en términos de sistemas petrolíferos propuestos.

Elaborar un análisis de riesgo y una evaluación detallada de los sistemas petrolíferos propuestos.

Ejecutar una evaluación del ambiente de depósito del Grupo Socha, con el fin de determinar de mejor manera su geometría dentro de la zona triangular propuesta.

Efectuar un análisis de evolución estructural de la zona con el fin de evaluar el *Timing* de las trampas propuestas determinando si estas fueron formadas antes o después de los pulsos generadores de hidrocarburo.

Realizar una evaluación de registros eléctricos de pozos cercanos con el objeto de validar la base de datos petrofísicos usados en los cálculos volumétricos.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, B.; SARMIENTO, R. 1944. Informe geológico sobre los yacimientos de hierro, carbón y caliza de la región de Paz de Río, Departamento de Boyacá. Serv. Geol. Nal., Informe 468, inéd., 132 p. Bogotá.
- ANH.2010. Open Round Colombia, Cordillera Oriental.1 p. Bogotá. Disponible en <https://www.coursehero.com/file/15209760/Cordillera-Oriental-pdf-Ronda-Colombia-2010/>.
- BÜRGL, H. 1961. Historia geológica de Colombia. Rev. Acad. Col. Cienc. Ex. Fis. Nat., 11(43). Bogotá.
- COLLETA, B., Hebrard, F., Letouzey, J., Werner, P., and Rudkiweicz, J. L., 1990, Tectonic style and crustal structure of the Eastern Cordillera, Colombia from a balanced cross section, in Letouzey, J., ed., Petroleum and Tectonics in Mobile Belts: Paris, Editions Technip, p. 81-100.
- DE PORTA DE J. 1966. La Geología del extremo Sur del Valle Medio del Magdalena. UIS: Bol. Geol., 22-23:5-347. Bucaramanga.
- DE PORTA DE J. 1974. Lexique Internationale Stratigraphique. Amerique Latina. Vol. V. CNRS. París.
- GARCÍA, M.; MIER, R. CRUZ, L.; VÁSQUEZ, M. ANH. 2009. Informe ejecutivo evaluación del potencial hidrocarburífero de las cuencas colombianas. UIS. 52 p. Disponible en <http://oilproduction.net/files/cuencas%20petroleras%20de%20colombia-2009.pdf>
- HUBACH; E., 1931. Geología Petrolífera del Departamento de Norte de Santander. Serv. Geol. Nal., Informe 176, inédito, parte A, pp. 1-218; parte B, pp. 219-246; parte C (láminas), 26 lam. Bogotá.
- HUBACH, E., 1957. Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. Instituto Geológico Nacional. Bol. Geol., 2:93-112. Bogotá

- MONSALVE M, ROJAS N., VELANDIA F., PINTOR I., Martínez L. 2011. Caracterización geológica del cuerpo volcánico de Iza, Boyacá – Colombia. INGEOMINAS. bol.geol. vol.33 no.1. Bucaramanga. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-02832011000100009
- MONTES, Luis. 2008. ANH. Informe de Prospectividad, Área Cordillera. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 47-88 p. Disponible en http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Cordillera_Oriental.pdf.
- OTIS, R. & SCHNEIDERMAN N. 1997. A Process for Evaluating Exploration Prospects, AAPG Bulletin, V. 81, No. 7, 1090 – 1091p. Disponible en <https://es.scribd.com/document/251184199/A-Process-for-Evaluating-Exploration-Prospects-Otis-Schneidermann>.
- PÉREZ, G. & SALAZAR A. 1978. Estratigrafía y facies del Grupo Guadalupe. U. Nal. Geol. Col., 10:7-113. Bogotá.
- RENZONI, G. 1962. Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al Este y Sureste de Bogotá. Serv. Geol. Nal., Bol. Geol., 10(1-3): 59-79. Bogotá.
- RENZONI, G. 1969. Geología del Cuadrángulo L11-Villavicencio, escala 1:200.000. Serv. Geol. Nal. Bogotá.
- RENZONI, G. 1981. Geología del cuadrángulo J-12 Tunja. INGEOMINAS, Boletín Geológico. N. 24, 2. Pp. 31-48. Bogotá.
- SARMIENTO, G. 1992. Palinología de la Formación Guaduas - Estratigrafía y Sistemática. INGEOMINAS. Bol. Geol., 32 (1-3): 45-126. Santafé de Bogotá.
- SARMIENTO, G. 1994. Visión regional de la Formación Guaduas. INGEOMINAS. Pub. Geol. Esp., 20:167-184 p. Bogotá.
- SHAPES NOV 2014. CMC. Disponible en <https://sites.google.com/site/tierraminada/>

- ULLOA, C. & RODRÍGUEZ, E. 1979. Geología del Cuadrángulo K-12 Guateque, Colombia. INGEOMINAS, Informe 1701, Bol. Geol., 22(1):3-56 p. Bogotá.
- ULLOA, Carlos. RODRÍGUEZ, Erasmo. FUQUEN, Jaime. ACOSTA, Jorge. 2001. INGEOMINAS. Geología de la plancha 192 Laguna de Tota: 25-44 p. Bogotá. Disponible en <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010002291/documento/pdf/0101022911101000.pdf>
- VAN DER HAMMEN, T. 1957. Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá (Cordillera Oriental de Colombia). Inst. Geol. Nal., Bol. Geol., 5(2). Bogotá.
- VAN DER HAMMEN, T. 1958. Estratigrafía del Cenozoico y Maestrichtiano continentales y Tectogénesis de los Andes colombianos; Bol. Geol. Vol. VI Nos. 1-3, Bogotá.

9 ANEXOS

- ANEXO 1. GEOLOGÍA DE LA ZONA AXIAL DE LA CUENCA CORDILLERA ORIENTAL, MUNICIPIO DE PESCA.
- ANEXO 2. DISTRIBUCIÓN AREAL TRAMPA SOCHA.
- ANEXO 3. DISTRIBUCIÓN AREAL TRAMPAS MIEMBRO TIERNA, GRUPO GUADALUPE.
- ANEXO 4. DISTRIBUCIÓN AREAL TRAMPAS MIEMBRO PLAENERS, GRUPO GUADALUPE.
- ANEXO 5. ÁREA PERFORABLE.