



**RECONOCIMIENTO GEOLOGICO DE LAS ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS E
INTRUSIVAS DEL JURASICO EN LA SUBCUENCA DE NEIVA Y SU
RELACION CON YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS.**

**ERIKA ANDREA LÓPEZ CÓRDOBA
FERNANDO ANDRÉS VILLALBA CASTILLO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
NEIVA
2013**



**RECONOCIMIENTO GEOLOGICO DE LAS ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS E
INTRUSIVAS DEL JURASICO EN LA SUBCUENCA DE NEIVA Y SU
RELACION CON YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS.**

**ERIKA ANDREA LÓPEZ CÓRDOBA
FERNANDO ANDRÉS VILLALBA CASTILLO**

**Trabajo de grado presentado como requisito
para optar al título de Ingeniero de Petróleos.**

**Director
ROBERTO VARGAS CUERVO
Geólogo**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
NEIVA
2013**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	9
RESUMEN.....	11
1. GENERALIDADES ROCAS IGNEAS.....	12
2. YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES EN ROCAS IGNEAS	14
2.1 CAUSAS.....	15
2.2 CONDICIONES FAVORABLES Y DISTRIBUCIÓN GEOLÓGICA	16
2.3 EXPLORACIÓN EN YACIMIENTOS EN ROCAS NO CONVENCIONALES.	17
2.4 YACIMIENTOS DE ROCAS IGNEAS A NIVEL MUNDIAL	18
3. ALTERACION HIDROTHERMAL	22
3.1 CLASIFICACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	23
4. POROSIDAD	25
4.1 CLASIFICACIÓN INGENIERIL DE LA POROSIDAD.	26
4.2 CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA DE LA POROSIDAD	26
4.3 METODOS DE MEDICION DE POROSIDAD	28
4.3.1 Ley de Boile-Mariotte.	28
4.3.2 El porosímetro de expansión.....	29
5. DESCRIPCION GEOLOGICA DE LA SUBCUENCA DE NEIVA DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA	30
5.1 VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA.....	30
5.2 BASAMENTO ECONÓMICO.....	32
5.3 COBERTURA PRODUCTIVA	33
5.3.1 Formación Caballos (Kc)	33
5.3.2 Formacion Villeta (Kv).....	35
5.3.3 Formacion Monserrate (Km).....	36
5.3.4 Formación Guadala (TKg).....	36
5.3.5 Formación Gualanday (Tg).....	36
5.3.6 Formación Potrerillos (Tep)	37
5.3.7 Formación Doima (Ted).....	37
5.3.8 Formación Honda (Tmh)	37
5.3.9 Formación Gigante (Tpg)	37
5.4 PETROLEO EN EL HUILA.....	38
5.4.1 Campo Dina Cretaceos	38
5.4.1.1 Generalidades.....	38
5.4.1.2 Interpretación Estructural.....	38
5.4.2 Campo Brisas.....	39
5.4.2.1 Generalidades.....	39
5.4.3 Campo Pijao.....	39
5.4.3.1 Generalidades.....	39
5.4.3.2 Interpretación Estructural.....	39
5.4.4 Campo Santa Clara.....	39
5.4.4.1 Generalidades.....	40
5.4.4.2 Interpretación Estructural.....	40

5.4.5 Campo Dina Terciarios	40
5.4.5.1 Generalidades	40
5.4.5.2 Interpretación Estructural.....	41
5.4.6 Campo Tenay.....	41
5.4.6.1 Generalidades	41
5.4.6.2 Interpretación Estructural.....	42
5.4.7 Campo Palogrande-Cebu	42
5.4.7.1 Generalidades	42
5.4.7.2 Interpretación estructural	43
5.4.8 Campo Hato Nuevo	44
5.4.8.1 Generalidades	44
5.4.8.2 Interpretación Estructural.....	44
5.5 ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS EN LA SUBCUENCA DE NEIVA.....	45
5.6 BATOLITO DE IBAGUE (Jib)	45
5.7 FORMACIÓN SALDAÑA (Jsa)	46
5.8 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	47
5.8.1 Falla de Chusma y frentes de cabalgamiento asociados.....	48
5.8.2 Falla de Santa Clara.....	48
5.8.3 Falla de Buenavista.....	48
5.8.4 Falla de Baché.	49
5.8.5 Falla de San Francisco.....	49
5.8.6 Secciones estructurales Teruel-Íquira.....	49
5.8.7 Discordancia precretácica.	51
5.8.8 Zona de cizalla de Teruel.	52
6. RECONOCIMIENTO DE CAMPO	54
6.1 FORMACION SALDAÑA	54
6.2 SECTOR DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BACHE MUNICIPIO DE SANTA MARIA	54
6.3 SECTOR DE LA LOMA LA BECERRA Y EL CENTRO TENERIFE MUNICIPIO DE VILLAVIEJA.....	56
6.4 SECTOR DE LA QUEBRADA EL HOBO MUNICIPIO DE HOBO	58
6.5 SECTOR DE QUEBRADA GRANDE. MUNICIPIO DE ÍQUIRA	60
6.6 CUERPOS INTRUSIVOS	63
6.6.1 Sector de la quebrada beberrecio. Municipio de Teruel.....	63
6.6.2 Sector La Plata.....	65
7. UNIFICACION DE NOMENCLATURA.....	67
8 PRUEBA DE POROSIDAD UTILIZANDO EL POROSIMETRO DE EXPANSION DE HELIO.....	70
9. PETROGRAFIA	73
9.1 DESCRIPCION PETROGRÁFICA DE LAS ROCAS VOLCANICAS DE LA FORMACION SALDAÑA (Jsa).	73
9.2 DESCRIPCION PETROGRÁFICA DE LAS ROCAS INTRUSIVAS DEL BATOLITO DE IBAGUE (Jib – TJKi).	78
10. EFECTOS DE LA ALTERACIÓN HIDROTERMAL	80
10.1 TIPOS DE ALTERACION HIDROTERMAL.....	80
10.2 DESCRIPCION DE LA ALTERACION HIDROTERMAL EN LA ZONA DEL PROYECTO JURASICO.....	81
10.2.1 Alteración Filica (Sericitica).	81
10.2.2 Alteración Propilica.....	82
10.2.3 Alteración Silicea.....	83



10.2.4 Alteración Argilica.....	84
11. CONCLUSIONES	85
BIBLIOGRAFIA.....	87

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Esquema general de los tipos de rocas ígneas asociados a rocas de una provincia petrolífera.	13
Figura 2. Determinación de la porosidad útil.....	25
Figura 3. Esquema ilustrativo del porosímetro de expansión de Helio.	29
Figura 4. Ubicación geográfica de la subcuenca de Neiva en el valle superior del río Magdalena.	31
Figura 5. Modelo de elevación digital del área central de la subcuenca de Neiva donde se observa lo estrecho del valle del Magdalena y los piedemontes de las cordilleras central y oriental.	31
Figura 6. Columna Estratigráfica generalizada del valle superior del Magdalena subcuenca de Neiva.	34
Figura 7. Corte estructural del Valle Superior del Magdalena.....	49
Figura 8. Mapa estructural del Huila mostrando el patrón estructural del fallamiento asociado al basamento	50
Figura 9. Corte estructural de la sección Yaguara donde se observa el intrusivo cabalgando sobre el sedimentario.	51
Figura 10. Fotografía discordancia entre el cordón montañoso de la formación Caballos superior y la formación Saldaña.....	52
Figura 11. Mapa geológico de la sección Yaguara - Íquira mostrando la distribución del basamento.	53
Figura 12. Columna estratigráfica cuenca alta río Bache. Municipio de Santa María.....	55
Figura 13. Mapa mostrando el sector levantado en la cuenca del río Bache.....	56
Figura 14. Columna estratigráfica loma la Becerra, municipio de Villavieja.	57
Figura 15. Fotografía Las lomas La Becerrera (lado derecho) y Tenerife (la redondeada de la parte central izquierda de la foto) son viejas estructuras constituidas por las rocas volcánicas jurásicas de la Formación Saldaña. Hacen parte del denominado “Alto del Patá” y conforman el núcleo del Anticlinal de Andalucía, que se ubica en el bloque noroccidental de la falla homónima. La toma se hizo desde S 55° W hacia N 55° E.....	58
Figura 16. Columna estratigráfica quebrada el Hobo, municipio de Hobo.	59
Figura 17. Fotografía cuenca de la quebrada el Hobo cortando rocas volcánicas de la formación Saldaña	60
Figura 18. Mapa mostrando el sector de quebrada Grande. Municipio de Íquira...	60
Figura 19. Mapa con los afloramientos de la formación Saldaña.....	61
Figura 20. Columna estratigráfica área municipio de Iquira.	62
Figura 21. Mapa con los afloramientos de los cuerpos intrusivos.....	63
Figura 22. Fotografía afloramiento de cuarzodioritas semimeteorizadas con venas de cuarzo	64

Figura 23. Interpretación geológica a partir del modelo de elevación digital procesado de la imagen Landsat del área de la cuenca del río Páez.	66
Figura 24. Pantallazo de los resultados de la porosidad efectiva por el método del porosímetro de expansión de Helio.	71
Figura 25. Fotografía afloramiento de dacitas porfíricas (Izquierda). Fotografía microscópica fenocristales de plagioclasa (Pg), donde se tomo la muestra PJ 210 cuarzo (Qz) biotita (Bi) en matriz dacítica muestra PJ 210. (Derecha)	73
Figura 26. Fotografía Muestra PJ 110. Afloramiento del porfido dacítico alterado hidrotermalmente y altamente fracturado.....	75
Figura 27. Fotografía muestra PJ 110, Porfido dacítico imágenes al microscopio petrográfico. NP NX. A- Plagioclasa zonada. Plagioclasas macladas con microfracturas desplazando los planos de macla. Plagioclasas sericitizadas.	75
Figura 28. Fotografía muestra PJ 110 Porfido dacítico imágenes al microscopio petrográfico. NP NX. A-.....	76
Figura 29. Fotografía muestra PJ 129 Imágenes al microscopio petrográfico. - NX.10X. Riolita con procesos de sericitización moderada a débil. Plagioclasa con sericitización moderada asociación sericitita cuarzo (izquierda). Cuarzo recristalizado sericitizados en sus bordes. La sericitita genera espacios porosos (derecha).	77
Figura 30 Fotografía muestra PJ 185 Imágenes al microscopio petrográfico. NP-NX.10X. Roca ígnea intrusiva, holocristalina, fanerítica, granulación muy fina compuesta por Qz, plagioclasa y biotita la cual es muy fina y se encuentra diseminada en la roca, producto de la alteración de la horblenda. Porosidad secundaria asociada a propilización.	78
Figura 31. Fotografía PJ 201. Imágenes al microscopio petrográfico. NP-NX.10X Roca ígnea intrusiva, verde clara, holocristalina, fanerítica, granulación fina, alteración propílica con clorita y epidota, presenta muscovita muy fina, hay generación de porosidad secundaria	79
Figura 32. Fotografía muestra PJ 205. Imágenes al microscopio petrográfico. NP - NX.10X Procesos de sericitización fuerte, Plagioclasa con sericitización fuerte y sustituido por pirlita, asociación sericitita cuarzo (izquierda). Mafico sustituido por sericitita, calcita y clorita (derecha).	82
Figura 33. Fotografía muestra PJ 256 NX. Procesos de silificación. Vena de cuarzo cortando la matriz (izquierda). Vena de cuarzo y sulfuros cortando plagioclasas sericitizadas (derecha).	84
Figura 34. Fotografía afloramiento muestra PJ-192 mostrando procesos de silificación. Remplazando las rocas piroclásticas en jaspe.	84

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Algunas características de las rocas ígneas	12
Tabla 2 Clasificación de la porosidad para rocas ígneas	13
Tabla 3. Yacimientos de hidrocarburos en rocas del basamento en el mundo.	21
Tabla 4. Nomenclatura unificada de las rocas ígneas intrusivas presentes en la subcuenca de Neiva	68
Tabla 5. Nomenclatura unificada de la formación Saldaña en la subcuenca de Neiva.....	69
Tabla 6. Grupos mineralógicos de alteración.....	80

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Descripción petrográfica macroscópica muestras de campo.
- Anexo 2. Descripción de muestras.
- Anexo 3. Plano 1/5. Mapa afloramientos de la formación Saldaña e intrusivos en el valle superior del Magdalena, subcuenca Neiva.
- Anexo 4. Plano 2/5. Columna estratigráfica de la parte media – superior de la formación Saldaña en Santa María.
- Anexo 5. Plano 3/5. Columna estratigráfica de la parte media – superior de la formación Saldaña en el sitio La Becerra.
- Anexo 6. Plano 4/5 Columna estratigráfica de la parte media – superior de la formación Saldaña en quebrada el Hobo.
- Anexo 7. Plano 5/5. Columna estratigráfica de la parte media – superior de la formación Saldaña en quebrada grande, Iquira.

INTRODUCCIÓN.

Debido a los grandes requerimientos de energía que actualmente demanda el mundo, los yacimientos de hidrocarburos, cada vez son más escasos y difíciles de alcanzar. Si bien a lo largo de la evolución de la industria del petróleo se creía que dichos reservorios se encontraban exclusivamente en rocas sedimentarias, existen alrededor del globo varios ejemplos con los que se puede demostrar que las rocas ígneas bajo ciertas condiciones, pueden albergar cantidades considerables de hidrocarburos.

De ahí la importancia de identificar algunas características por medio de un reconocimiento geológico, para comprobar en el ámbito local la posibilidad de yacimientos de este tipo sabiendo de antemano la existencia de lechos rocosos que interactúan con sistemas de fallas y otros tipos de estructuras geológicas que en teoría podrían ser excelentes prospectos, especialmente en los piedemontes de la cordillera central y oriental en el valle superior del río Magdalena, subcuenca de Neiva.

El proyecto de grado “RECONOCIMIENTO GEOLOGICO DE LAS ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS E INTRUSIVAS DEL JURASICO EN LA SUBCUENCA DE NEIVA Y SU RELACION CON YACIMIENTOS DE HIDROCARBUROS” se realizó en el marco del proyecto “RECONOCIMIENTO GEOLOGICO Y PETROGRAFICO DE LAS ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS DEL JURASICO Y SU RELACION CON LA FORMACION SALDAÑA DEL ALTO MAGDALENA COLOMBIA”, perteneciente al grupo de investigación Ecosistemas Surcolombianos (ECOSURC) de la Universidad Surcolombiana, escalafonado por Colciencias en la categoría de Grupo A.

En la subcuenca de Neiva y más específicamente en los piedemontes de las cordilleras central y oriental, se encuentra toda la cobertura productiva de hidrocarburos asociada a los campos petrolíferos explotados actualmente, en contacto fallado con los cuerpos ígneos estudiados en este proyecto, de acuerdo a los reconocimientos de campo, los estudios petrográficos y petrofísicos realizados en las rocas ígneas. Es importante aclarar que la finalidad de este proyecto de grado no es probar la existencia de hidrocarburos en las zonas de estudio, a sabiendas que la manera más veraz de asegurar la presencia de fluidos en una litología específica es perforando un pozo exploratorio. Con el desarrollo de este trabajo de grado se verifican si existen o no las condiciones necesarias para un posible almacenamiento de hidrocarburos en dichas rocas.

Con el siguiente trabajo se busca una mirada más profunda de lo que ha sido la exploración y explotación de este tipo de yacimientos y evidenciar para el futuro lo que parece una faceta prometedora en la industria de los hidrocarburos a nivel mundial, a la cual se ha podido acceder cada vez más debido a los avances en

varias tecnologías, en una segunda etapa se plantean una serie de pruebas a las muestras recolectadas en las zonas de interés para luego realizar un análisis geológico detallado de algunas unidades estratigráficas de las rocas ígneas extrusivas e intrusivas del jurasico en la subcuenca de Neiva y las posibilidades de almacenamiento de hidrocarburo en estas.

Además de las salidas de campo y de las pruebas petrofísicas realizadas, se elaboro un detallado levantamiento geológico de las áreas estudiadas, todo esto hecho con la importante colaboración del director del proyecto, el geólogo Roberto Vargas, en el marco del proyecto Jurasico llevado a cabo por el grupo de investigación ECOSURC, el cual él lidera.

RESUMEN

Actualmente alrededor del mundo, se están explotando yacimientos de hidrocarburos en rocas del basamento siendo estas de origen ígneo como por ejemplo en Argentina en el campo Neuquen de donde se produce crudo a partir de riolitas y tobas.

Es a partir de la experiencia adquirida por este tipo de descubrimientos que se plantea a nivel del Huila la posibilidad de yacimientos de este tipo debido a la existencia de sistemas de fallas en los piedemontes de las cordilleras central y oriental donde se da un ambiente propicio para que el basamento cabalque sobre las capas sedimentarias, en donde al paso de miles de años y debido al tectonismo y a los diferentes esfuerzos a los que son sometidos este tipo de rocas y junto con la acción de la alteración hidrotermal se generan porosidades secundarias importantes que van desde micro fisuras, fisuras, fracturas y fallas hasta oquedades que a la postre, luego de una migración de fluidos podrían servir de almacén de grandes cantidades de hidrocarburos.

Las zonas escogidas para este estudio son en la formación Saldaña: el sector de quebrada Grande en el municipio de Íquira, el sector de la cuenca alta del rio Bache en el municipio de Santa María, el sector de la loma la Becerrera y el cerro Tenerife en el municipio de Villavieja y el sector de la quebrada el Hobo en el municipio de Hobo y en los cuerpos intrusivos dos zonas: sector de la quebrada de Beberrecio, municipio de Teruel y La Plata.

De las visitas a estas zonas se realizo una recolección de muestras para posteriormente proceder con unas pruebas de laboratorio de tipo petrofísico y con la información recolectada elaborar un análisis geológico de dichas áreas y un levantamiento de tipo geológico.

De igual manera se realizo un trabajo de unificación de nomenclatura de las diferentes planchas correspondientes a la subcuenca de Neiva, facilitando así el desarrollo del proyecto, logrando un gran avance con respecto a la variedad de siglas utilizadas tanto por el Ingeominas como en el sector petrolero.

Finalmente se elabora un mapa geológico detallado, el cual muestra las zonas de estudio además de los puntos de reconocimiento y recolección de muestras.

1. GENERALIDADES ROCAS IGNEAS

Las rocas ígneas se forman a través de una mezcla de agua, solidificación del magma, gases disueltos y roca fundida a parcialmente fundida, éstas varían de un yacimiento a otro porque poseen propiedades químicas muy diversas provenientes del manto, la corteza y superficie de la tierra; a continuación algunos minerales provenientes de las rocas ígneas: óxido de silicio, hierro, magnesio, sodio, calcio, los cuales poseen estructuras y texturas complejas en donde se presentan porosidades y permeabilidades complejas.

Las rocas ígneas son componentes importantes de la corteza terrestre y se encuentran ampliamente distribuidas en la corteza superficial y profunda. El estudio de las rocas ígneas es de gran ayuda para comprender la tectónica regional y sus efectos en las cuencas sedimentarias.

Las rocas ígneas también pueden ofrecer sus propias trampas, las variaciones en porosidad pueden producir una trampa pseudoestratigráfica. Sin embargo el espesor de los cuerpos intrusivos tales como lacolitos y conos volcánicos nos pueden ofrecer también estructuras de capturas, que bloquean las vías de migración de hidrocarburos.

De acuerdo a los resultados de las investigaciones del grupo ECOSURC se ha demostrado que los procesos de alteración hidrotermal asociados a la formación Saldaña pueden generar porosidad apta para el almacenamiento de hidrocarburos.

ROCAS ÍGNEAS O MAGMATICAS			
Rocas intrusivas o rocas plutónicas	Rocas subvolcanicas o rocas hipoabisales	Rocas extrusivas o volcánicas	Rocas volcanoclasticas
Cristalización en altas profundidades	Cristalización en bajas profundidades	Cristalización en la superficie	Cristalización en la superficie o en la atmosfera
Enfriamiento lento	Enfriamiento mediano	Enfriamiento rápido	Enfriamiento muy rápido
Cristales grandes	Cristales grandes o pequeños	Cristales pequeños y tal vez fenocristales	Cristales pequeños
Sin minerales amorfos	Casi sin minerales amorfos	Con minerales amorfos	Con minerales amorfos
Sin porosidad	Casi sin porosidad	Con porosidad	Tal vez textura espumosa
Textura equigranular	Textura equigranular o porfidica	Grano fino o textura porfidica	Grano fino con bombas o clastos
Cristales hipidiomorficos	Cristales hipidiomorficos y/o fenocristales idiomorficos	Fenocristales idiomorficos	Cristales con contornos fundidos

Tabla 1. Algunas características de las rocas ígneas
Fuente <http://es.scribd.com/doc/26393936/Rocas-Igneas>
Modificado por López y Villalba, 2012.

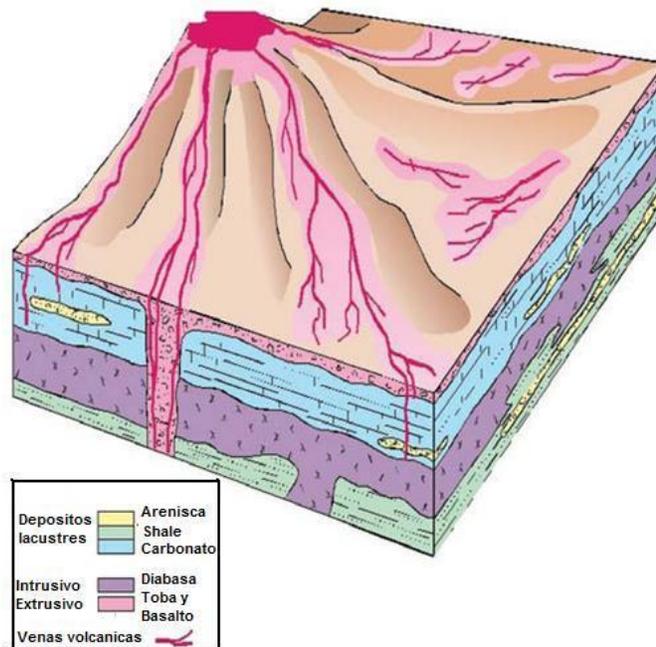


Figura 1. Esquema general de los tipos de rocas ígneas asociados a rocas de una provincia petrolífera.
 Fuente. *Development of an Integrated Reservoir Model for a Naturally Fractured Volcanic Reservoir in China*
 Modificado por López y Villalba, 2012.

Origen	PROCESO		TIPOS
PRIMARIO	Soldadura		Intertriza/Intrapomez
	Disolución cristalina deutérica		Cribada intercristalina/moldica
	Escape de gas		Vesicular/conductos de escape de gas
	Fragmentación	Fragmentación por flujo	Interflujo laminar/grietas de tensión "cavitation"
		Brechamiento autoclastico	Interclastico
		Estallido de cristales	Cristal estallado
SECUNDARIO	Alteración meteorica, diagenetica, hidrotermal	Disolución y precipitación de minerales secundarios	Esponjosa/cavernosa
		Relleno por minerales secundarios	Drusiforme
		Remoción mecánica de minerales secundarios	Cribada/moldica secundaria
	Fractura	Tectonica	Fractura tectónica
		Por enfriamiento súbito	Fractura por enfriamiento súbito
		Brechamiento hidrotermal	Drusiforme en brecha

Tabla 2 Clasificación de la porosidad para rocas ígneas
 Fuente. *Nora Rubinstein y Patricia Sruoga, 2008*
 Modificado por Lopez y Villalba, 2012.

2. YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES EN ROCAS ÍGNEAS

Se llaman yacimientos en rocas no convencionales a aquellos que se encuentran a condiciones distintas de cómo se han venido explotando a lo largo de la historia, como es el caso de yacimientos en rocas ígneas, debido a que siempre ha existido la creencia de que las rocas sedimentarias son el único tipo de rocas que tienen interés en la industria petrolera.

Las rocas ígneas han sido despreciadas en la industria de los hidrocarburos debido a que gracias a las condiciones de origen de las mismas, es imposible que la generación del crudo tuviera lugar, pero al no ser generadoras (debido a que dichas rocas deben tener un alto contenido de material orgánico y agua suficiente para proteger su estructura de la desecación además de condiciones de presión y temperatura adecuadas), si cumplen con varios requisitos como capacidad de almacenamiento y de flujo que las convierten en buenas rocas almacén.

Las rocas ígneas suelen tener muy poca porosidad intergranular y muy mala permeabilidad, lo cual hace que sean poco atractivas para la industria de los hidrocarburos, pero el granito fracturado se ha convertido en un gran almacén y en muchas regiones del mundo (Argentina, China) estos sistemas resultan ser la roca productora. Por otro lado, las rocas ígneas extrusivas al ser eyectadas se acumulan para formar rocas piroclásticas las cuales forman grandes depósitos piroclásticos que pueden tener espesores que varían entre algunos centímetros y algunos cientos de metros, cubriendo miles de kilómetros cuadrados, los cuales pueden poseer características de porosidad y permeabilidad atractivas para la industria. Los procesos de alteración hidrotermal han demostrado que se puede generar porosidad y permeabilidad secundarias.

Los yacimientos de basamento son menos comunes y pobremente estudiados en comparación con los reservorios de tipo sedimentario tal como las areniscas o las calizas. Por otro parte, estos reservorios contribuyen en el aumento de la producción y reservas de crudo. Los reservorios de basamento fracturado muestran altas ratas de flujo y una rápida reducción de la producción. Se considera que no tienen porosidad primaria. Todos los espacios porales en la roca son formados a través de fracturamiento y procesos diagenéticos (Le et al, 2009).¹

Por lo tanto, la mayoría de la porosidad es asociada con fracturas y zonas de fallas, y la porosidad de la matriz es cero. Por el contrario, los reservorios de rocas sedimentarias consisten de porosidad primaria y secundaria, las cuales están formadas por arreglos estructurales de granos, deposición y procesos de

¹ Tomado de SPE-137561-MS-P Lessons learned and experiences gains in developing waterflooding concept of granite basement fractured reservoir: 20 historical years case study

diagénesis. Esta porosidad es más fácil de medir y estimar que la porosidad de los yacimientos de basamento fracturado. Los reservorios de basamento fracturados son usualmente profundos, y no se han llevado a cabo muchas investigaciones.²

Por esto, el entendimiento de los detalles de caracterización de los reservorios de basamento fracturado ayudan a los ingenieros a utilizar un método adecuado de perforación, completación de pozo, producción, recobro mejorado. Alan y Sun (2003) resumieron algunas diferencias fundamentales de características de producción entre yacimientos fracturados y yacimientos en rocas sedimentarias, esas son:³

- La caída de presión alrededor del pozo productor es muy baja debido a la alta transmisibilidad de la red de fracturas. Estas fracturas accionan el mecanismo de producción.
- El GOR de los yacimientos fracturados se mantiene bajo a través de la producción debido a la forma de liberación del gas, más cuando el movimiento del aceite se mueve hacia el tope del reservorio a través de las fracturas que cuando este se mueve hacia los pozos productores.
- Los yacimientos fracturados carecen de zonas de transición.
- El corte de agua en los reservorios fracturados es estrictamente función de la rata de producción.

La actividad volcánica puede llegar a ser de gran influencia en la creación de sistemas petrolíferos como yacimientos, trampas y sellos. Aunque en los sistemas volcánicos no se da directamente la generación del crudo, puede que se presenten ambientes propicios para que se genere, como lo son la vegetación arrastrada en los flujos volcánicos, o los depósitos piroclásticos que contribuyeron a la formación de lagos y pantanos con sedimentos ricos en Kerogeno y aguas que proveían nutrientes que aumentaron la producción de materia orgánica. Al igual que la generación, la maduración y la migración también tuvieron lugar en el proceso anterior a la depositación de los hidrocarburos en los cuerpos ígneos de grandes volúmenes.

2.1 CAUSAS

Para definir las causas que explican la formación de un yacimiento en rocas no convencionales, nos tenemos que referir a la raíz o naturaleza de las rocas ígneas, teniendo en cuenta: su estructura, composición, comportamiento y demás

² Tomado de SPE-137561-MS-P Lessons learned and experiences gains in developing waterflooding concept of granite basement fractured reservoir: 20 historical years case study

³ Tomado de SPE-137561-MS-P Lessons learned and experiences gains in developing waterflooding concept of granite basement fractured reservoir: 20 historical years case study

propiedades que sean de gran relevancia para su estudio y aplicabilidad en este campo, siendo estas las de mayor interés:

- Las rocas ígneas pueden formar porosidad y permeabilidad de diferentes maneras, bajo diferentes condiciones, ofreciéndose a ella misma variadas propiedades, por debajo de la superficie, por ejemplo las intrusivas o plutónicas poseen una porosidad intergranular baja y una permeabilidad insignificante debido a que su estructura tiende a ser grandes cristales, mientras que las extrusivas o volcánicas presentan una estructura muy fina, que a su vez permite clasificarlas en cristales piroclásticos y fragmentados debido a su enfriamiento acelerado y erupciones explosivas.
- Una de las causas más comunes del por qué hay hidrocarburos en las rocas ígneas, son la migración desde su lugar de origen (generalmente rocas sedimentarias, aunque también hay casos de generación de hidrocarburos en rocas ígneas), y que terminan entrampados en las rocas ígneas. Los diferentes tipos de migración se describen a continuación:
 - De forma vertical o lateral en posiciones altas
 - Compactación de las rocas de forma descendente hacia el interior de las mismas
 - Disolución y almacenamiento del fluido dentro de la misma roca
 - Disminución de presión en áreas porosas dentro de la misma estructura
- El movimiento de la tierra permite la migración del hidrocarburo debido al vulcanismo empujando así los flujos piroclásticos hasta 1000 Km de distancia de su origen, como se observó en el Campo Hará de Japón en los años 90, donde este campo producía petróleo de tres capas Tobáceas.

2.2 CONDICIONES FAVORABLES Y DISTRIBUCIÓN GEOLÓGICA

Los yacimientos productores del basamento presentan una porosidad primaria cercana a cero y la capacidad de almacenamiento y permeabilidades solo es soportada por las fracturas.

En las condiciones propias para la producción del basamento, se podrían mencionar algunas condiciones que lo hacen favorables:

- Roca generadora en contacto de falla con el basamento.
- Presencia de falla y sus fracturas asociadas.
- Existencia de sello.
- Posición estructural y buzamiento.
- Salto de falla.

- Manifestaciones de hidrocarburos.
- Cercanía a roca madre o a roca productiva

2.3 EXPLORACIÓN EN YACIMIENTOS EN ROCAS NO CONVENCIONALES.

Entre los métodos se destacan los relacionados con la exploración geofísica. Esto es la aplicación de la física en busca de yacimientos. Así tenemos métodos magnéticos, gravimétricos, sísmicos y radiactivos.

El magnetómetro puede detectar la presencia de minerales magnéticos como la magnetita, la cual puede ser encontrada en rocas ígneas (procedentes de erupciones volcánicas) pero en muy pocas cantidades en rocas sedimentarias. Las diferencias de lectura permiten determinar la profundidad de las capas y su espesor.

El gravímetro registra las variaciones de la gravedad terrestre producidas por masas de diferentes densidades (la densidad es la relación que existe entre el espacio que ocupa un cuerpo y la cantidad de materia que este posee; diremos que un cuerpo es muy denso cuando su materia ocupa el mínimo espacio posible). Por ejemplo los granos de las rocas ígneas están densamente organizados a diferencia de los de las rocas sedimentarias que están más separados. Por lo tanto el gravímetro permite diferenciar los tipos de rocas existentes en el subsuelo. Los métodos radiactivos usan aparatos sensibles a la radioactividad para detectar directamente la presencia de aceite.

Un método muy usado y que mayores impactos ambientales provoca es el de la prospección sísmica. Consiste en crear temblores artificiales mediante la activación de cargas explosivas a profundidades entre 10 y 30 pies de profundidad o bien mediante la descarga de un gran peso sobre la superficie del suelo o la utilización de un vibrador (vibrosis). La explosión, la descarga o la vibración producen ondas sísmicas análogas a las de los terremotos que se propagan chocando con las diferentes capas de rocas del subsuelo.

Las ondas al chocar se reflejan a la superficie con una velocidad e intensidad diferente dependiendo del tipo de roca que encuentran a su paso. Al regresar a la superficie las ondas producen una vibración en unos receptores de alta sensibilidad llamados geófonos, que las registran y recogen en forma de corriente eléctrica transmitiéndose entonces por un cable al camión registrador. Este registro permite establecer el tiempo empleado por cada onda sísmica en llegar a los estratos rocosos, reflejarse y ascender a la superficie. De esta manera se puede determinar el tipo de estrato y la distancia a la cual se encuentra con lo cual se obtiene un mapa indicativo de las estructuras del suelo.

2.4 YACIMIENTOS EN ROCAS IGNEAS A NIVEL MUNDIAL

Algunos de los mayores campos petroleros alrededor del mundo consisten en carbonatos fracturados. [e.g, Badakhshan et al, (1998); Rodriguez et al, (2004)]. Mientras que los campos de carbonatos fracturados han sido descubiertos y explotados por más de cien años, la producción de aceite de campos de basamento fracturado no es muy común. De acuerdo con Landes et al, (1960) y Aguilera (1995), los reservorios de basamento se definen como rocas ígneas o metamórficas, que independiente de la edad, contienen hidrocarburos y que están discordantemente superpuestos por una secuencia sedimentaria.⁴

El basamento usualmente es visto en el límite inferior de las formaciones almacenadoras de aceite. Sin embargo, en diferentes campos, se ha notado la superposición de este a las capas de areniscas o carbonatos; por ende el basamento puede contener crudo que puede ser producido (Falt et al. 1992; Naguib et al. 2002; Harding et al, 2002).⁵

Más recientemente, los reservorios de basamento fracturados han sido identificados como el principal objetivo para la producción de hidrocarburos. Los campos de basamento fracturado están caracterizados por una relativamente baja porosidad, en ocasiones menor que 5%. Areshev et al (1992) identifico tres componentes para la porosidad efectiva de los reservorios de basamento fracturado localizados al sur de la costa de Vietnam: las fracturas de origen tectónico, cavidades (porosidad cavernosa) de origen hidrotermal y poros causados por desgaste, siendo la caracterización de este tipo de reservorios un reto.⁶

El registro de porosidad convencional tiene un rango de error cercano a la propia medida, adicionalmente, la distribución de porosidad y la permeabilidad es irregular. Se han desarrollado varios métodos para determinar la distribución de porosidad y permeabilidad para tales yacimientos.⁷

Existen rocas ígneas productoras de hidrocarburos en todo el mundo. El primer descubrimiento documentado de petróleo en roca volcánica es el Campo Hara de Japón, cuya producción inicial tuvo lugar en el año 1900.

⁴ Tomado de SPE-1330086-PA-P. Recovery mechanisms and oil recovery form a tight, fractured basement reservoir, Yemen. Nicolas Legrand, Joop de Kok, Pascale Neff and Torsten Clemens, SPE.

⁵ Tomado de SPE-1330086-PA-P. Recovery mechanisms and oil recovery form a tight, fractured basement reservoir, Yemen. Nicolas Legrand, Joop de Kok, Pascale Neff and Torsten Clemens, SPE.

⁶ Tomado de SPE-1330086-PA-P. Recovery mechanisms and oil recovery form a tight, fractured basement reservoir, Yemen. Nicolas Legrand, Joop de Kok, Pascale Neff and Torsten Clemens, SPE.

⁷ Tomado de SPE-1330086-PA-P. Recovery mechanisms and oil recovery form a tight, fractured basement reservoir, Yemen. Nicolas Legrand, Joop de Kok, Pascale Neff and Torsten Clemens, SPE.

En el pasado, los yacimientos de basamento fracturado fueron descubiertos por accidente tal como el campo La Paz en Venezuela y White Tiger (el cual ha producido desde 1986 y es el primer campo petrolero de Vietnam). La tabla 3 muestra el resumen de los yacimientos en rocas del basamento en el mundo.

Otro de los primeros ejemplos de producción se registró en Texas, en el año 1915, a lo largo de una tendencia de volcanes de fondo marino, que erupcionarán durante la depositación de la Caliza Austin. Las formaciones volcánicas sepultadas produjeron 54 millones de bbl de petróleo de 90 campos, en más de 200 cuerpos ígneos.

En Venezuela en el Totumo, 90 km al suroeste de la ciudad de Maracaibo, la Caribbean Petroleum Company (Shell) perforó 2 pozos y comenzó un tercero en 1914 y 1915. El pozo Totumo-2 (Zambapalo N° 1) fluyó 250 B/D de petróleo a 1.227' y fue el pozo descubridor en Venezuela de hidrocarburos en fracturas del basamento; profundizado en 1929 hasta 1533'; produjo 523 B/D.

Algunos yacimientos de basamento han sido encontrados en Libia, Algeria, Venezuela, Estados Unidos, Marruecos, Brasil, Lybia, Egipto y Rusia. La mayoría de estos yacimientos tienen bajas tasas de producción tal como el campo Orth con 120 a 939 BPD, el campo Beaver con 55 a 434 BPD; ambos en Estados Unidos, el campo Xinlongtai en China con 210 a 756 BPD, de igual manera existen campos con altas producciones tal como el campo White Tiger en Vietnam con una producción de más de 180000 BPD (Nguyen and Le, 2004).⁸

En el mundo el 59 % del petróleo se extrae en yacimientos de areniscas, casi el 41% se extrae en rocas carbonatadas y otras rocas fracturadas como shales y rocas ígneas y metamórficas extraen cerca de 0.8% del crudo total de los yacimientos.⁹

Campo	Región	Litología	Tipo de yacimiento	Fecha de descubrimiento	Producción de pozo más alta	Profundidad
Aerxia	Cuenca Jiuxi, China	Roca paleozoica metamórfica	Aceite y gas	1959	700-1050 bbl/día	8530-10498 ft
Yumen Xinglongtai	China	Granito metamórfico. Brecha granítica mesozoica y rocas extrusivas	Aceite y gas	1976	210-756 bbl/día	26246 ft
Dong Sheng Pu Buried Hil	China	Rocas metamórficas, basamento	Aceite y gas	1982	1163-1838 m ³ /día	8530 ft
Wangzhung	China	Gneiss precámbrico	Aceite y gas	-	-	-
PY-1	India	Granito precámbrico	Gas y	1980	13 MMfc/día	18044 ft

⁸ Tomado de SPE-137561-MS-P Lessons learned and experiences gains in developing waterflooding concept of granite basement fractured reservoir: 20 historical years case study

⁹ Tomado de SPE-137561-MS-P Lessons learned and experiences gains in developing waterflooding concept of granite basement fractured reservoir: 20 historical years case study

			condensado			
Sumatra-Beruk noreste	Indonesia	Granito alterado, metacuarcitas	Aceite y gas	1976	1680 bbl/día	5360 ft
Java-Jatibarang	Indonesia	Andesita, basalto, toba y conglomerado, brecha volcánica	Aceite y gas	1969	250-3000 bbl/día	6561-7545 ft
Nagaoka y Niigata	Japon	Toba verde y formaciones volcánicas	Aceite y gas	-	5400 BOP y 14 bcf gas	-
-	Japon occidental	Granito	Gas y condensado	-	800 bbl condensado/día	14107 ft
-	Korea	Granito fracturado	-	-	-	-
Sirkit	Tailandia	Capas de clastos rojos metamórficos	Aceite y gas	1991	-	-
White tiger	Viet Nam	Granito, microclina, hornblendita, biotita, granodiorita	Aceite y gas	1986	180000 bbl/día	16404 ft
Dragon	-	Granito	-	1990	8000 bbl/día	-
Rang Dong	-	Granito	-	1990	-	-
Big bear	Cuenca Nam con son, Viet Nam	Granito, microclina, hornblendita y biotita-granodiorita	-	1990	-	-
Bavi	Viet Nam	Granito, microclina, hornblendita y biotita-granodiorita	-	1990	-	-
Yugoslavia	Cuenca Pannonian	Granito, gneiss precámbricos	Aceite	1969	-	-
Banat	Cuenca Pannonian, Rumania	Rocas cristalinas de basamento	Aceite y gas	-	-	-
Battonya	Cuenca Pannonian, Hungría	Rocas metamórficas de basamento	Aceite	1985	-	-
Pusztafoidvar, Algyo y Asolthalom	Hungría	-	-	-	-	-
Clair	Reino unido	Granito carbonífero	Aceite	1977	2100-3000 bbl/día	3280.84-6561.68 ft
Yemen	Este medio	Basamento granítico/gneissico	Aceite	-	-	-
Fort McMurray	Canadá	Granito	Aceite	-	-	-
Placerita canyon	USA	Esquisto, conglomerado esquistoso	Aceite	1953	-	-
Playa del Rey	Venice, USA	Esquisto	Aceite	1929	400 bbl/día	-
El Segundo	California, USA	Conglomerado esquistoso	Aceite	1937	4563 bbl/día	7250.656 ft
Valle Santa María	California, USA	Basamento	Aceite	1942	-	-

Edison	California, USA	Rocas metamórficas fracturadas	Aceite	1945	-	-
Wilmington	California, USA	Esquisto	Aceite	1945	1000-2000 bbl/día	5787.402 ft
Santa Maria	California, USA	Esquisto	Aceite	-	-	-
Orth	Kansas central, USA	Cuarzita precámbrica fracturada	Aceite	1952	120-939 bbl/día	-
Ringwald	Kansas central, USA	Cuarzita precámbrica fracturada	Aceite	1949	190 bbl/día	-
Silica	Kansas central, USA	Cuarzita precámbrica fracturada	Aceite	-	100 bbl/día	3251.312-3284.121 ft
Kraft-Prusa	Kansas central, USA	Cuarzita precámbrica fracturada	Aceite	1945	65-108 bbl/día	3179.134-3336.614 ft
Beaver, Bloomer, Eveleigh	Kansas central, USA	Cuarzita precámbrica fracturada	Aceite	-	55-434 bbl/día	3300.525-3333.333 ft
Hall-Gurney y Gorham	Kansas central, USA	Granito-biotita fresca rosada	Aceite	-	306-355 bbl/día	10643.04-10925.2 ft
Eagle Springs	Nevada, USA	Rocas volcánicas fracturadas	Aceite	1950	-	-
Tharll	Texas, USA	Rocas piroclásticas	Aceite	1915	-	-
Badejo, Linguado y Lago Mercedes	Chile	Rocas volcanoclasticas	Gas y condensado	1991	12 MMcfd gas, 1140 bbl/día condensado	-
Furbero	México	Gabro	Aceite	-	1000 bbl/día	-
La paz	Venezuela	Granito y limolita cretácica	Aceite	1922	5000 bbl/día	8887.795 ft
Mara	Venezuela	Granito y rocas metamórficas	Aceite	1956	2700-17000 bbl/día	1190.945 ft
La Vela	Venezuela	Basamento fracturado	Aceite	1972	-	10000 ft
Hurghada	Egipto	Granito	Aceite pesado	-	-	1673.228-2001.312 ft
Zeit bay	Egipto	Basamento, granito fracturado, diques meta volcanicos y meta sedimentarios	Aceite	1981	700-10000 bbl/día	-
Nafoora-Augila	Libia	Granito	Aceite	-	1200-7627 bbl/día	8530.184 ft
Samgori	Georgia	Basalto andesitico	Aceite	-	-	-
Shaim	Rusia	Esquistos sericiticos intercalados con arenisca y conglomerado finos, granito y gneiss	Aceite	1959	25-28 bbl/día	-

Tabla 3. Yacimientos de hidrocarburos en rocas del basamento en el mundo.

Fuente. *geosciences.co.uk*

Modificado por López y Villalba, 2012.

3. ALTERACION HIDROTHERMAL ¹⁰

La alteración hidrotermal es un término general que incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en términos químicos y termales, en la presencia de agua caliente vapor o gas. La alteración hidrotermal ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales y/o precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circula por la misma. La característica esencial de la alteración hidrotermal es la conversión de un conjunto mineral inicial en una nueva asociación de minerales más estable bajo las condiciones hidrotermales de temperatura, presión y sobre todo de composición de fluidos. La textura original de la roca puede ser modificada ligeramente o completamente obliterada por la alteración hidrotermal.

En efecto, la alteración hidrotermal involucra la circulación de volúmenes relativamente grandes de fluidos calientes atravesando las rocas permeables debido a la presencia de fisuras o poros interconectados. El fluido tiende a estar considerablemente fuera de equilibrio termodinámico con las rocas adyacentes y esto genera las modificaciones en la composición mineralógica original de las rocas, puesto que componentes en solución y de los minerales sólidos se intercambian para lograr un equilibrio termodinámico.

Factores que controlan a la alteración hidrotermal de las rocas.

- a. Temperatura y la diferencia de temperatura entre la roca y el fluido que la invade. Mientras más caliente el fluido mayor será el efecto sobre la mineralogía original.
- b. Composición del fluido; sobre todo el pH del fluido hidrotermal: mientras más bajo el pH (fluido más ácido) mayor será el efecto sobre los minerales originales.
- c. Permeabilidad de la roca: Una roca compacta y sin permeabilidad no podrá ser invadida por fluidos hidrotermales para causar efectos de alteración. Sin embargo, los fluidos pueden producir fracturamiento hidráulico de las rocas o disolución de minerales generando permeabilidad secundaria en ellas.
- d. Duración de la integración agua/roca y variaciones de la razón agua/roca. Mientras mayor volumen de aguas calientes circulen por las rocas y por mayor tiempo, las modificaciones mineralógicas serán más completas.
- e. Composición de la roca; la proporción de minerales: es relevante para grados menos intensos de alteración dado que los distintos minerales tienen distinta susceptibilidad a independiente del tipo de roca original.

¹⁰ Barnes, H L. Geochemistry of hidrotermal ore deposits. CORBETT, G J, LEACH, T M. Southwest pacific gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization. Society of economic geologist. Special publication.

- f. Presión: este es un efecto indirecto, pero controla procesos secundarios como la profundidad de ebullición de fluidos, fracturamiento hidráulico (generación de brechas hidrotermales) y erupción o explosiones hidrotermales.

Los dos factores iniciales temperatura y composición del fluido hidrotermal son los más importantes para la mineralogía hidrotermal resultante de un proceso de alteración. Esto es relevante porque las asociaciones de minerales hidrotermales nos dan indicios de las condiciones en que se formaron depósitos minerales de origen hidrotermal.

La alteración hidrotermal produce cambios en las propiedades de las rocas alterando su densidad (aumento o disminución), porosidad, permeabilidad (aumento), susceptibilidad magnética y resistividad. Simultáneamente con esos cambios físicos pueden ocurrir eventos relacionados o sin relación como fallamiento y formación de diaclasas/fracturas que afectan el proceso de alteración.

Es por esta característica en especial que la alteración hidrotermal juega un papel importante en la formación de depositaciones de hidrocarburos en rocas ígneas ya que por la acción de dicha alteración se genera la mayoría de la porosidad en la que posteriormente se almacenan los hidrocarburos luego de migrar al cuerpo ígneo.

Además de la porosidad que se genera en las rocas ígneas debido a la disolución, remineralización o depositación de los minerales presentes en la roca, la alteración hidrotermal puede generar un aumento en la permeabilidad existente en la roca, la cual debe existir en algún grado para que el fluido hidrotermal penetre y haga efecto. El aumento de la permeabilidad se debe a las altas presiones y temperaturas presentes en dicho fluido y que generan un ensanchamiento en las fisuras o fracturas de las rocas ígneas las cuales sirven como la permeabilidad efectiva en este tipo de formaciones.

3.1 CLASIFICACIÓN DE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL¹¹

La alteración hidrotermal produce un amplio rango de mineralogía, abundancia mineral y texturas en distintas rocas. Esto hace que sea complicado tener un criterio uniforme para la clasificación de tipos de alteración. Los autores de mapeos y de estudios de alteración generalmente han simplificado sus observaciones clasificando las rocas alteradas en grupos.

¹¹ <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/LECTURAS/hidrotermalismo.htm>

El método más simple es mediante la utilización del mineral más abundante y más obvio en la roca alterada. De ahí derivan denominaciones como:

Silificación: Presencia dominante de sílice o cuarzo.

Sericitización: Sericita.

Argilización: minerales de arcilla.

Cloritización: clorita.

Epidotización: epidota.

Actinolitización: actinolita.

4. POROSIDAD

Se refiere a la medida del espacio intersticial entre grano y grano, la cual representa la relación entre el volumen poroso y el volumen total de la roca. La porosidad es el volumen de huecos de la roca, y define la posibilidad de ésta de almacenar más o menos cantidad de fluido. Se expresa por el porcentaje de volumen de poros respecto al volumen total de la roca (porosidad total o bruta).

Además de esta porosidad total, se define como porosidad útil la correspondiente a huecos interconectados, es decir, el volumen de huecos susceptibles de ser ocupados por fluidos. Este concepto de porosidad útil está directamente relacionado con el de permeabilidad.¹²

La porosidad útil es, en general, inferior en un 20-50% a la total, dependiendo, sobre todo, del tamaño de grano de la roca: cuanto menor sea este tamaño de grano, más baja será la porosidad útil respecto a la total. También influye la forma de los granos.¹³

$$\phi = \frac{V_p}{V_t} \rightarrow \frac{\text{Volumen poroso}}{\text{Volumen total}}$$

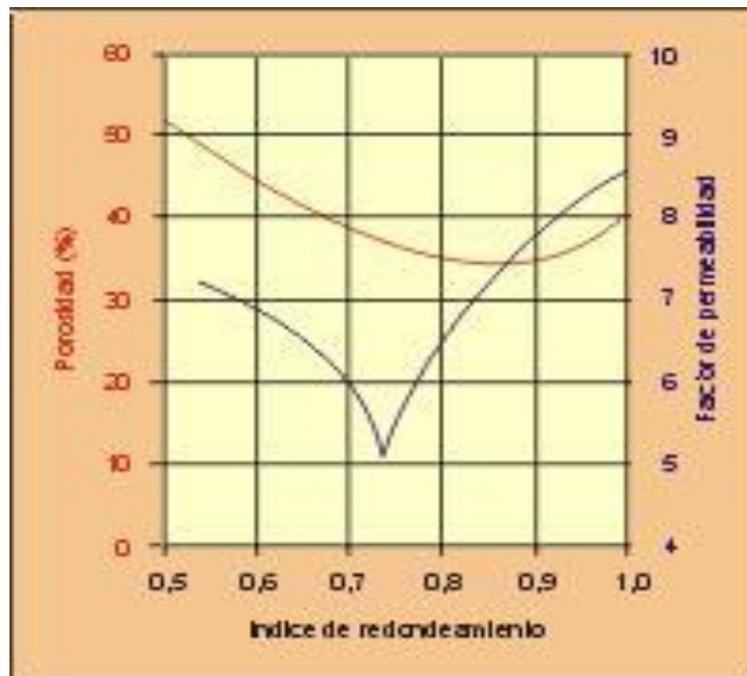


Figura 2. Determinación de la porosidad útil
Fuente. <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/YM6.html>

¹² Parra Pinzón, Ricardo. Propiedades físicas de los fluidos de yacimientos. Neiva – Huila, Julio de 2004.

¹³ Parra Pinzón, Ricardo. Propiedades físicas de los fluidos de yacimientos. Neiva – Huila, Julio de 2004.

4.1 CLASIFICACIÓN INGENIERIL DE LA POROSIDAD.¹⁴

Durante el proceso de sedimentación y litificación, algunos de los poros que se desarrollaron inicialmente pudieron sufrir aislamiento debido a varios procesos diagenéticos o catagénicos tales como cementación y compactación. Por ende, existirán poros interconectados y otros aislados. Esto conlleva a clasificar la porosidad en absoluta y efectiva dependiendo de qué espacios porales se miden durante la determinación del volumen de estos espacios porosos.

- Porosidad absoluta: Es aquella porosidad que considera el volumen poroso de la roca esté o no interconectado. Esta propiedad es la que normalmente miden los porosímetros comerciales. Una roca puede tener una porosidad absoluta considerable y no tener conductividad de fluidos debido a la carencia de interconexión poral. La lava es un ejemplo típico de esto.
- Porosidad efectiva: Es la relación del volumen poroso interconectado con el volumen bruto de roca. Esta porosidad es una indicación de la habilidad de la roca para conducir fluidos, sin embargo esta porosidad no mide la capacidad de flujo de una roca. La porosidad efectiva es afectada por un número de factores litológicos como tipo, contenido e hidratación de arcillas presentes en la roca, entre otros.
- Porosidad no efectiva: Es la diferencia que existe entre las porosidades absolutas y efectivas.

4.2 CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA DE LA POROSIDAD ¹⁵

A medida que los sedimentos se depositaron en los mares antiguos, el agua fue el primer fluido que llenó el espacio poroso. Esta agua se le denomina agua connata. Un método común de clasificación de la porosidad se basa en la condición si porosidad se formó inicialmente o si fue producto de una diagénesis subsiguiente (dolomitización), catagénesis, campo de esfuerzos o percolación de agua.

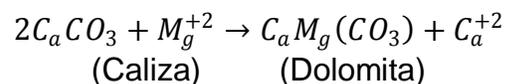
- Porosidad primaria o intergranular: La cual se desarrolló al mismo tiempo que los sedimentos fueron depositados. Rocas sedimentarias con este tipo de porosidad son: areniscas (detríticas o clásticas) y calizas (no detríticas). La porosidad primaria a su vez se clasifica en:
- Porosidad intercrystalina: Se refiere a los espacios existentes entre los planos de un cristal o espacios vacíos entre cristales. Muchos de estos

¹⁴ Escobar Macualo, Freddy Humberto. Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos. Neiva – Huila. 331 P.

¹⁵ Escobar Macualo, Freddy Humberto. Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos. Neiva – Huila. 331 P.

poros son sub-capilares, poros menores de 0.002 mm de diámetro. La porosidad que se encuentra entre cristales o partículas tamaño lodo se llama comúnmente “microporosidad”.

- Porosidad Intergranular: Es función del espacio vacío entre granos, es decir, de los espacios intersticiales de toda clase en todo tipo de roca. Esta porosidad comprende tamaño sub-capilar a súper-capilar. Generalmente, los espacios tienen un diámetro mayor de 0.5 mm.
- Planos estratificados: Existe concentración de espacios vacíos de diferentes variedades paralelos a los planos de estratificación. Las geometrías mayores de muchos yacimientos petroleros están controladas por este tipo de porosidad. Entre las causas de espacios vacíos en los planos estratificados se cuentan: diferencias de los sedimentos depositados, tamaño de partículas y arreglo de depositación y ambientes de depositación.
- Porosidad secundaria, inducida o yugular: Ocurre por un proceso geológico o artificial subsiguiente a la depositación de sedimentos. Puede ser debida a la solución o fractura (artificial o natural) o cuando una roca se convierte en otra (caliza a dolomita). La porosidad secundaria es el resultado de un proceso geológico (diagénesis y catagénesis) que tomó lugar después de la depositación de los sedimentos. La magnitud, forma, tamaño e interconexión de los poros podría no tener relación directa de la forma de las partículas sedimentarias originales. La porosidad secundaria se clasifica en:
 - Porosidad de disolución: Integrada por canales resultantes de la disolución del material rocoso por acción de soluciones calientes o tibias que circulan o percolan a través de la roca. Las aperturas causadas por meteorización (juntas alargadas y cavernas) y espacios vacíos causados por organismos vivientes pueden sufrir alargamiento debido a dilución.
 - Dolomitización: Es el proceso mediante el cual la caliza se transforma en dolomita según la siguiente reacción:



Algunas rocas carbonatas están constituidas solamente por calizas. Si el agua circulante a través del espacio poroso contiene suficientes cantidades de magnesio disuelto, el calcio en la roca puede intercambiarse por el magnesio en solución. Como el magnesio es considerablemente más

pequeño que el calcio, la resultante dolomita tendrá una porosidad mayor, cuyo incremento oscila entre el 12-13%.

- Porosidad de Fractura: Son aperturas en la roca producto de callamiento estructural de las rocas del yacimiento debido a tensión originada por actividades tectónicas tales como doblamiento y falla. Esta incluye juntas, fisuras, y fracturas. Las porosidades de fractura normalmente no superan el 1%.

4.3 METODOS DE MEDICION DE POROSIDAD¹⁶

4.3.1 Ley de Boile-Mariotte.

El estado de un gas está caracterizado por tres magnitudes físicas que son: su presión (P), su volumen (V) y su temperatura (T). Durante un cambio de estado pueden variar dos de estas tres magnitudes permaneciendo constante la tercera. Si la temperatura no varía se cumple entonces la Ley de Boyle -Mariotte:

“El volumen de un gas es inversamente proporcional a su presión cuando su temperatura permanece constante. O sea: $PV = \text{constante}$ ”

Así, por ejemplo, si un gas encerrado en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo se somete a diversas presiones P_1 , P_2 , y los volúmenes son en cada caso V_1 , V_2 , respectivamente, se cumple que: $P_1V_1 = P_2V_2 = \dots = \text{Constante}$; Siempre que la temperatura no haya variado.

Si la presión aumenta, el volumen disminuye. La teoría cinética de los gases permite explicar la Ley de Boyle - Mariotte. En efecto, al disminuir el volumen de un gas, el número de moléculas que en cada momento chocan con las paredes del recipiente aumenta porque tienen menos espacio para moverse y por consiguiente hay un aumento de presión. Lo contrario sucede si hay un aumento de volumen. La velocidad de las moléculas no cambia por permanecer constante la temperatura.

Para determinar la porosidad efectiva, en la práctica el más utilizado es el método que emplea el porosímetro de gas, el cual aplica la Ley de Boyle para gases ideales. El porosímetro de Boyle puede ser de simple celda en el cual solo se puede utilizar aire para comprimir, o de doble celda en el que se hace vacío y se usa un gas diferente al aire.

¹⁶ PARRA, Ricardo. GUÍA DE LABORATORIO DE YACIMIENTO. Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Neiva.

Por este método, también se determina el volumen de los granos de la muestra, cuando se ha efectuado la expansión. Los valores obtenidos pueden estar afectados por la lectura a presión atmosférica y la adsorción del gas utilizado por la muestra.

4.3.2 El porosímetro de expansión.

El porosímetro de expansión se basa en la ley del gas perfecto de Boyle que gobierna la expansión isotérmica para determinar el volumen desconocido de sólidos colocados en una cámara de expansión (volumen conocido). La ley de Boyle enuncia que para un peso dado de gas a temperatura constante, el volumen varía inversamente con la presión absoluta. El Helio está inicialmente contenido en una cámara fuente a presión y volumen conocidos (P_1, V_1). El helio es expandido hacia una cámara donde se encuentra la muestra, de volumen conocido, V_2 y la presión P_2 es medida.

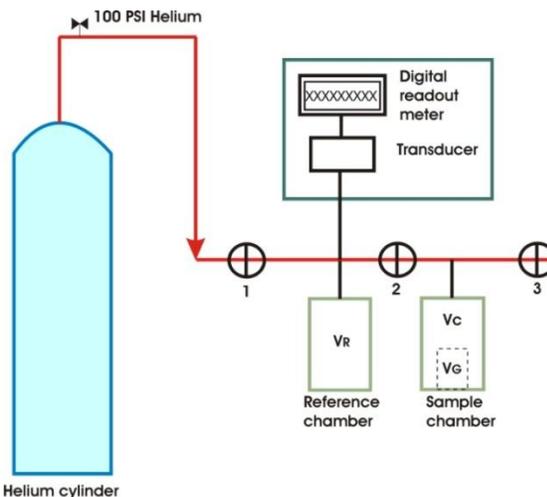


Figura 3. Esquema ilustrativo del porosímetro de expansión de Helio.

Aplicando la ley de Boyle, se calcula el volumen de granos de la muestra y midiendo el volumen total, se calcula la porosidad efectiva. El volumen de granos es medido en un porosímetro que consiste de dos cámaras conectadas de volumen conocido.

5. DESCRIPCION GEOLOGICA DE LA SUBCUENCA DE NEIVA DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA

5.1 VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA

Geológicamente el Valle Superior del Magdalena corresponde a un gran sinclinorio constituido por sedimentos Neógenos, los cuales reposan discordantes sobre sedimentos Pre – Miocenos y el Basamento Pre - Cretáceo.¹⁷Tectónicamente el Valle Superior constituye una depresión estructural de compresión.¹⁸ Está limitado por fallas de cabalgamiento, con transporte tectónico hacia el occidente en el borde oriental, y transporte hacia el oriente en el borde occidental. En el piedemonte occidental de la Cordillera Oriental el estilo estructural se asocia a deformación compresiva de edad Miocena.¹⁹

En el departamento del Huila, el Valle está limitado al Este por las Formaciones Cretácicas y el basamento ígneo-metamórfico de la Cordillera Oriental y al Oeste por el basamento ígneo cristalino y metamórfico de la Cordillera Central. A su vez el valle superior del río Magdalena se subdivide en dos cuencas sedimentarias, la subcuenca de Girardot, que comprende la parte norte del departamento del Huila y parte del sur de Tolima y la subcuenca de Neiva que abarca el centro y sur del departamento del Huila.

En la subcuenca de Neiva existen extensas zonas en donde afloran rocas ígneas intrusivas y extrusivas, que han sido agrupadas bajo diferentes nombres, a los cuales el INGEOMINAS les ha aplicado una nomenclatura diferente, debido a que en muchas ocasiones no existe continuidad física entre los afloramientos o presentan diferencias composicionales y texturales. La casi totalidad de estos cuerpos plutónicos y volcano-sedimentarios son considerados como del Triásico-Jurásico, por algunas dataciones radiométricas, relaciones estratigráficas o similitud y continuidad con regiones próximas.

La mayoría de estos cuerpos ígneos están altamente fracturados y localmente presentan alteración hidrotermal y se encuentran íntimamente relacionados con la secuencia sedimentaria asociada a la generación y producción de hidrocarburos. En la figura 5 se muestra el modelo de elevación digital de la parte central de la subcuenca de Neiva mostrando la gran extensión del basamento económico de la cordillera central.

¹⁷ Petrobras, 1999. Documento privado.

¹⁸ Butler, K. R., 1983. Andean Type Foreland Deformation: Structural Development of the Neiva Basin, Upper Magdalena Valley, Colombia. (Volumes I and II).

¹⁹ Vargas, Roberto. 2002. Proyecto de Integración Cartográfica de la Geología de la Cordillera Central y Occidental de Colombia Aplicada a la Exploración Aurífera, Geotec Ltda. Anglo Gold Ashanti Colombia.

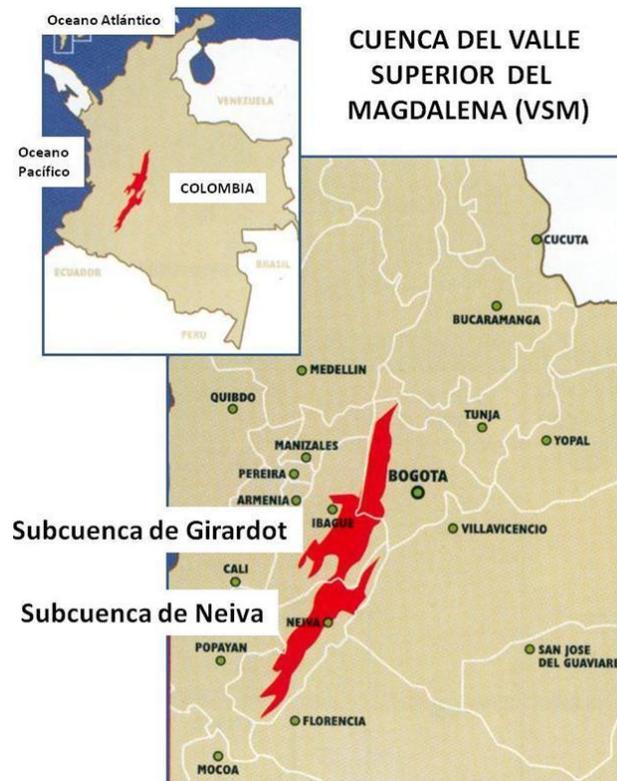


Figura 4. Ubicación geográfica de la subcuenca de Neiva en el valle superior del río Magdalena.

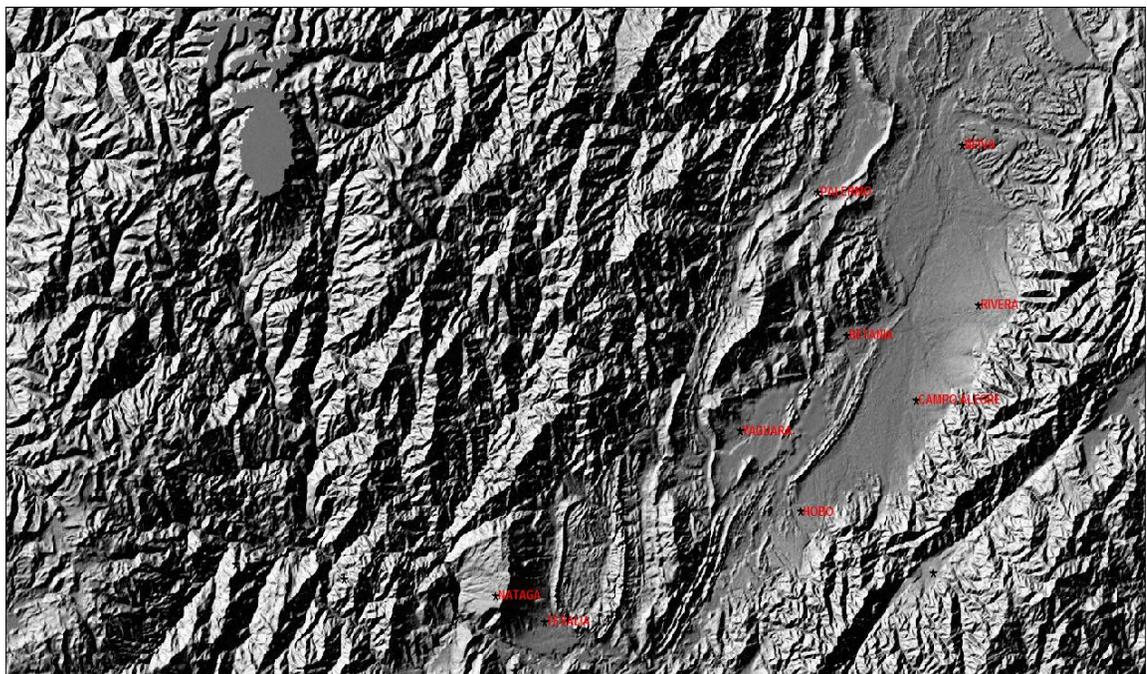


Figura 5. Modelo de elevación digital del área central de la subcuenca de Neiva donde se observa lo estrecho del valle del Magdalena y los piedemontes de las cordilleras central y oriental.

Este estudio se ha realizado en algunas zonas de la subcuenca de Neiva, en donde interesa analizar la interacción de algunas formaciones como la formación Saldaña y el batolito de Ibagué con los sistemas de fallas inversas y back thrust de los piedemontes de las cordilleras central y oriental.

En la ejecución de este proyecto fueron realizadas cuatro secciones geológicas (ver figura 19), donde fueron levantadas igual número columnas estratigráficas en rocas asociadas a la formación Saldaña y reconocimiento petrográfico en las rocas ígneas intrusivas, igualmente se realizaron dos secciones geológicas correspondientes a los cuerpos intrusivos (ver figura 21).

5.2 BASAMENTO ECONÓMICO

De acuerdo a la industria petrolera colombiana se considera basamento económico al límite por el cual la posibilidad de hallar hidrocarburos es remota o el riesgo de inversión económica para su exploración es bastante alto, con lo cual no justifica su exploración. El límite del basamento económico en el valle superior del magdalena con la cobertura productiva corresponde a la formación Caballos.

El basamento económico Precretáceo está conformado por rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición ácida correspondientes al batolito de Ibagué y la formación Saldaña y rocas de metamorfismo regional correspondiente al llamado Macizo de Garzón (localizado al este del área estudiada). Está conformado por un núcleo de rocas precámbricas constituidas por migmatitas y gneises, anfibolitas paleozoicas e intrusiones de granitos y cuarzodioritas también de edad paleozoica.

El Jurásico se encuentra representado por una serie de rocas volcánicas y piroclásticas que corresponden estratigráficamente a la formación Saldaña compuesta por riolitas, dacitas, tobas y aglomerados volcánicos principalmente. Así también se presentan rocas ígneas intrusivas ácidas de tipo granodioritas, monzonitas y cuarzodioritas del denominado batolito de Ibagué.²⁰

El basamento económico Precretáceo está conformado por rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición ácida correspondientes al batolito de Ibagué y la formación Saldaña y rocas de metamorfismo regional correspondiente al llamado Macizo de Garzón. Está conformado por un núcleo de rocas precámbricas constituidas por migmatitas y gneiss, anfibolitas precámbricas y paleozoicas e intrusiones de granitos y cuarzodioritas también de edad paleozoica.

²⁰ Vargas, Roberto. 2010. Estratigrafía del Jurásico de la Región Surcolombiana USCO.

5.3 COBERTURA PRODUCTIVA

La cobertura productiva de carácter sedimentario está determinada por dos secuencias deposicionales diferentes caracterizada por presentar rocas de origen clástico y químico. La primera se trata de una secuencia clástica marina que abarca desde el Cretáceo Medio (Aptiano - Albiano) hasta el Paleógeno (Paleoceno) de un ambiente marino a transicional desarrollando un ciclo regresivo que permitieron la depositación en el área de las formaciones Yavi, Caballos, Villeta, Monserrate y Guaduala respectivamente.

La segunda secuencia compuesta por rocas sedimentarias de origen continental que abarcan desde el Eoceno hasta el reciente, que corresponden estratigráficamente a las formaciones Gualanday, Potrerillos, Doima, Honda, Gigante y Depósitos Cuaternarios.⁸

5.3.1 Formación Caballos (Kc)^{21 22}.

En la subcuenca de Neiva esta formación operacionalmente fue dividida en Caballos Inferior, Caballos Medio y Caballos Superior. Florez y Carrillo (1994) redefinieron estas formaciones denominándolas Formación Alpujarra (Caballos Inferior), El Ocal (Caballos Medio) y Caballos (Caballos Superior).

La Formación Caballos Superior (Kcs), es el principal yacimiento productor en los Campos Santa Clara, Hato Nuevo y Tenay. Está constituida por cuarzoarenitas muy continuas de grano fino a grueso friables, muy bien a moderadamente seleccionadas, con laminación inclinada y paralela, que fueron originadas como depósitos de cordones de playa progradantes. Presentan intercalaciones de lodolitas e interlaminaciones de arena y lodo y arenitas calcáreas bioclásticas, que representan depósitos marinos marginales (estuarios).

La formación Caballos Medio (Kcm) fue depositada en un ambiente marino restringido (Litoral a Sublitoral) se caracteriza por tener intercalaciones de calizas lumaquelicas y dolomitas de color gris verdoso, algunas glauconitas y lodolitas de color gris a negro, ricas en materia orgánica. Tiene un espesor promedio de 120 pies.

²¹ Florez, M. y Carrillo, G. 1994. Estratigrafía de la Sucesión Litológica Basal del Cretácico en el valle Superior del Magdalena. Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Capítulo II, 26p

²² Etayo-Serna, F. 1994. Epilogo: A modo de Historia geológica del Cretácico del valle Superior del Magdalena, Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Capítulo XX.

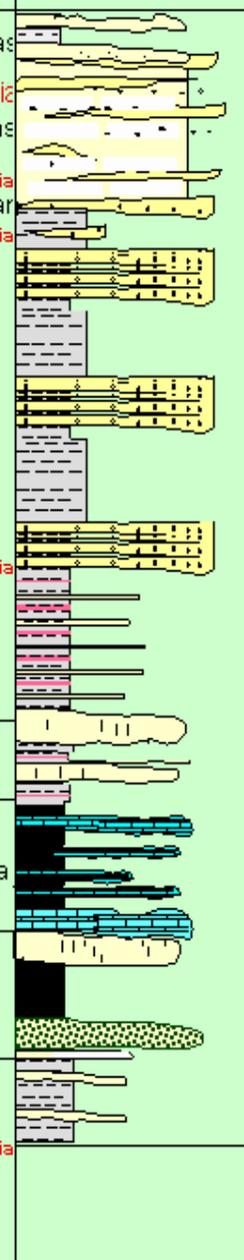
		GRUPO	FORMACION	AMBIENTE	LITOLOGIA			
CUATERNARIO								
Neógeno	Secuencia Sin-Orogénica	Plioceno-Holoceno	Gigante / Mesa (1000 mts)	Terrestre, Llanuras de Piedemonte.				
		Mioceno	Medio a Superior	Honda (2500 mts)		Terrestre, Llanuras Aluviales		
			Inferior	Barzalosa (250 - 300 mts)		Terrestre, Lagunas		
Paleógeno	Secuencia Sin-Orogénica	Oligoceno	Doima	(100 - 3000 mts)	Terrestre, Ríos entrelazados.			
			Potrerrillo					
		Eoceno	Gualanday			Tesalia		
						Bache		
						Palermo		
		Paleoceno	Gualuala			Teruel	(400 - 1200 mts)	Terrestre, Paállico.
						San Francisco		
CRETÁCEO	Superior	Maastrichtiano	Monserrate (150 - 200 mts)	Marino Intera Intamareal.				
		Campaniano			K1			
		K2						
		K3						
	Inferior	Secuencia Preorogénica	Santoniano	Villeta (700 - 1100 mts)	Plataforma Detrítico - Calcárea			
			Albiano			Shale Aco		
			LaLuna					
			Shale Bambuca					
		Calza Tetuán	Caballos (90 - 200 mts)	Fluvial Salobre				
Albiano	Superior							
	Medio							
		Inferior	Yaví (385 mts)	Supra a intermareal Terrestre.				
Aptiano								
Basamento	Jurásico	Saldaña (800 - 1500 mts)	Subaéreo Vulcanoclástico					
	Triásico	Intrusivo						
	Precambrico	metamórfico						

Figura 6. Columna Estratigráfica generalizada del valle superior del Magdalena subcuenca de Neiva.
Fuente: Ecopetrol, ICP-2000, modificado por Vargas 2008.

La Formación Caballos Inferior (Kci) está compuesta por una serie de secuencias arenosas retrogradacionales, siendo un depósito continental a la base con cuarzo arenitas y subarcosas de color blanco a gris claro, de grano fino a grueso, localmente conglomeráticas bien seleccionadas con pseudomatriz caolinítica. En la parte media y tope predominan lodolitas negras ricas en restos de plantas, que corresponden a depósitos en llanuras aluviales surcadas por canales sinuosos. Reposita discordantemente sobre el basamento económico o puntualmente sobre la formación Yavi. Tiene un espesor promedio de 150 pies.

5.3.2 Formación Villeta (Kv)²³

La formación Villeta es una unidad marina transgresiva en donde sus sedimentos fueron depositados en un ambiente nerítico anóxico. Sus rocas blandas erosionables dan lugar a una topografía suave de valles. Esta formación se encuentra dividida informalmente por las compañías petroleras que han trabajado en el área en cuatro unidades que de base a tope son:

- Caliza de Tetuán: calizas finogranulares derivadas de organismos plactónicos, ricas en materia orgánica de color marrón oscuro a claro, masivas y muy duras, intercaladas con lodolitas. El contacto con la Formación Caballos es transicional y su ambiente de depósito está por debajo del nivel de acción de las olas (Ambiente anóxico de plataforma).
- Shale de Bambucá: compuesta por shale verde a verde grisáceo con bajo contenido de calcita. El contacto con la Caliza de Tetuán es transicional y el predominio de sedimento arcilloso sugiere proximidad del área fuente y una somerización del fondo y acercamiento a la línea de costa.
- Caliza La Luna o Calizas La Frontera (Cenomaniano-Turoniano): calizas micríticas derivadas de organismos planctónicos rica en materia orgánica de origen marino, de color crema a gris claro, masivas y blocosas.
- Aico: es una sección arenosa al tope y limosa en la base, que consta de cuarzoarenitas blancas, angulares a subangulares de grano fino a medio, algunas veces calcáreas, que representa una somerización del fondo y un acercamiento a la línea de costa.

²³ Etayo-Serna, F. 1994. Epilogo: A modo de Historia geológica del Cretácico del valle Superior del Magdalena, Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Capítulo XX.

5.3.3 Formacion Monserrate (Km)²⁴

Litológicamente está constituida por cuatro miembros dos arenosos y dos lutíticos. El K4 con un espesor promedio de unos 25 metros está compuesto por arcillolitas y limolitas con un nivel de roca fosfórica. El K3 con un espesor de unos 30 metros está representado por areniscas cuarzosas blancas a grises y de grano fino a medio. La unidad K2 con un espesor de unos 30 metros, está conformada por limolitas silíceas y chert, este miembro presenta dos niveles de roca fosfórica, es muy común el intenso plegamiento de estas rocas. La unidad K1 posee un espesor de unos 35 metros y está compuesto por cuarzoarenitas de grano grueso con cemento silíceo.²⁵ La formación Monserrate fue depositada en un ambiente de plataforma cercano a la línea de costa, asociado a zonas de frente de costa y plataforma.²⁶ De acuerdo a su registro fósil está datada como Campaniano a Maestrichtiano.

Esta formación es productora en varios campos del Valle Superior (Dina Cretáceos, Palogrande-Cebú, Brisas, Pijao).

5.3.4 Formación Guadala (TKg)²⁷

Esta formación está constituida por dos miembros: el miembro San Francisco compuesto por arcillolitas grises a rojo oscuro a púrpura, blandas, con intercalaciones de limolitas. Su ambiente de depósito es el parálico. El miembro Teruel está compuesto por areniscas finas verdosas y arcillolitas con algunas capas de carbón, depositados en un ambiente continental. El contacto del Grupo Guaduas con el suprayacente Grupo Gualanday en el área es una discordancia Regional que representa un hiato deposicional del Eoceno inferior. La formación Guadala posee un espesor que varía entre 250 y 300 metros. El grado de erosión de estas rocas da lugar a una topografía suave, deprimida que forma valles.

5.3.5 Formación Gualanday (Tg)²⁸

Esta formación está dividida en tres miembros: Palermo, Bache y Tesalia, respectivamente. El miembro Palermo está representado por una serie de conglomerados grises constituidos por cantos redondeados de líticos, chert y cuarzo e intercalaciones de areniscas en capas de estratificación masiva a gruesa. El miembro Bache está constituido por arcillolitas y lodolitas moteadas y algunos

²⁴ Beltrán, N. & Gallo, J., 1968. The Geology of the Neiva Sub-basin, upper Magdalena basin, southern portion. – IX Annual Field Conference, Colombian Society of Petroleum Geologist and Geophysicists. Reprinted in: Geological Field Trips Colombia 1959-1978, Geotec Ltda. Ed., 1980, p. 253-275, Bogotá.

²⁵ Vargas, R., 1995. Estratigrafía de la Formación Monserrate Mina los Yuyos. USCO.

²⁶ Reyes et al, 1995

²⁷ Beltrán, N. & Gallo, J., 1968. The Geology of the Neiva Sub-basin, upper Magdalena basin, southern portion. – IX Annual Field Conference, Colombian Society of Petroleum Geologist and Geophysicists. Reprinted in: Geological Field Trips Colombia 1959-1978, Geotec Ltda. Ed., 1980, p. 253-275, Bogotá.

²⁸ Caicedo A. & Roncancio J., 1992. Estratigrafía del Grupo Gualanday y modelo tectónico-sedimentológico del terciario en el Valle Superior del Magdalena. Trabajo de Grado No Publicado Univ. Nacional

niveles de areniscas y conglomerados. El miembro Tesalia está representado por otra serie de conglomerados oligmíticos con fragmentos de cuarzo lechoso y chert negro, con ligeras intercalaciones de areniscas y arcillolitas varicoloreadas. El material clástico que constituye a los miembros Palermo y Tesalia probablemente fueron derivados de la cordillera central y distribuidos sobre una planicie a manera de amplios abanicos aluviales con fuertes corrientes fluviales. El miembro Bache se depositó sobre una gran planicie asociada a extensos pantanos y algunas corrientes fluviales débiles. La edad de la formación Gualanday corresponde al Eoceno superior según dataciones paleontológicas.

5.3.6 Formación Potrerillos (Tep)

Constituidas por arcillolitas varicoloreadas blandas y limosas intercaladas con delgados niveles de conglomerados y areniscas conglomeráticas. Esta unidad pertenece al Eoceno superior.

5.3.7 Formación Doima (Ted)

Reposa discordantemente sobre la formación Potrerillos y está constituida por conglomerados poligmíticos con fragmentos de rocas ígneas y metamórficas chert y cuarzo, embebidos en una matriz areno-limosa. Esta formación fue depositada en un ambiente fluvial de grandes corrientes sobre planicies ligeramente onduladas. Su edad corresponde al Oligoceno inferior.

5.3.8 Formación Honda (Tmh)

Se puede dividir en Honda Inferior constituida por intercalaciones de arcillolitas rojas, cafés rojizas y grises verdosas, interestratificadas con arenitas, algunas veces conglomeráticas, grises a grises verdosas y Honda Superior, conformada predominantemente por arenitas grises a blancas con algunas intercalaciones de lodolitas cafés rojizos a gris verdosas. Se depositó en ambientes fluviales, con facies de canal, abanicos de rotura (crevasses splay), llanura de inundación y lagos pantanosos. En algunos campos como Dina Terciarios es una formación productora.

5.3.9 Formación Gigante (Tpg)

Conformada por depósitos vulcanoclásticos provenientes de la actividad volcánica de la cordillera central durante el cuaternario temprano. Litológicamente está compuesta por tobas, aglomerados y rocas clásticas gruesas. El registro fósil de la formación Gigante es muy rico en restos vegetales y xilópalos, material carbonáceo y ocasionalmente restos óseos. Por dataciones radiométricas esta formación tiene una edad de 8 millones de años.

5.4 PETROLEO EN EL HUILA

El departamento del Huila por su ubicación geográfica y geológica es una región petrolífera y ocupa actualmente el tercer lugar en producción a nivel nacional.

A continuación se presenta una descripción general y geológica específica de los campos de la Subcuenca de Neiva.

5.4.1 Campo Dina Cretaceos

5.4.1.1 Generalidades²⁹

El campo Dina Cretáceos, DK, está localizado en la cuenca del Valle Superior del Magdalena, en la subcuenca de Neiva, a 15 kilómetros al norte de Neiva.

Fue descubierto en el año de 1969 por el pozo DK1, con una producción inicial de 154 BFPD y 6% de BSW, en el año de 1984 y finales de 1985 se efectuaron trabajos de recañoneo, limpiezas, estimulaciones y perforación de pozos (24 en producción) que permitieron incrementar la producción hasta 7100 BOPD. Al principio la presión del yacimiento disminuyó en un 60% con respecto a la presión inicial, por lo que se optó por la utilización de inyección periférica de agua.

En el 2004 se contó con un total de 18 pozos productores y 13 inyectores, ya que el pozo DK1 dejó de ser monitor de presión para funcionar como productor. Estos pozos reportaron una producción de 1492 BOPD, con un corte de agua del 63%. Actualmente pertenece a la superintendencia de operaciones Huila-Tolima (SOH) de la empresa ECOPETROL S.A.

5.4.1.2 Interpretación Estructural³⁰

El Campo Dina- Cretáceos está sobre un Anticlinal elongado, asimétrico, fallado en su flanco oriental (snake head anticline), cuyo eje tiene una dirección principal NW-SE, con cabeceo tanto al norte como al sur. Hacia el Flanco Occidental se encuentra limitado por una falla de “Backthrust” de la falla principal la cual no constituye límite del yacimiento. La falla principal denominada falla DK-PG, es de cabalgamiento (thrust fault), con vergencia este, a la cual se encuentran asociadas una serie de fallas satélites de igual vergencia, que afectan el costado oriental del anticlinal. Los pozos en los cuales fue posible identificar la falla DK-PG son el DK-32 afectando la Formación Guaduala, DK-30 afectando la Formación Monserrate, y en el pozo DK-1 afectando la Formación Villeta.

²⁹ Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Dina Cretáceos.

³⁰ Muñoz, H.I., Barrios, W., Ordoñez, A., y Carrillo, R., 2003. Screening Eor Campos de la Gerencia del Alto Magdalena (GAM- ECP)- Fase II, Evaluación Analítica del Proceso WAG (inyección alternada de agua- gas) Campo Dina-Cretáceos. Instituto Colombiano del Petróleo, División de Disciplinas Profesionales. Piedecuesta, Colombia.

5.4.2 Campo Brisas

5.4.2.1 Generalidades³¹

El campo Brisas se encuentra ubicado en la jurisdicción del municipio de Aipe, departamento del Huila, aproximadamente a 20 Km al norte de la ciudad de Neiva y cubre un área aproximada de 7 Km². Pertenece al bloque de la Antigua Concesión Neiva-540. Actualmente pertenece a la Superintendencia de operaciones Huila- Tolima (SOH) de la empresa ECOPETROL S.A. El campo fue descubierto por la compañía Tenneco en 1973 con la perforación del pozo Brisas-1, el cual probó la formación Monserrate. Entre 1975 y 1989 se perforaron 7 pozos más a una profundidad promedio de 3600 pies. Dos de estos pozos, el BR-3 quedó fuera de la estructura y produjo agua y el BR-7 no encontró la zona productora de la Formación Monserrate, posiblemente por estar erosionada por la discordancia de Oligoceno.

5.4.3 Campo Pijao

5.4.3.1 Generalidades³²

El campo Pijao se encuentra en la cuenca del Valle Superior del Magdalena, específicamente en el área de Neiva. Fue descubierto en el año de 1981 por el pozo Pijao-1, por la compañía Shell-Hocol S.A. con una producción inicial de 367 BOPD, provenientes de las areniscas superiores de la Formación Monserrate. Pertenece al bloque de la antigua concesión Neiva 540. Actualmente pertenece a la Superintendencia de operaciones Huila-Tolima (SOH) de la empresa ECOPETROL S.A.

5.4.3.2 Interpretación Estructural³³

A partir de la interpretación de los registros de buzamiento, y con base en la observación sísmica y los datos de producción, se definieron dentro del Campo Pijao cinco fallas mayores y cuatro escamas o bloques limitados por dichas fallas. El Bloque Occidental limitado al occidente por la Falla Cebú - Pijao y al oriente por la Falla Pijao - 1, el Bloque Central limitado por la Falla Pijao - 1 al occidente y por las Fallas Pijao - 2 y Pijao - 2a al nor - oriente y sur - oriente respectivamente, El Bloque Oriental limitado por la Falla de Pijao al oriente y la Falla Pijao - 2 al occidente, y el Bloque Sur limitado por las Fallas Pijao - 2a y Pijao - 2 al occidente y oriente respectivamente.

5.4.4 Campo Santa Clara

³¹ Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Brisas.

³² Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Pijao.

³³ Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Pijao.

5.4.4.1 Generalidades³⁴

El Campo Santa Clara se encuentra localizado en la jurisdicción del Municipio de Palermo, Departamento del Huila, en el área de la antigua concesión Neiva – 540 (subcuenca de Neiva) del Valle superior del Magdalena, actualmente Superintendencia de Operaciones Huila – Tolima (SOH) de Ecopetrol S.A., aproximadamente a unos 6 kilómetros al noreste (NW) de la ciudad de Neiva.

El Campo Santa Clara fue descubierto por la compañía Tenneco en 1987 con la perforación del pozo SC-01, cuya producción inicial fue de 240 BOPD. Desde su descubrimiento en 1987 el campo fue operado por la Compañía Hocol y Shell. En 1994 Ecopetrol asumió la operación de varios campos del área (Bloque 540).

5.4.4.2 Interpretación Estructural³⁵

El modelo estructural basado en la interpretación del programa sísmico 3D realizada por las Gerencias de Yacimientos y Alto Magdalena, presenta un modelo, en donde se define la estructura del campo como un anticlinal asimétrico elongado cuyo eje tiene una dirección principal norte-sur, con cabeceo tanto al norte como al sur. El anticlinal tiene 5.5 Km de largo y 2.7 Km de ancho. El cierre máximo es de 800 pies medidos entre los contornos estructurales de -200 y -1000.

Hacia el flanco Occidental el anticlinal se encuentra limitado por la Falla de Santa Clara, un back-thrust de la falla regional de San Francisco. El flanco oriental posee cierre propio. La estructura del campo muestra que el buzamiento de su flanco Oeste es de 6° menor que al Este en donde alcanza los 9°.

De la falla de Santa Clara se desprenden varias fallas inversas (satélites), con orientación preferencial SW-NE-E, de carácter sellante, generando varios bloques dentro del campo y por lo tanto controlando el desplazamiento de los fluidos dentro del mismo.

5.4.5 Campo Dina Terciarios

5.4.5.1 Generalidades³⁶

El Campo Dina Terciarios está localizado en la Cuenca del Valle Superior del Magdalena, en la Sub-cuenca de Neiva a unos 17 kilómetros al norte de la capital del departamento del Huila, la cual tiene un rumbo Noreste, y está limitada en sus dos flancos por frentes de falla de las Cordilleras Central y Oriental.

³⁴ Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Santa Clara.

³⁵ Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Santa Clara.

³⁶ Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Dina Terciario.

Actualmente pertenece a la Superintendencia de operaciones Huila – Tolima (SOH) de la empresa ECOPEPETROL S.A. y es operado por la compañía Petrominerales.

El Campo Dina Terciarios (Campo DT) fue descubierto en el año 1961, dentro de la Concesión Neiva 540, por las compañías Intercol, Tenesse Colombia y Colbras con la perforación del pozo Dina-1 el cual fue completado en mayo de 1961. El pozo Dina-2 fue completado en febrero de 1963, y en marzo de 1963 se perforó el pozo Dina-3, por lo que la producción inició en 1963 de las areniscas de la Formación Honda (Terciario-Mioceno) y alcanzó el pico máximo de producción de aceite en octubre de 1983 con 7361 STB/D.

El desarrollo del campo fue lento. Durante los primeros años de producción, década del 60, solo se perforaron 15 pozos y durante la década del 70 fueron perforados 6 pozos. En la década del 80 se llevó a cabo la campaña de perforación para desarrollar el campo, fueron perforados 56 pozos. Durante los años 2003 y 2004 se perforaron 8 pozos más dentro del Contrato de Producción Incremental (CPI) perteneciente a PETROMINERALES COLOMBIA Ltda. Inicialmente, algunos de los pozos produjeron por flujo natural, posteriormente, se pasó a un sistema de levantamiento por bombeo mecánico y PCP, los cuales se mantienen en la actualidad.

5.4.5.2 Interpretación Estructural³⁷

Estructuralmente el Campo Dina Terciario a nivel de la Formación Honda corresponde a un anticlinal con dirección Norte-Sur. El anticlinal tiene cierre propio y se encuentra dividido en bloques por dos fallas inversas que corresponden a back thrust de la localizada hacia el este del Campo. Cada bloque tiene sus particulares comportamientos de mecanismos de producción y sus diferentes niveles de contactos de fluidos. Igualmente se identifica una falla con rumbo Este-Oeste al norte del campo.

5.4.6 Campo Tenay

5.4.6.1 Generalidades³⁸

El campo Tenay se encuentra localizado en el área de la ex – concesión Neiva-540 (Subcuenca de Neiva), actualmente Gerencia Alto Magdalena de Ecopetrol, al norte de la ciudad de Neiva (Huila) en la cuenca del Valle Superior del Magdalena. Fue descubierto en el año de 1985 por el pozo Tenay-1, por la compañía Hocol S.A. con una producción inicial de 1800 BOPD, provenientes de las areniscas superiores de la Formación Caballos (UKB). Pertenece al bloque de la antigua

³⁷ Superintendencia de Yacimientos y Producción, 2008. Balance de Reservas Campo Dina Terciarios.ppt.

³⁸ Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Tenay.

concesión Neiva-540. Actualmente pertenece a la Superintendencia de Operaciones del Huila- Tolima (SOH) de la empresa ECOPETROL S.A.

En 1987 se perforo el pozo Tenay-2, produciendo 1465 BOPD, y luego el Tenay-3 con una producción de 1083 BOPD. Luego en 1988 se perforo el pozo Tenay-4 el cual resulto seco por quedar fuera de la estructura pero limito el yacimiento hacia el este y no encontró las areniscas de la formación Caballos, ausentes por fallamiento. En 2007 se perforaron 3 pozos.

5.4.6.2 Interpretación Estructural³⁹

El campo Tenay corresponde a una trampa estructural formando un monoclinal producto de la falla inversa de Tenay, que lo limita al este. Al oeste el yacimiento está limitado por un contacto agua-petróleo hipotético (sistema de fallas tipo Backtrust que permiten la compartamentalización del yacimiento), punto donde la estructura se horizontaliza para levantarse nuevamente. Los lineamientos en dirección SW-NE, permiten separación de bloques en el yacimiento.

Desde el punto de vista geológico el yacimiento se encuentra dentro de un sistema estructural tipo compresivo, definido por el sistema de la falla de cabalgamiento Dina - Cretáceo – Palogrande que en las cercanías del campo Tenay corresponde a la falla de Tenay. Este cabalgamiento inicialmente tuvo un gran desplazamiento a lo largo de superficie de despegue a nivel de la Unidad de Caballos Medio y sólo la Unidad de Caballos Superior fue llevada a la posición de bloque colgante acuñándose contra la Formación Villeta de carácter sellante, formándose así la respectiva trampa.

5.4.7 Campo Palogrande-Cebu

5.4.7.1 Generalidades⁴⁰

El campo Palogrande-Cebú, operacionalmente denominado PG-CB, está localizado en el departamento del Huila a 10 Km. Al norte de la ciudad de Neiva, geológicamente hace parte de la cuenca del valle Superior del Magdalena, en la Subcuenca de Neiva. Pertenece a la Superintendencia de operaciones Huila-Tolima (SOH) de la empresa ECOPETROL S.A. El pozo PG-1, perforado en 1964 con el objeto de probar la formación Monserrate (K-4) en la estructura Palogrande, no alcanzo el objetivo por problemas mecánicos. El campo Palogrande fue descubierto en 1971 por el pozo PG-2, perforado cerca al anterior, este pozo produjo con bajo potencial y de cerro.

³⁹ Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Tenay.

⁴⁰ Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Palogrande-Cebú.

El desarrollo del Campo comenzó en 1980 con una perforación agresiva de 25 pozos hasta 1982 cuando se obtuvo un máximo de producción de 10200 BOPD. El campo Cebú se consideró inicialmente separado del campo Palogrande, pero a medida que se fueron perforando pozos de avanzada se definió que era un solo Campo.

5.4.7.2 Interpretación estructural⁴¹

El campo (CB), (PG) corresponde a una trampa de tipo estructural de anticlinal asimétrico fallado inversamente con una componente estratigráfica representada por la discordancia angular del Eoceno-Oligoceno que provocó erosión de la parte superior de la Formación Monserrate, poniendo en contacto arenas de la Formación Monserrate con arenas basales de la Formación Barzalosa las cuales aportan producción en algunos pozos.

La estructura de los campos PG, CB y los asociados (DK y PJ), al nivel de la Formación Monserrate, corresponden a anticlinales de rumbo principal NS, limitados en su flanco oriental por fallas inversas. Para el campo PG, la falla inversa principal que lo limita al oriente se denominó Tenay-Palogrande. El anticlinal está compartimentalizado por el efecto de una serie de retrocabalgamientos de dicha falla que ocasionan en general desplazamientos de poco salto (20 - 50 pies en promedio) pero que dislocan los bloques reflejándose en cambios en el buzamiento de las capas y se relevan el salto de falla de occidente a oriente y de sur a norte

La falla principal, Tenay-Palogrande CB-PG, posee una vergencia oriental y corresponde a un sistema de fallas que se extiende de sur a norte y que constituye el límite oriental de los campos mencionados, PJ, CB, PG y DK; posee su despegue generalmente en la secuencia de lodolitas de la Formación Villeta, pero este varía de sur a norte incluyendo o no la Formación Caballos en su bloque levantado.

La falla Tenay-Palogrande en el sector del CB-PG da origen a una falla satélite que es generalmente constante a lo largo del campo, esta falla es denominada ICP-Splice PG-CB, posee su despegue en la secuencia de lodolitas de la Formación Villeta y crea a través del campo PG una zona de imbricados.

En el área de estudio los retrocabalgamientos de mayor importancia son los denominados ICP-Backthrust-Tenay-5 e ICP-Backthrust-Tenay-4, que separan las estructuras de los campos de PG – CB y PG – DK respectivamente. Están relacionados a la Falla satélite o a Tenay-Palogrande directamente, y su presencia en la estructura responde a falta de espacio para encajar la deformación de vergencia oriental.

⁴¹ Ecopetrol-ICP. Informe: Interpretación Estructural Campo Palogrande-Cebú V.S.M.

5.4.8 Campo Hato Nuevo

5.4.8.1 Generalidades⁴²

El campo Hato Nuevo se encuentra ubicado en el Departamento de Huíla, al noroeste de la Ciudad de Neiva, a 30 kilómetros por la vía al Municipio de Villavieja. Fue descubierto en mayo de 1984 con la perforación del pozo HN-01, con una producción inicial de 1200 BFPD y un corte de agua de 0.4% de BSW. El campo fue desarrollado con la perforación de cuatro pozos más, uno de los cuales salió seco (Hato Nuevo 5). El pozo HN-02 fue perforado en agosto de 1984, el HN-03 en septiembre de 1984, el HN-04 en octubre de 1984 y el HN-05 en noviembre de 1984. Los pozos HN-03 y HN-04 fueron cerrados prematuramente por alta producción de agua. Actualmente el campo se encuentra inactivo y su última producción fue del orden de 50 BOPD de aceite liviano de 34°API y 98% de producción de agua, proveniente de la Formación Caballos, a través de 2 pozos productores, Hato Nuevo 1 y Hato Nuevo 2.

Con la nueva información sísmica 3D se adelantó la Evaluación Integrada de Yacimientos, obteniendo como resultado expectativas de reservas no comerciales. Los resultados anteriores y el alto costo de producción (US\$/BI 40), llevo a la Gerencia a el cierre temporal del Campo a partir de Enero de 1999, con unas reservas Probadas Desarrolladas de 0.13 Mbls.

5.4.8.2 Interpretación Estructural

El tipo de estructura es el denominado de cabalgamiento, teniendo sello lateral la Formación Villeta. Esta estructura corresponde a una imbricación del sistema de deformación característico en el flanco oriental del bloque Neiva.

El Campo Hato Nuevo se encuentra dentro de un sistema estructural de tipo compresivo, definido por el sistema de la falla de cabalgamiento Dina-Cretáceo-Palagrande que en las cercanías del campo Hato Nuevo corresponde a la falla de Hato Nuevo. Este cabalgamiento inicialmente tuvo un gran desplazamiento a lo largo de una superficie de la unidad Inferior de la Formación Caballos, acuniéndose contra la Formación Villeta de carácter sellante, formándose así la respectiva trampa. El Campo Hato Nuevo estructuralmente corresponde a un monoclinal limitado al este por la Falla de Hato Nuevo y al oeste por un contacto agua/petróleo.

⁴² Ecopetrol GAM. Ficha Técnica del campo Hato Nuevo.

5.5 ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS EN LA SUBCUENCA DE NEIVA

En la subcuenca de Neiva existen extensas zonas en donde afloran rocas ígneas intrusivas, que han sido agrupadas bajo diferentes nombres estratigráficos, debido a que en muchas ocasiones no existe continuidad física entre los afloramientos o presentan diferencias composicionales y texturales. La casi totalidad de estos cuerpos plutónicos son considerados como del Jurásico, por algunas dataciones radiométricas realizadas por el Ingeominas y empresas privadas, así también por relaciones estratigráficas o similitud y continuidad con regiones próximas.

Dentro del proyecto de investigación “Reconocimiento Geológico y Petrográfico de las rocas ígneas intrusivas del jurasico y su relación con la formación Saldaña en el Alto Magdalena Colombia.”, se realizo como parte de este una recopilación bibliográfica de los cuerpos intrusivos y con apoyo de este trabajo de tesis fue unificada la nomenclatura estratigráfica (ver tabla 4 y 5). En el mapa “AFLORAMIENTOS DE LA FORMACION SALDAÑA E INTRUSIVOS EN EL VALLE SUPERIOR DEL RIO MAGDALENA SUBCUENCA NEIVA”, que se encuentra el final de documento como anexo, se muestra la cartografía unificada de los cuerpos intrusivos presentes en la subcuenca de Neiva.

5.6 BATOLITO DE IBAGUE (Jib, TJKi)⁴³

El batolito de Ibagué se extiende a lo largo de departamento del Huila contiguo a la cordillera central con afloramientos desde el sur en el municipio de La Plata hasta el límite con el departamento del Tolima en el norte. Los afloramientos ubicados más al norte en el departamento del Huila, se localizan por las carreteras los Guasimos-Paraguay-San Luis, Los Guasimos-Santa Maria-Gaitana (Tolima). Otras vías con buenas exposiciones del intrusivo son Iquira-Rio Negro y La Plata-Belarcazar (Cauca); en este último trayecto se observan afloramientos, a manera de xenolitos de rocas metamórficas proterozoicas, dentro del intrusivo. La cartografía geológica realizada por el INGEOMINAS permitió identificar la continuidad física de varios de los afloramientos para establecer este gran intrusivo el cual se estudio en un principio en el departamento del Tolima por Nelson (1953;1962) y las rocas plutónicas descritas como Batolito del Páez (Hubach y Alvarado, 1932), Macizo de la Plata-La Topa (Grosse, 1930;1935) y pluton granitoide de la Plata (Álvarez y Linares, 1983), por lo cual Núñez (1998a), recomienda mantener el nombre de Batolito de Ibagué.

Las rocas que constituyen el Batolito de Ibagué son de composición variada, entre granitos y tonalitas, donde dominan las composiciones intermedias que corresponden a tonalitas y granodioritas y subordinadamente monzogranitos,

⁴³ Vargas, Roberto. *Huila ígneo. Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería.*

cuarzodioritas y cuarzomonzonitas, con color blanco-grisáceo dominante, moteado de negro por los ferromagnesianos. La textura es fanerítica medio a grosogranular, generalmente inequigranular. Los minerales félsicos son cuarzo (6-20%), plagioclasa (50-85%) de composición intermedia (andesina-oligoclasa) y feldespato potásico (5-40%); los máficos son hornblenda y biotita, que varía entre 5 y 10% del total de la roca, y ocasionalmente piroxeno (augita); alguno de ellos predomina por sectores no muy bien establecidos. Apatito, circón, esfena y opacos son los minerales accesorios más frecuentes; los secundarios son calcita, saussurita, clorita, epidota y leucoxeno. El Batolito de Ibagué es cortado por diques de composición cuarzofeldespática, andesítica y dacítica. Los primeros tienen texturas aplíticas, ocasionalmente pegmatíticas, y algunas veces forman pequeños cuerpos como se observa por la carretera Aleluya-San Luis. Los diques andesíticos y dacíticos son de color verde a gris, textura fanerítica fina, afanítica a porfirítica con mineralogía de plagioclasa, hornblenda, piroxeno, algunas veces biotita, cuarzo y feldespato potásico.

5.7 FORMACIÓN SALDAÑA (Jsa)⁴⁴

Rocas triásico- jurásicas volcano-sedimentarias del Valle Superior del Magdalena fueron designadas inicialmente como Formación Saldaña por Cediél et al. (1980, 1981), para remplazar el nombre dado por Renz en Trumphy (1943) y Nelson (1959, en Julivert, 1968) de Formación Post-Payandé; con base en relaciones geológicas y similitud litológica, se mantiene el nombre de Formación Saldaña.

Las zonas donde aflora la formación Saldaña se presenta en los municipios de Aipe, Neiva, Santa María, Villa Vieja, La Plata, Tesalia, Elías, Pital, La Argentina, Hobo, Oporapa.

La formación Saldaña está compuesta litológicamente por rocas volcánicas tipo riolitas, dacitas, andesitas y piroclásticas como, tobas, aglomerados volcánicos y esporádicamente niveles de rocas sedimentarias clásticas, se presenta de manera casi continua en los piedemontes de la cordillera central y oriental del Huila.

Para el departamento del Huila y con base en el análisis textural y petrográfico de las rocas de la formación Saldaña se puede concluir que los piroclastos fueron depositados por la continua erupción de grandes volcanes emitiendo flujos de lava, oleadas y caída de cenizas, y están interdigitados con flujos de escombros relacionándolos con la parte media a distal de grandes focos volcánicos correspondientes a grandes estratovolcanes continentales relacionados con la evolución de márgenes convergentes, en donde la acumulación se desarrollo en dominio de retroarco.

⁴⁴ INGEOMINAS, Formación Saldaña.

5.8 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las principales fallas asociadas a yacimientos en el basamento son las fallas conocidas como Thrust (fallas inversas o de empuje). Estas resultan de las fuerzas complejionales que implican el acortamiento o alargamiento horizontal de la corteza terrestre. El ángulo del plano de falla con la horizontal puede variar desde algunos grados hasta 90° y pueden ser reconocidas en el subsuelo por repetición de secciones estratigráficas en pozos perforados a través del plano de falla. La ocurrencia de estas trampas estructurales contra una falla depende del sello que brinde el plano de falla a la roca porosa reservorio que prevenga la migración a través o a lo largo del plano de falla⁴⁵.

Las formaciones fracturadas usualmente están causadas por deformaciones locales, fallamiento y plegamiento, o por reducción de la sobrecarga lo que permite la expansión de la roca subyacente, y compactación diferencial. Las rocas frágiles son comúnmente afectadas debido a su inelasticidad. En varios casos, puntos de rotación, fracturas, y fisuras, se modifican y combinan con la porosidad primaria y secundaria para brindar grandes y efectivas porosidades y permeabilidades en un reservorio. La producción en algunos casos es obtenida de rocas ígneas o metamórficas como resultado del fracturamiento. Las fracturas proveen un espacio en el yacimiento, así como la permeabilidad necesaria para la migración, acumulación y producción de aceite y gas. Para que una trampa ocurra en una formación fracturada, esta debe ser superpuesta por una roca más flexible o menos frágil, la cual no pueda ser fracturada por la deformación. De otra manera, la migración puede ocurrir hacia arriba a través de las fracturas y no se formaría una trampa.⁴⁶

Cuando el fallamiento causa las fracturas, la producción es limitada a una banda estrecha a lo largo de la falla. Cuando el plegamiento o otras deformaciones han causado el fracturamiento, el yacimiento puede ser muy complejo en su forma y en el comportamiento de la producción. Generalmente, las áreas de grandes deformaciones tienen un gran número de fracturas, las cuales resultan en un mejor comportamiento del pozo y un mayor recobro de hidrocarburos.⁴⁷

Las fallas presentes y asociadas al basamento son las estructuras geológicamente más importantes y que inciden directamente en el entrapamiento de los hidrocarburos. Foto geológicamente se pueden determinar dos patrones de fallamientos asociados al área de trabajo:

El patrón de fallas de dirección N-S a NE-SW y correspondientes a las fallas inversas de los sistemas Garzón-Suaza al oriente y Chusma-Teruel al occidente;

⁴⁵ Tomado de Chapter 29. Petroleum reservoirs traps. Raymond T. Skirvin, Brian E. Ausburn, J.R. Butler and CO.

⁴⁶ Tomado de Chapter 29. Petroleum reservoirs traps. Raymond T. Skirvin, Brian E. Ausburn, J.R. Butler and CO.

⁴⁷ Tomado de Chapter 29. Petroleum reservoirs traps. Raymond T. Skirvin, Brian E. Ausburn, J.R. Butler and CO.

asociadas a este sistema de fallas se encuentra gran número de fracturas de tipo normal, inverso y de rumbo entre las cuales sobresalen la falla de Buenavista, falla de Dina, falla de Bache, falla de Baraya y la falla de Fortalecillas entre otras.

El patrón de fallamiento SE-NW a E-W es de tipo secundario y se asocia al patrón de fallamiento principal N-S, en este sobresalen la falla de Palogrande que afecta a Fortalecillas y el lineamiento que pasa por el casco urbano de Neiva con una dirección N50W y una longitud de 19 Km. Se observa desde el Sureste de la ciudad hasta la desembocadura del río las Ceibas.

5.8.1 Falla de Chusma y frentes de cabalgamiento asociados.

Esta falla y los frentes de cabalgamiento asociados a ella, tienen vergencia hacia el oriente y trazos irregulares, los cuales llegan a ser fallas de carácter regional como la falla de San Francisco al norte y la falla de Buenavista al sur, esta última con rocas cretácicas y haciendo que estas cabalguen sobre las sedimentitas del Paleógeno y Neógeno. Otro frente de cabalgamiento pero de menor magnitud, estructurando solo el terciario en superficie, se presenta en la parte meridional del área de estudio, cuya acción y desarrollo en conjunto con la Falla de Chusma propiamente dicha, produce el par sinclinal/anticlinal asimétricos, que se desarrolla justo en frente de él.

En superficie el trazo principal de esta falla en la zona comprendida entre Teruel e Íquira varía entre N15E a N50E con ángulos de inclinación altos que oscilan entre los 40 y 60 grados al NW. En el bloque colgante se observan estructuras destrales asociadas al sistema de diaclasas principal con orientación N40E/50NW. Una de las características más importantes registradas en las líneas sísmicas es la variación del ángulo de buzamiento de la falla que en superficie es verticalizado y hacia profundidad se horizontaliza hasta unos 20 grados de inclinación. También se puede observar el cabalgamiento de la secuencia precretácica sobre la cobertura sedimentaria.

5.8.2 Falla de Santa Clara.

Corresponde a una falla de cabalgamiento con rumbo N-S y buzamiento al este. Hacia el este del campo Santa Clara, esta falla alcanza a afectar el intervalo terciario poniendo en contacto rocas del basamento (Formación Saldaña) y del Cretáceo (Formaciones Caballos y Villeta) con las formaciones Barzalosa y Honda.

5.8.3 Falla de Buenavista.

Dirección aproximada N35E, girando para volverse casi NS. Buza al oeste. Su traza se localiza al occidente de Neiva a una distancia mínima de 2,5 km

aproximadamente. Pone en contacto rocas de la cobertura productiva con la formación Saldaña.

5.8.4 Falla de Baché.

Su traza se ubica a aproximadamente 5 km al occidente de Neiva. Tiene una dirección muy variable desde casi NS al frente de Neiva, girando hasta N60E al sur (frente a zona de Matamundo). Pone en contacto rocas terciarias y cretácicas, o rocas terciarias entre sí.

5.8.5 Falla de San Francisco.

Dirección aproximada NS a N20E. Su traza se ubica aproximadamente a 15 km al occidente de Neiva. Pone en contacto rocas terciarias y rocas cretácicas.

5.8.6 Secciones estructurales Teruel-Íquira.

Hasta el momento no se conocen trabajos de campo en el área de la geología estructural publicados oficialmente para los piedemontes de la cordillera Central y Oriental a excepción de los trabajos realizados por el INGEOMINAS a escala 1:100.000 y algunos trabajos de pregrado de universidades colombianas con enfoque al petróleo.

En esta área y de acuerdo a la interpretación de líneas sísmicas se observa el basamento cabalgando sobre la cobertura sedimentaria y todo el sistema del thrust generando retrocabalgamientos.

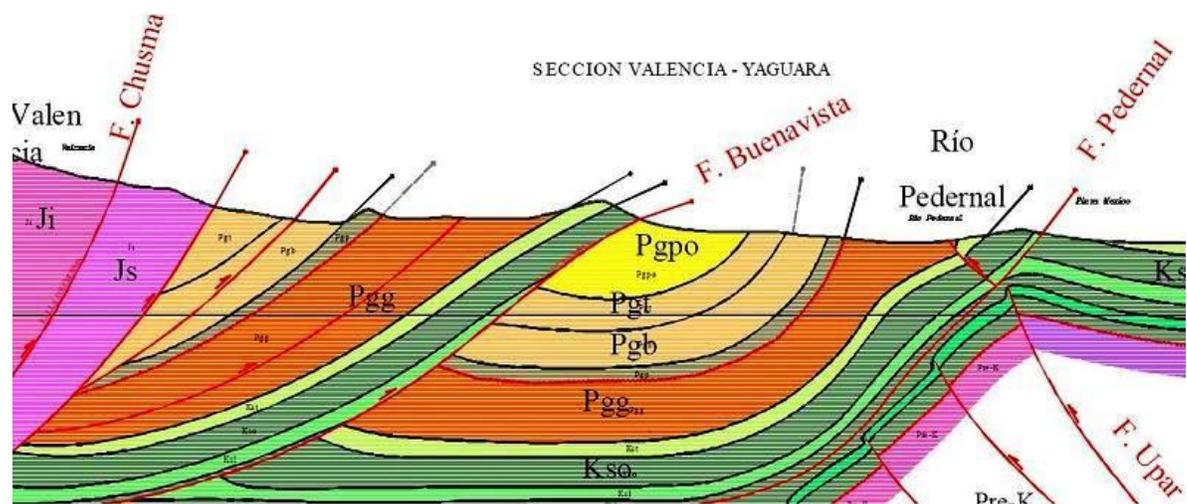


Figura 7. Corte estructural del Valle Superior del Magdalena.

Fuente. Blanco, Mauricio Alberto. Geología estructural del piedemonte oriental de la cordillera central entre los municipios de Yaguara y Palermo, valle superior del Magdalena. 2002.

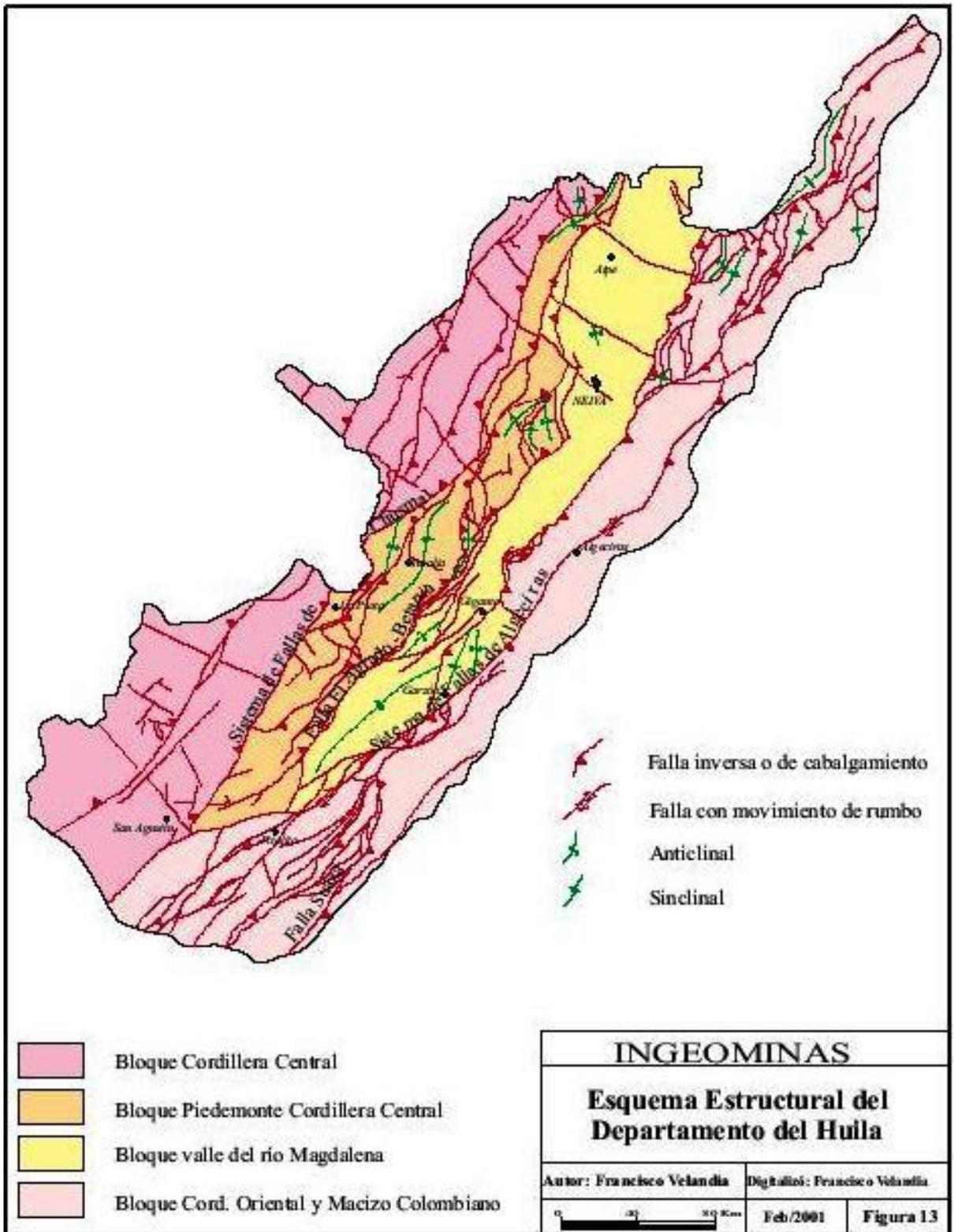


Figura 8. Mapa estructural del Huila mostrando el patrón estructural del fallamiento asociado al basamento

Fuente. Instituto colombiano de geología y minas INGEOMINAS

5.8.7 Discordancia precretácica.

En el área comprendida entre Teruel, Íquira Pacarni y Tesalia fue seguido el trazo de la discordancia pre-aptiana, la cual morfológicamente es bastante notoria, siendo diferenciable un sector norte (Teruel Íquira) y un sector sur (Pacarni - Tesalia) y Nataga.

En el sector norte se presenta comúnmente entre las rocas intrusivas de la llamada cuarzomonzonita de Teruel y las rocas sedimentarias de la formación Caballos con un rumbo general de N35E, el contacto es neto y generalmente genera cizallamiento débil. En ningún punto se observó registro de la formación Yavi ni el miembro inferior de la formación Caballos. La disconformidad presenta características de permeabilidad lo que permite la migración de fluidos a lo largo de ella.

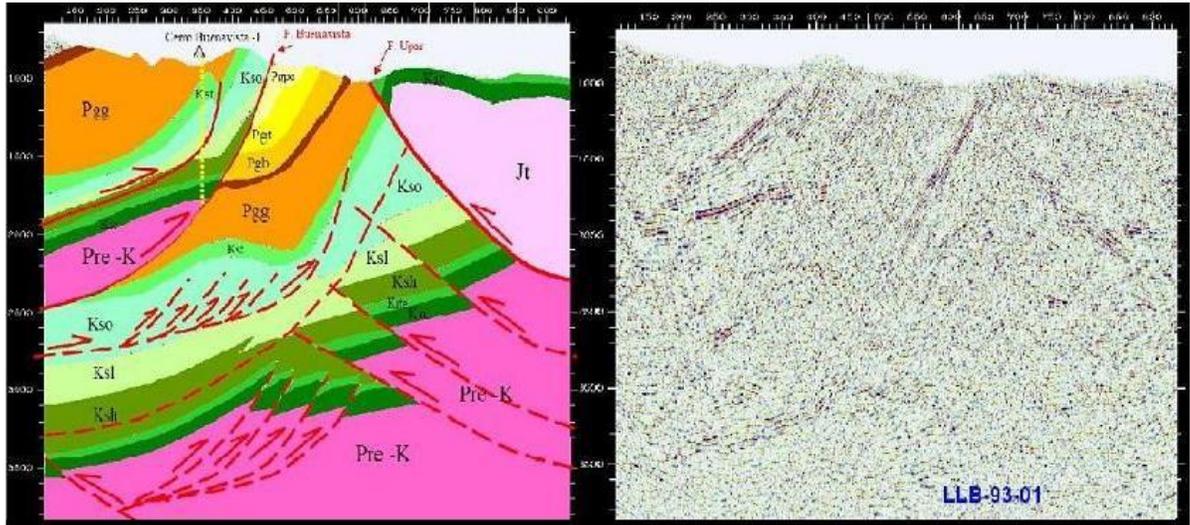


Figura 9. Corte estructural de la sección Yaguara donde se observa el intrusivo cabalgando sobre el sedimentario.
Fuente. Blanco, Mauricio Alberto. *Geología estructural del piedemonte oriental de la cordillera central entre los municipios de Yaguara y Palermo, valle superior del Magdalena.* 2002.

En el sector sur entre las regiones de Pacarni y Tesalia La discordancia presenta un rumbo de N25-30E y se presenta entre rocas de la formación Saldaña con el Caballos medio y el cual normalmente se encuentra plegado.

En las secciones sísmicas realizadas es claro el trazo de esta discordancia a una profundidad mayor de 2000 metros por debajo del nivel del mar y de formas horizontales por debajo del sistema de thrust de Chusma Teruel.

La secuencia cretácica asociada a la discordancia en general se presenta como un gran monoclinial con buzamientos entre 20 y 30° hacia el oriente conformando largas pendientes estructurales. En las zonas aledañas al contacto discordante

tanto en las rocas precretácicas como en la formación Caballos fueron identificados sectores con disolución química generando porosidad.

5.8.8 Zona de cizalla de Teruel.

Dentro de las secciones analizadas fue reconocida la denominada zona de cizalla de Teruel la cual corresponde al trazo de una falla de rumbo de tipo dextral con desplazamientos no mayores a los 50 metros. La zona reconocida de esta estructura fue dentro del intrusivo de Teruel y parte de la formación Caballos y en general se presenta como una zona de alto fracturamiento con un rumbo preferencial de N80E a localmente EW y en la cual a lo largo de su trazo es común dentro del intrusivo la presencia de diques basálticos con espesores de hasta 20 metros desplazados por pequeñas fallas y mineralizados localmente con piritita. La presencia de fallas de tipo distensivo oblicuas a la zona de cizallamiento desplazando depósitos recientes y el alto grado de fracturamiento y lineamientos asociados a drenajes muestran esta zona como activa tectónicamente.



Figura 10. Fotografía discordancia entre el cordón montañoso de la formación Caballos superior y la formación Saldaña.

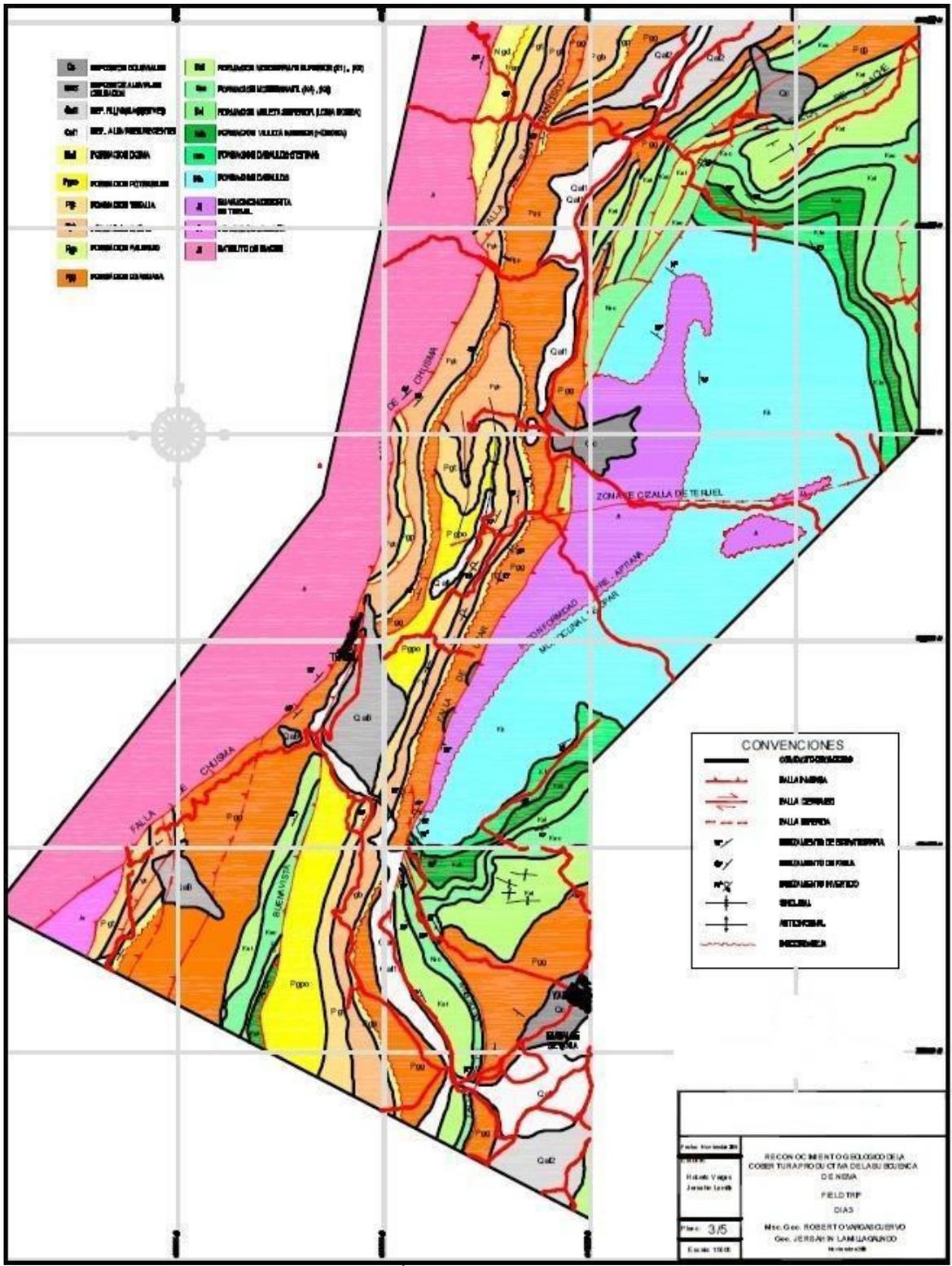


Figura 11. Mapa geológico de la sección Yaguara - Iquira mostrando la distribución del basamento. Fuente: Blanco, Mauricio Alberto. Geología estructural del piedemonte oriental de la cordillera central entre los municipios de Yaguara y Palermo, valle superior del Magdalena. 2002.

6. RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Para el presente proyecto y como parte de los objetivos de las investigaciones realizadas por el grupo de investigación ECOSURC, fueron reconocidas seis secciones geológicas, tanto de las rocas volcano-sedimentarias de la formación Saldaña como de los cuerpos intrusivos. A continuación se describen las secciones geológicas reconocidas:

Como parte del trabajo de campo se hizo una recolección de muestras, como soporte físico, con las cuales se desarrollo una completa descripción petrográfica de cada roca, determinando su composición mineralógica y clasificación. Teniendo las muestras debidamente clasificadas y rotuladas con la sigla PJ y un numero, se procedió a conformar un cuadro donde se muestran las principales características a tener en cuenta, tales como coordenadas, localización, análisis, origen, formación, datos estructurales, descripción y clasificación.

La descripción detallada de la muestras se puede consultar en el anexo petroográfico, capítulo 9.

6.1 FORMACION SALDAÑA

Los sectores reconocidos de la formación Saldaña que se encuentran localizados en departamento del Huila dentro de los municipios de Íquira, Santa María, Villavieja, Hobo, (Ver figura 19), de los cuales fueron realizadas las siguientes secciones:

Secciones Estratigráficas de la formación Saldaña:

1. Sector de la cuenca alta del rio Bache. Municipio de Santa María.
2. Sector de la loma la Becerrera y el cerro Tenerife. Municipio de Villavieja.
3. Sector de la quebrada el Hobo. Municipio de Hobo.
4. Sector de quebrada Grande. Municipio de Íquira.

6.2 SECTOR DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BACHE MUNICIPIO DE SANTA MARIA

Esta sección fue levantada por la carretera que de Santa María conduce a Palermo, el espesor real medido fue de 430 metros, aunque el grado de tectonismo y metamorfismo a que fueron sometidas las rocas de la Formación Saldaña a causa de la falla de corozal y la intrusión del batolito enmascaran parcialmente el patrón deposicional de estas rocas.

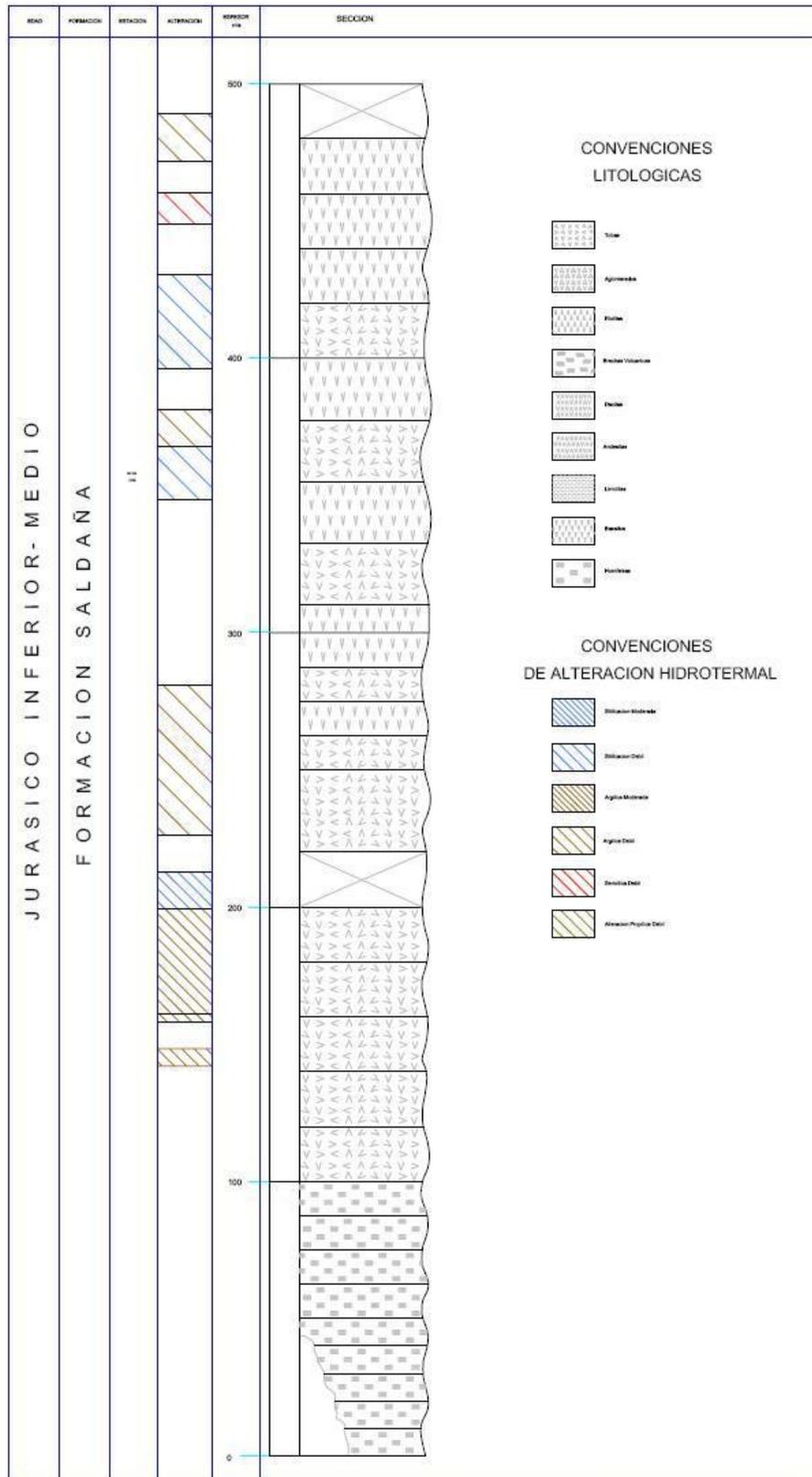


Figura 12. Columna estratigráfica cuenca alta río Bache. Municipio de Santa María.

En general la secuencia está conformada por hornfelsas silíceas provenientes del metamorfismo de contacto de tobas soldadas de colores gris claro a oscuro localmente silificadas y con alteración potásica manifestada por la presencia de biotita secundaria, con intercalaciones de flujos riolíticos y dacíticos de color verde, gris oscuro o violeta; presentando amígdalas rellenas de calcita, calcedonia y clorita y algunas venillas de epidota, calcita y cuarzo.

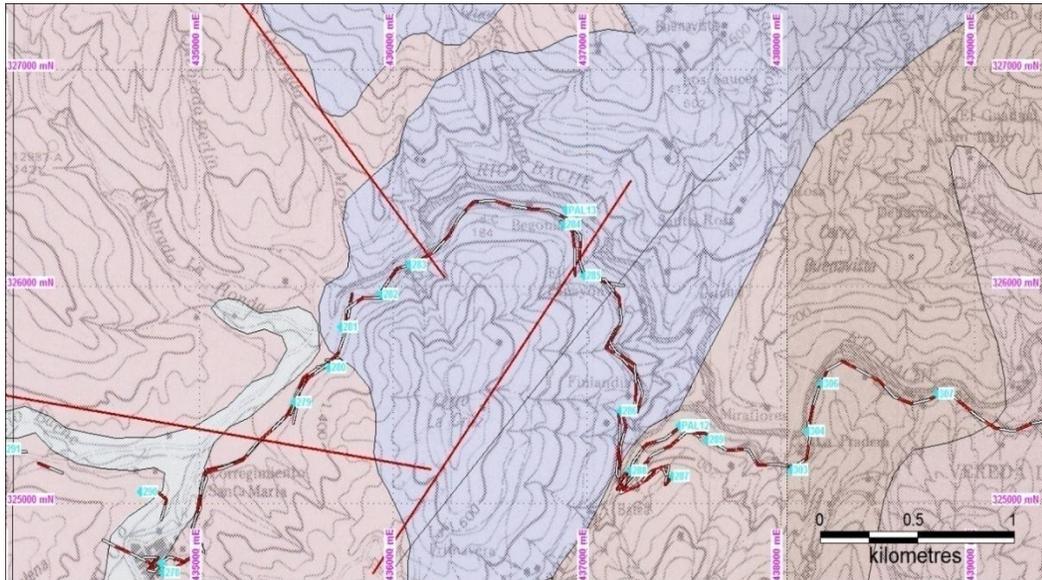


Figura 13. Mapa mostrando el sector levantado en la cuenca del río Bache.

6.3 SECTOR DE LA LOMA LA BECERRA Y EL CENTRO TENERIFE MUNICIPIO DE VILLAVIEJA

Esta sección fue reconocida por los cauces afluentes a la quebrada la arenosa y que cortan la loma la Becerrera y fueron levantados 700 metros de la secuencia estratigráfica aflorantes. En general domina una secuencia de flujos riolíticos cortados en su base por un cuerpo hipoabisal de rocas ígneas de color gris café oxidados muy fracturados, de textura porfiritica y con grandes cristales de plagioclasa en una matriz afanítica. Los primeros 50 metros corresponden a flujos riolíticos de color pardo rojizo, muy fracturados en capas de 030 a 2 metros de espesor. Las rocas poseen una textura porfiritica a localmente microporfiritica localmente cortadas por venas de calcita cristalina. La secuencia continua con 20 metros de rocas sedimentarias de origen clástico conformados por limonitas arenosas de color violáceo a pardo oscuro con estratificación fina a muy fina. Localmente se observan estructuras sedimentarias de tipo gotas de lluvia confirmando el origen continental de estas rocas. La parte media de la sección en la parte alta de la loma Tenerife está conformado por rocas hipoabiales semejantes a las que cortan la base de la secuencia. La parte media superior está conformada por flujos riolíticos homogéneos localmente propilisados con presencia de clorita, epidota y calcita.

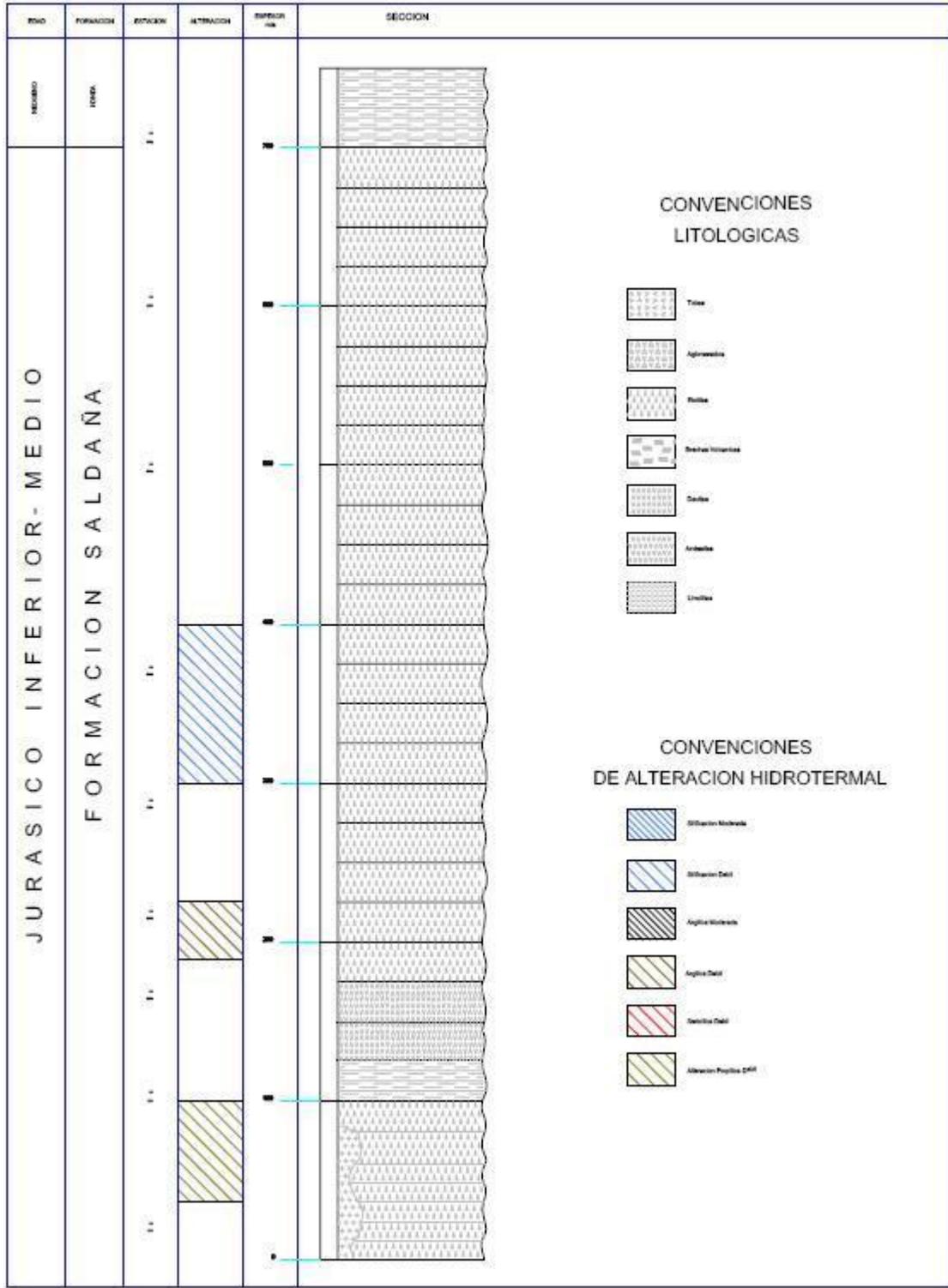


Figura 14. Columna estratigráfica loma la Becerra, municipio de Villavieja.



Figura 15. Fotografía Las lomas La Becerrera (lado derecho) y Tenerife (la redondeada de la parte central izquierda de la foto) son viejas estructuras constituidas por las rocas volcánicas jurásicas de la Formación Saldaña. Hacen parte del denominado “Alto del Patá” y conforman el núcleo del Anticlinal de Andalucía, que se ubica en el bloque noroccidental de la falla homónima. La toma se hizo desde S 55° W hacia N 55° E.

6.4 SECTOR DE LA QUEBRADA EL HOBO MUNICIPIO DE HOBO

Esta sección fue levantada a lo largo del cauce de la quebrada el Hobo a lo largo de 1800 metros lineales reconociendo 900 metros de espesor real de rocas de la formación Saldaña. Hacia la base de la secuencia reconocida afloran rocas volcánicas de color rosado y rojizo medianamente fracturadas y conformadas por flujos de hasta 3 metros de espesor las cuales poseen una textura porfírica inequigranulares con cristales de ortoclasa y plagioclasa embebidos en una matriz afanítica; el espesor de esta sección homogénea es de unos 200 metros y localmente se ve afectada por pequeños apófisis de rocas intrusivas de textura fanerítica y composición granítica. La secuencia es suprayacida por una alternancia de limolitas en capas con estratificación fina a muy fina de color violáceo y con meteorización esferoidal con intercalaciones de flujos riolíticos. La parte media de la sección medida está conformada por flujos dacíticos cortados comúnmente por diques verdes de composición andesítica y altamente propilizados generando calcita, epidota y clorita. La parte superior de la secuencia está conformada por flujos lávicos de composición riolítica y dacítica comúnmente cortados por venillas de calcita, localmente se presenta pirita diseminada en la roca (1 al 5 %).

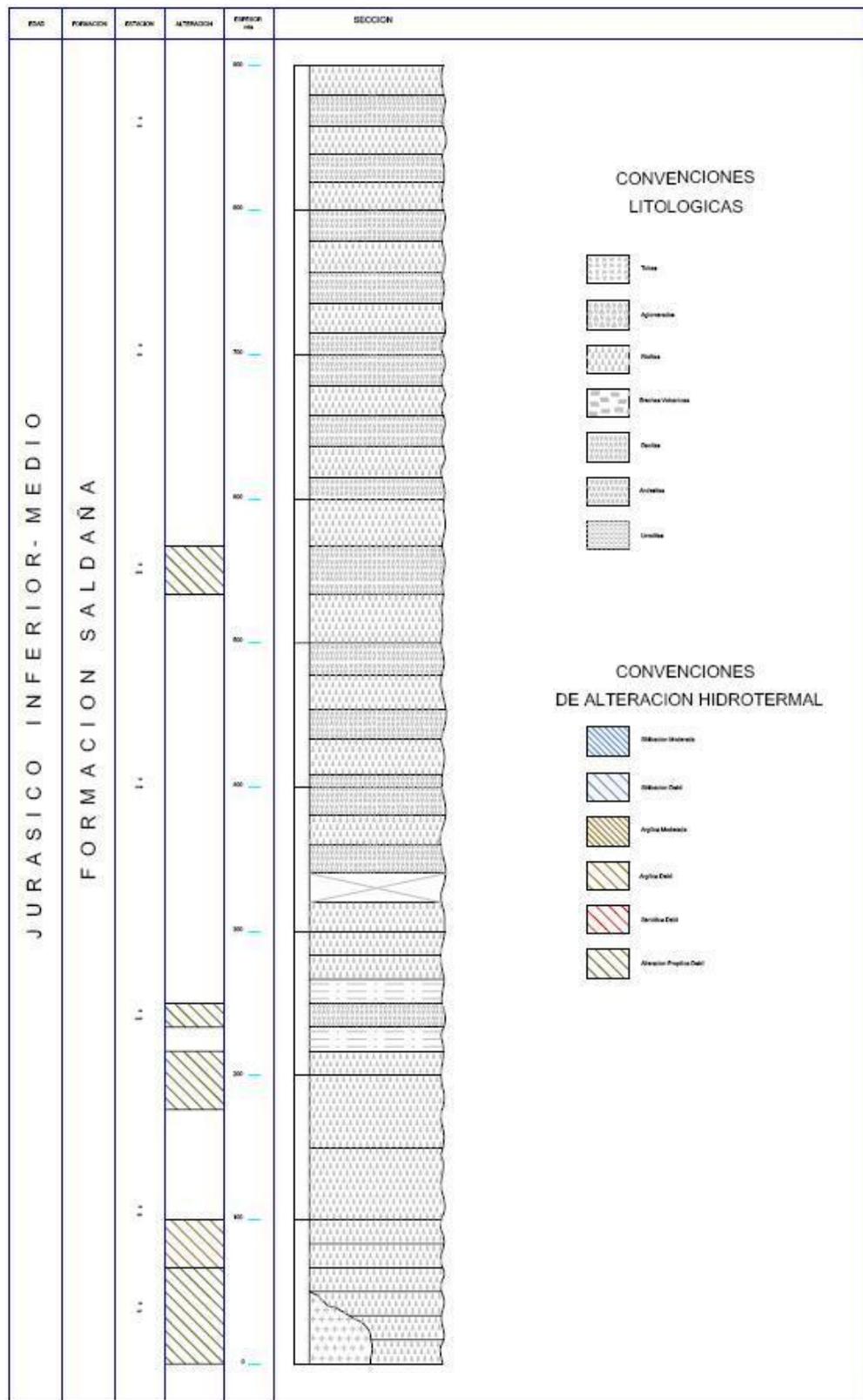


Figura 16. Columna estratigráfica quebrada el Hobo, municipio de Hobo.



Figura 17. Fotografía cuenca de la quebrada el Hobo cortando rocas volcánicas de la formación Saldaña

6.5 SECTOR DE QUEBRADA GRANDE. MUNICIPIO DE ÍQUIRA

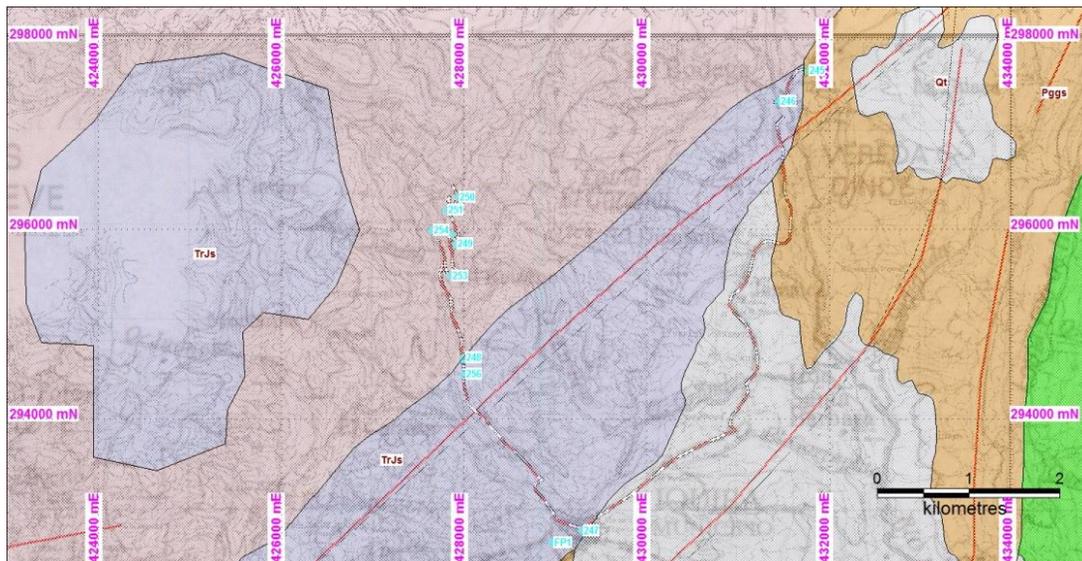


Figura 18. Mapa mostrando el sector de quebrada Grande. Municipio de ÍQUIRA.

Esta sección fue levantada a lo largo de la quebrada Grande localizada al norte del municipio de Íquira. La cartografía geológica del INGEOMINAS presenta un desfase de unos 1500 metros en el contacto norte entre la formación Saldaña y el batolito de Ibagué (E: 427480. – N: 296350.).

El espesor real calculado para esta sección es de 980 metros. Domina de base a techo los primeros 400 metros una secuencia de niveles piroclásticos conformados por tobas ignimbríticas de textura vítreo- cristalinas, porfiríticas, localmente niveles de tobas líticas y niveles delgados de aglomerados volcánicos compuestos por fragmentos de lapilli y bombas de formas angulares a subangulares y de composición dacítica a andesítica, localmente predominan los fragmentos de sílice criptocristalina como ágatas, jaspe, jade y calcedonia principalmente. Estos niveles piroclásticos presentan delgadas intercalaciones de flujos volcánicos dacíticos. La parte intermedia de la sección (de los 500 a los 620mts) está dominada por flujos andesíticos de color verde a violeta de textura porfirítica, magnéticos y con presencia de pirita cristalina y en puntos y nidos diseminada en la roca en proporciones menores al 1%. La parte superior de la sección medida corresponde a una secuencia piroclástica conformada por tobas cristalinas silíceas y aglomerados volcánicos localmente silificados, intercalados con delgados niveles de dacitas porfiríticas verdes y niveles de areniscas y limonitas rojas.

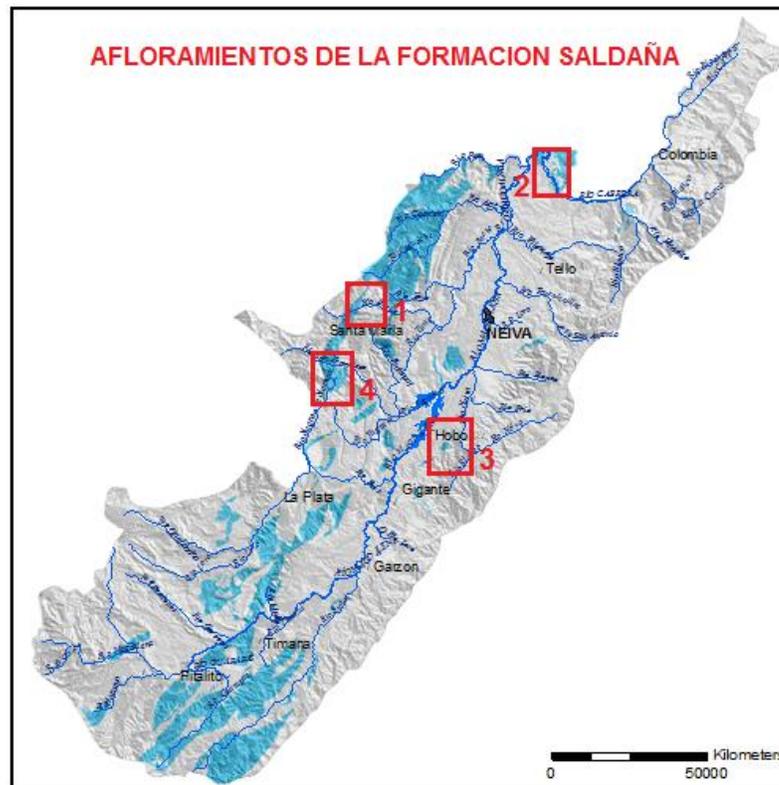


Figura 19. Mapa con los afloramientos de la formación Saldaña
Fuente. Instituto colombiano de geología y minas INGEOMINAS

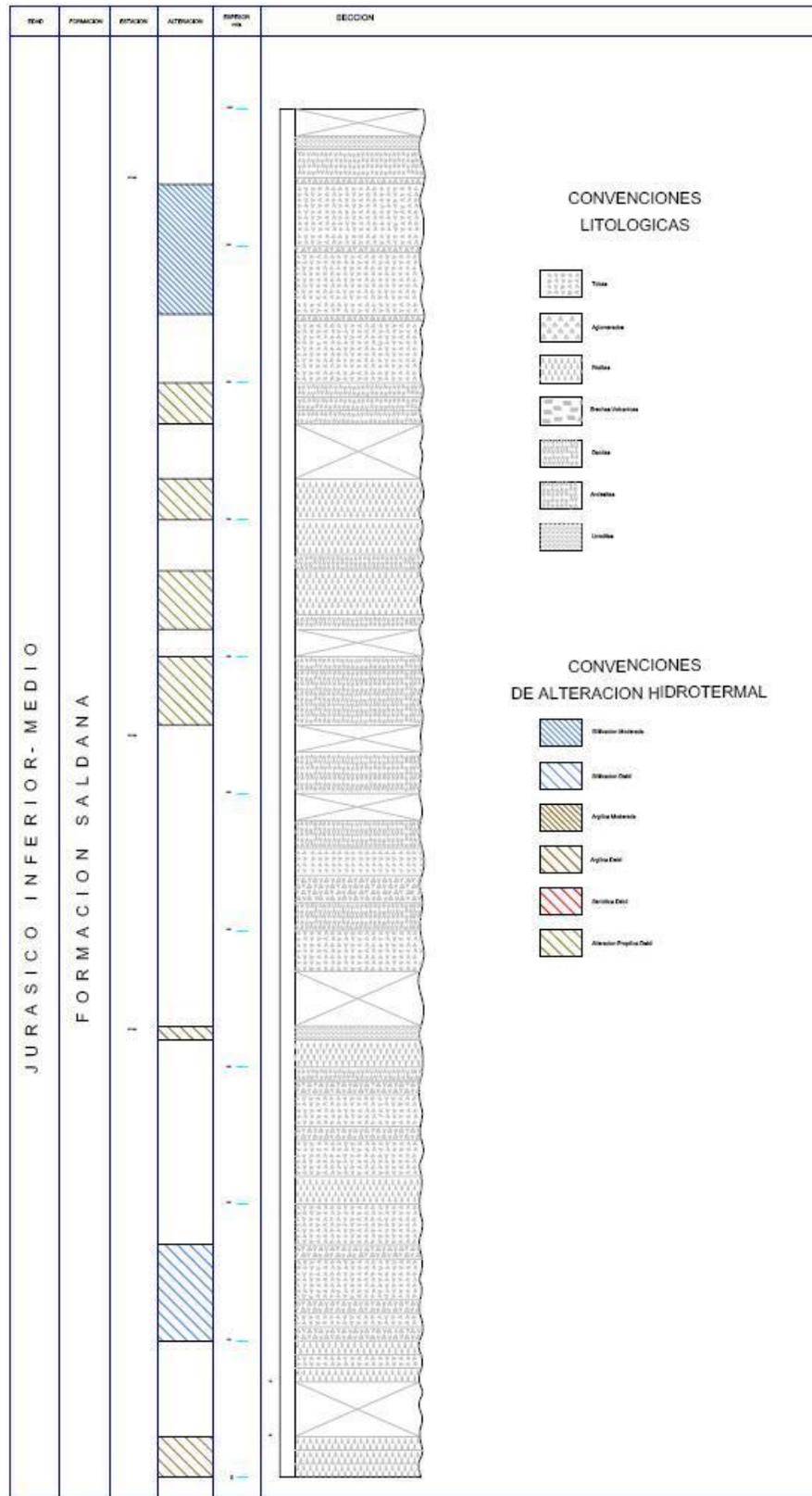


Figura 20. Columna estratigráfica área municipio de Iqira.

6.6 CUERPOS INTRUSIVOS

Sectores reconocidos de los cuerpos intrusivos que se encuentran localizados en departamento del Huila dentro de los municipios de Teruel y La Plata, (ver figura 21), de los cuales fueron realizadas las siguientes secciones:

Secciones Estratigráficas de los cuerpos intrusivos:

1. Sector de la quebrada beberrecio. Municipio de Teruel.
2. La Plata

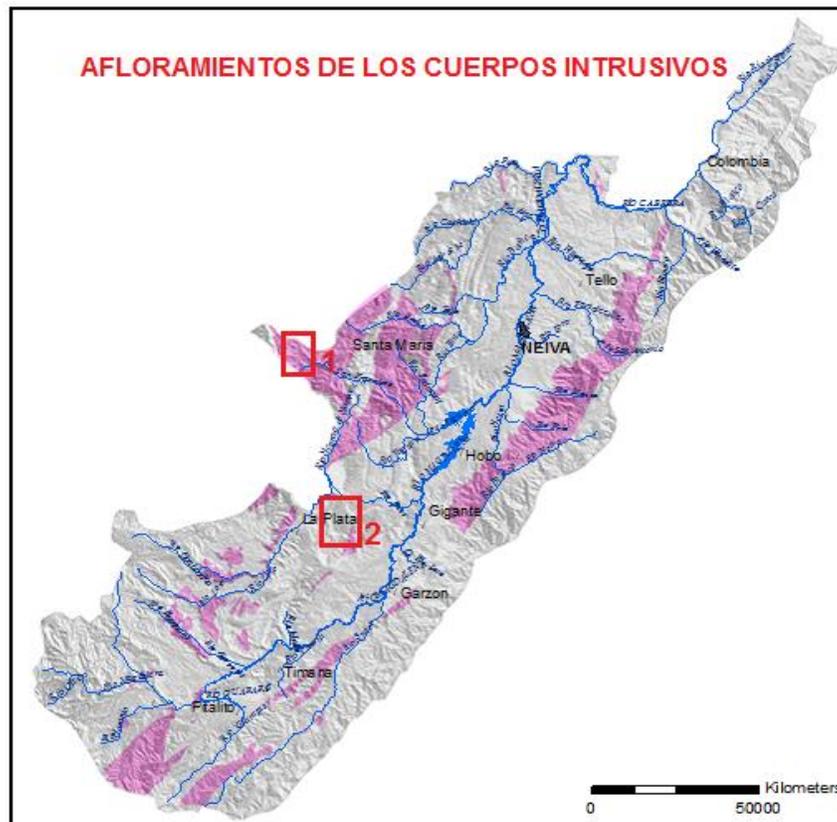


Figura 21. Mapa con los afloramientos de los cuerpos intrusivos
Fuente. Instituto colombiano de geología y minas INGEOMINAS

6.6.1 Sector de la quebrada beberrecio. Municipio de Teruel

Esta sección fue levantada por la vía Teruel – Iquira donde se observó un afloramiento de la formación Guaduala, miembro Teruel en contacto fallado con el batolito de Ibagué, se observa cuarzo-monzonita de Teruel. Luego sobre la vía Teruel Iquira se observó un depósito de fanglomerados y niveles de arenas fluviales, en el punto se reconocieron iridiscencias de óxido de hierro (proviene de las rocas intrusivas silicatos de hierro y magnesio), por la vía a la quebrada beberrecio

arriba aflora un paquete de estratificación fina a media con una potencia de 3 mts conformada por areniscas de color gris claro a café duras frágiles, textura: granos de tamaño medio de formas subangulares bien seleccionados, composicionalmente se observa cuarzo 50%, feldespatos 10% fragmentos líticos 30% matriz arcillosa 10%. Clasificación: arenisca lítica, las rocas se encuentran pocos fracturadas, a 125 mts del punto anterior morfológicamente se presenta domos de presión que se ven como lomas alargadas y angostas de 280°, en el punto aflora una roca ígnea intrusiva semimeteorizada de color gris claro a blanquizco de textura holocristalina fanerítica equigranular, composición: cuarzo 20% plagioclasas 60% máficos, hornblenda 20%.



Figura 22. Fotografía afloramiento de cuarzodioritas semimeteorizadas con venas de cuarzo

La roca blanda tiene diseminación de material orgánico reciente, en la ladera de agua se observan algunos fenómenos de rectación y sulicfrucción, el trazo de este punto es de 300° a 60 mts del punto anterior se reconoció un fenómeno de remoción en masa, derrumbe tipo cuchara con amplitud de cabezal ocasionada por el domo de presión descrito anteriormente se observan rocas ígneas intrusivas meteorizadas y milonitizadas con movimientos rotacionales en la pata del derrumbe este fenómeno se manifiesta a la sobreposición del basamento sobre la secuencia sedimentaria a 48 metros del punto anterior se reconoció un afloramiento de rocas ígneas intrusivas de color gris claro muy fracturadas tectonizadas, se observan diaclasas abiertas localmente rellenas de arcillas.

Siguiendo con el reconocimiento en la zona de falla chusma Teruel se observo rocas ígneas intrusivas muy meteorizadas y fracturadas, luego seguidamente se reconoció un afloramiento de rocas ígneas intrusivas semicortadas, donde se observo cuarzodioritas formadas por diques con una dirección de 300/80, siguiendo con el reconocimiento de campo en el cruce de la quebrada beberrecio

afloran arcillolitas abigarreadas de la formación Guaduala muy fracturadas semimeteorizadas con diaclasas abiertas aparentemente el rumbo es 150/20 siguiendo con el reconocimiento se llevo a la zona del intrusivo cuarzodiorítico, donde se presento en una zona de falla, la falla esta a 150/70.

Luego se observo un afloramiento de cuarzodioritas semimeteorizadas en el punto se observo una zona inestable asociada a un punto de alteración hidrotermal de más o menos 4 mts representado por silificación de 80%, se observa venas de cuarzo lechoso de 2 a 3 cm de espesor siguiendo con el reconocimiento se observo un afloramiento de rocas ígneas intrusivas de tipo alaskita muy fracturadas zona de silificación a 280/80, en el siguiente punto se observo una secuencia de rocas ígneas intrusivas de tipo alaskita homogéneas de color blanco cristalino conformado por cuarzo 50%, plagioclasas 40% y algunos óxidos de hierro 10%, el punto tiene una zona de falla de más o menos 1 mts de espesor la cual esta semimeteorizada húmeda y terminando el reconocimiento se observo una zona de contacto entre la zona silificada y la cuarzodiorita semimeteorizada en un plano de falla que tiene una dirección de 310/70

6.6.2 Sector La Plata

Litológicamente el área trabajada está conformada por las rocas del macizo de la Plata, la formación Saldaña, el batolito de Ibagué y depósitos piroclásticos de la formación Guacacayo.

El macizo de la Plata fue ampliamente reconocido en el sector de la carretera La Plata Belarcarzar En forma general fue observada la facies ígnea de origen anatexico denominado por el Ingeominas como el ortografito de la Plata y compuesto principalmente por granitos rosados y aplitas de granulación media a gruesa, holocristalinos, faneríticos y localmente con textura bandeada dándoles una apariencia neisica, observándose principalmente hacia los contactos con el batolito de Ibagué. Mineralógicamente están compuestos por cuarzo hialino, ortoclasa presentándose en mayor proporción, plagioclasa, y un porcentaje menor al 5% de minerales maficos representados por horblenda y biotita. Este cuerpo se presenta muy fracturado y localmente cizallado con diaclasas rellenas de calcita, epidota y clorita dándole a la roca tonalidades verdosas.

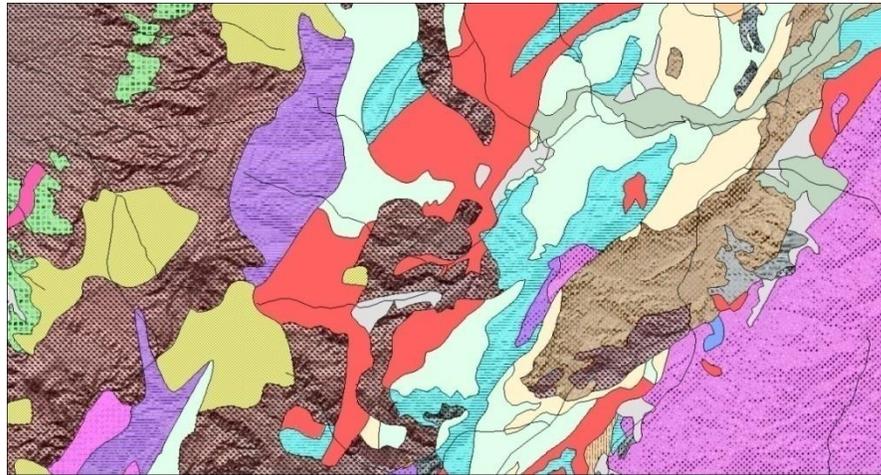


Figura 23. Interpretación geológica a partir del modelo de elevación digital procesado de la imagen Landsat del área de la cuenca del río Páez.

El batolito de Ibagué es la unidad más común del área estudiada y se presenta como un cuerpo homogéneo masivo de color gris claro de textura holocristalina fanerítica de granulación muy fina a gruesa dependiendo de la facies composicional del cuerpo que varía de cuarzodiorita, granodioritas, tonalitas a dioritas y localmente con facies maficas generando hornblenditas. Mineralógicamente están compuestos por cuarzo hialino, plagioclasa, y minerales maficos representados por hornblenda y biotita.

7. UNIFICACION DE NOMENCLATURA

La mayor parte de los estudios geológicos y estratigráficos asociados a los cuerpos intrusivos se han realizado en el departamento del Tolima, para el Huila solo se reportan estudios regionales publicados en planchas a escala 1: 100.000 realizados por el INGEOMINAS. En estas publicaciones existe gran divergencia en la nomenclatura designada a estos cuerpos intrusivos la cual se muestra unificada en este trabajo.

La unificación de la nomenclatura de los diferentes cuerpos intrusivos en el área de estudio se plantea como una de las principales tareas desarrolladas debido a la gran discrepancia en la forma como se denominan las diferentes formaciones de una plancha geológica a otra. Normalmente cada formación se nombra con una sigla que la identifica y la diferencia de otras, en nuestro caso en el que manejamos las rocas volcanosedimentarias de la formación Saldaña y las rocas intrusivas del Batolito de Ibagué, son halladas diferentes maneras de establecer la nomenclatura, ya sea por la manera en el que los autores de los estudios las bautizaron así, por la discontinuidad en los cuerpos rocosos que afloran, lo que daba a pensar que se trataba de diferentes formaciones, por las diferencias composicionales y estructurales, o simplemente por el manejo interno que se le ha dado a este tema en el Instituto de investigación e Información Geocientífica, Minero Ambiental y Nuclear INGEOMINAS.

Es así, como luego de determinar las planchas asociadas a la subcuenca de Neiva, se procede a identificar, inicialmente, los diferentes cuerpos intrusivos que corresponden al Batolito de Ibagué, en donde se realiza la integración de las equivalencias entre las distintas unidades litoestratigráficas intrusivas descritas en la cartografía del Ingeominas y que aparecen en cada plancha estudiada, para presentar la cartografía en un solo mapa geológico. Luego de agrupar los diferentes cuerpos intrusivos en cuestión, se realiza el mapa geológico a una escala 1:250000, donde figuran bajo una única denominación Jib y TJKi para otros intrusivos.

De la misma manera se incluyen en el mapa las rocas extrusivas correspondientes a la formación Saldaña (Jsa).

Como resultado de la unificación de la cartografía regional de la subcuenca de Neiva se realizó una tabla con las planchas geológicas editadas por el INGEOMINAS unificándose en una sola unidad litológica buscando su relación con las rocas de la cobertura productiva (Ver tablas 4 y 5)

Cabe aclarar que en este trabajo se muestran las planchas geológicas que ha venido trabajando el grupo ECOSURC en su proyecto de investigación RECONOCIMIENTO GEOLOGICO Y PETROGRAFICO DE LAS ROCAS IGNEAS

INTRUSIVAS DEL JURASICO Y SU RELACION CON LA FORMACION SALDAÑA DEL ALTO MAGDALENA COLOMBIA .

BATOLITO DE IBAGUE				
Jib		USCO	Cuarzodioritas horblendicas, biotiticas, zonaciones Dioritas Granodioritas, localmente Horblenditas	JURASICO
	Ji	323 - 344- 345 – 365 - 366	Cuarzodioritas horblendicas, biotíticas	
	Jbibg	322	Monzogranitos con variaciones agranodioritas, cuarzodioritas y tonalitas	
	Jdgdj	301	Cuarzodioritas horblendicas, biotíticas	
OTROS INTRUSIVOS				
TJKi		USCO	Granitos, cuarzomonzonitas, y monzodioritas faneriticas.	Cretacico inferior a Juracico
	Jim	366	Monzodiorita de las Minas	
	Ja	323- 345	Cuarzomonzonita de Teruel	
	Jial	366	Monzogranito de Altamira	
	Jias	366	Monzodiorita del Astillero	
	Jcmdso	388	Cuarzomonzonita del Sombrerillo	
	Jcmdsop	388	Facies porfirítica del Sombrerillo	
	Jgal	388- 389	Granito de Altamira	

Tabla 4. Nomenclatura unificada de las rocas ígneas intrusivas presentes en la subcuenca de Neiva

FORMACION SALDAÑA				
USCO Jsa	SIMBOLO	INGEOMINAS PLANCHAS 1:100000	Secuencia Vulcanosedimentaria compuesta por flujos lávicos de riolitas adacitas, dacitas hipoabisales, niveles piroclasticos compuestos por tobas y aglomerados, niveles de areniscas y limolitas rojas	Jurasico inferior superior a
	Js	301-323-344- 345	Secuencia volcanosedimentaria compuesta por riolitas, dacitas, niveles piroclasticos compuestos por tobas y aglomerados, niveles de areniscas y limolitas rojas.	
	JRsp	302	Rocas hipoabisales de composición dacitica a andesitica	
	JRss	302	Arcosas, litoarenitas y arcillolitas	
	Tjsal	388	Piroclastos y lavas acidas	
	JRsl	302	Riolitas, dacitas, tranquitas y basaltos	
	Tjsal dv	322	Piroclastos y diques daciticos	
	Tjsal dr	322	Hornfelsas	
	T2jsal	389	Tobas, aglomerados y lavas acidas, diques andesiticos y niveles de areniscas y limolitas	

Tabla 5. Nomenclatura unificada de la formación Saldaña en la subcuena de Neiva

8 PRUEBA DE POROSIDAD UTILIZANDO EL POROSIMETRO DE EXPANSION DE HELIO

La prueba se realizo para evaluar la porosidad de cuatro muestras seleccionadas a partir del grupo de rocas que fueron recolectadas en las salidas de campo. La prueba se realizo en base al procedimiento estipulado en la norma API-RP 40 (Recommended practice for core análisis).

Las muestras seleccionadas para aplicarle dicha prueba y que aparecen en el anexo petrográfico del proyecto fueron:

- PJ-148
- PJ-011304
- PJ-HLM-03
- PJ-095

La prueba con el porosimetro de Helio, se divide en dos etapas; en primer lugar se realiza una calibración del equipo utilizando unos cilindros de referencia de volúmenes conocidos, colocados dentro de un portamuestra también de volumen conocido. Con este proceso de calibración se obtiene el volumen de las dos cámaras (cámara fuente y cámara de muestra) del porosimetro de expansión de Helio.

Luego se procede a realizar el mismo procedimiento de uso del equipo pero con el núcleo de roca.

Los resultados obtenidos son unas presiones de referencia que junto con los volúmenes de las cámaras me generan un sistema de ecuaciones que al ser operado arroja como resultado las presiones de Helio tanto a la entrada del equipo como la generada posterior a la expansión en la cámara donde se aloja la muestra.

En busca de la agilización del proceso se realizo un sencillo programa en Matlab en donde se alimenta los resultados de las presiones mencionadas anteriormente así como las dimensiones del núcleo, obteniendo un número determinado de porosidad dado en porcentaje.

Es importante reconocer la colaboración que se nos presto para dicho efecto por parte del laboratorio de núcleos de la Universidad Surcolombiana, laboratorio que cuenta con diferentes equipos que continuamente son calibrados y aunque su objetivo es netamente académico, se puede aseverar que los resultados obtenidos tienen una alta precisión. En el laboratorio se prepararon las muestras y se sacaron los núcleos para poder posteriormente aplicarles la prueba

A continuación se anexa una pantallazo del programa utilizado y de igual forma el programa queda grabado en la copia digital de nuestro proyecto.

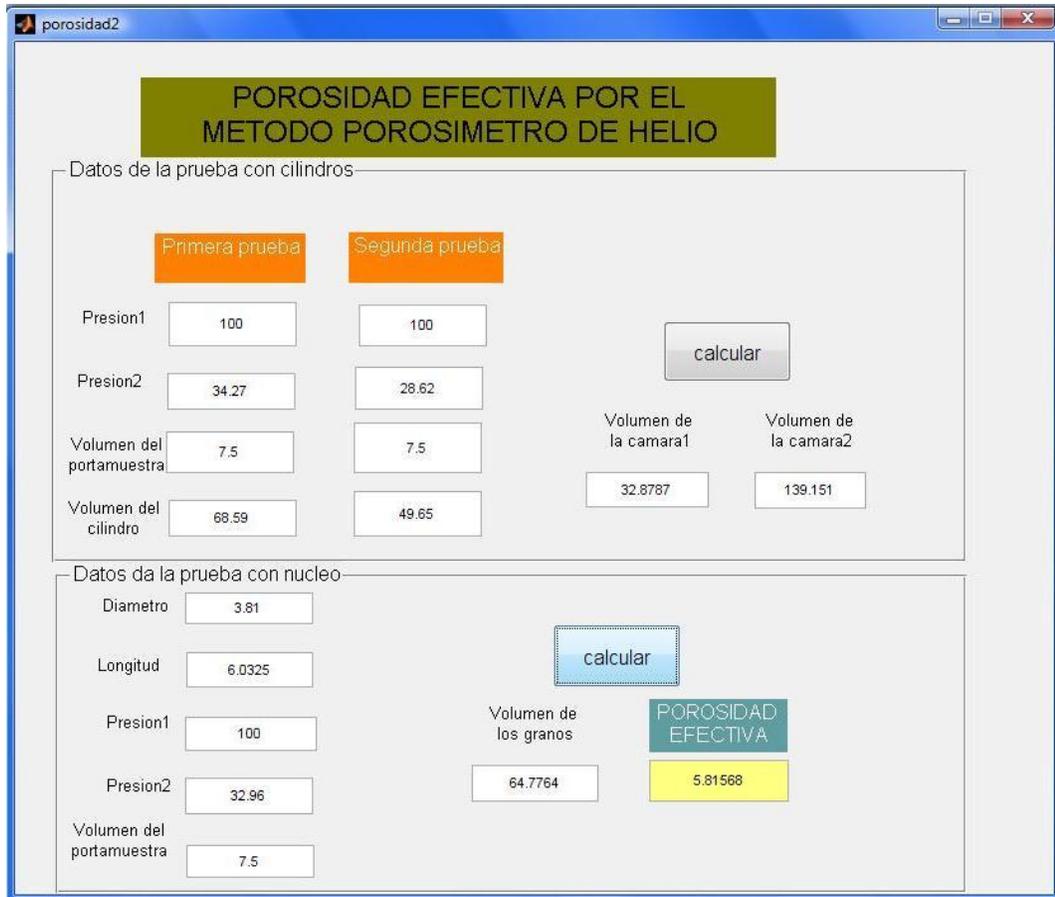


Figura 24. Pantallazo de los resultados de la porosidad efectiva por el método del porosímetro de expansión de Helio.

Los resultados obtenidos a partir de la prueba de determinación de porosidad a partir del porosímetro de expansión de Helio fueron positivos tan solo para una de las muestras (PJ-011304); esto debido a la poca alteración hidrotermal a la que han sido expuestas las restantes muestras junto con el poco fracturamiento evidenciado en ellas, lo que no permitió obtener resultados positivos, con valores de porosidad despreciables.

En el caso de la muestra PJ-011304 se obtuvo una porosidad de 5.8%, porosidad que se puede catalogar dentro de la clasificación de rocas sedimentarias reservorio como descartable. Ahora, sabiendo que la prueba es realizada en una roca ígnea, una porosidad de casi 6% demuestra que estas rocas bajo ciertas condiciones pueden llegar a almacenar cantidades económicamente recuperables de hidrocarburos.

Este porcentaje de porosidad en una roca ígnea puede darse gracias a la acción de la alteración hidrotermal, la cual se da por el contacto de un fluido caliente que generalmente es agua, con el cuerpo ígneo; es por los diferentes procesos que intervienen en el contacto hidrotermal que en la roca ígnea se genera porosidad, siendo esta etapa la clave de cómo este tipo de rocas de características extremas como su dureza o densidad, pueden llegar a albergar hidrocarburos que han migrado de la roca sedimentaria madre, gracias a las fisuras, fracturas, diaclasas y fallas que se comportan como la permeabilidad necesario para la migración y posterior entrapamiento de los hidrocarburos.

En referencia a la muestra que arrojó resultado positivo, esta se recolectó en la zona de Teruel, Finca la Primavera, con lo que áreas como esta pueden llegar a ser en el futuro prospectos de interés exploratorio para las empresas de la industria en nuestro país.

9. PETROGRAFIA

Con el objeto de caracterizar las rocas del denominado basamento económico correspondientes a las rocas volcánicas y piroclásticas de la formación Saldaña y las rocas intrusivas jurasicas, fueron analizadas y descritas macroscópicamente 77 muestras (ver Anexo 2), y de estas se escogieron y analizaron un total de 8 secciones tomadas del proyecto de investigación del jurasico realizado por el grupo ECOSURC. La descripción petrográfica detallada de estas muestras se presenta en el anexo 2 del presente trabajo.

Todas las muestras analizadas petrográficamente fueron tomadas algunas en los reconocimientos de campo y otras del archivo del grupo ECOSURC

Las muestras seleccionadas para análisis petrográficos corresponden principalmente a zonas con alteración hidrotermal y fueron tomadas en canal transversal o panel en fragmentos de unos 2 Kilogramos.



Figura 25. Fotografía afloramiento de dacitas porfiriticas donde se tomo la muestra PJ 210 (izquierda). Fotografía microscópica fenocristales de plagioclasa (Pg), cuarzo (Qz) biotita (Bi) en matriz dacitica muestra PJ 210. (derecha)

9.1 DESCRIPCION PETROGRÁFICA DE LAS ROCAS VOLCANICAS DE LA FORMACION SALDAÑA (Jsa).

En general las rocas de la formación Saldaña muestreadas en los afloramientos son de color gris claro a blancas, duras, presentan una textura porfiritica y son de granulación fina a muy gruesa compuestas por fenocristales de plagioclasa,

cuarzo y anfíboles embebidos en una matriz fino granular de cuarzo y plagioclasas. Como minerales accesorios es común encontrar circón, biotita, apatito, y opacos.

Así también muchas de las rocas expuestas en los afloramientos muestreados presentan efectos de una alteración hidrotermal degradando y generando minerales característicos de estos eventos como clorita, epidota, calcita, cuarzo y sericita.

Para la descripción y clasificación petrográfica utilizada en este trabajo se aplicó la metodología expuesta por la “British Geological Survey”⁴⁸, que trata sobre la clasificación de rocas ígneas y la cual retoma y amplía la clasificación triangular de Streckeisen (1976) basadas con el diagrama QAPF.

Microscópicamente las rocas riolíticas y dacíticas comunes en la formación Saldaña presentan una textura hipocristalina a holohialina, porfiritica, inequigranular, puntualmente afaníticas en general los fenocristales pueden ocupar de un 40 al 60 % de la roca.

La composición de estas rocas es evidentemente félsica con dominio de minerales de plagioclasa y cuarzo, tanto en su matriz, como en los fenocristales porfiriticos.

La plagioclasa se presenta en forma de cristales euhedrales a subhedrales en tamaños de hasta 1.5 cm en su dimensión máxima y predominando las dimensiones de 3 a 6 mm respectivamente (Ver figura 25 derecha). Es común la presencia de maclas en las plagioclasas de tipo albita y albita – Carlsbad, también se presentan algunos cristales anhedrales individuales de acuerdo a las medidas realizadas al ángulo de extensión determinado por el método de Michel-Levy son de composición andesina.

Las plagioclasas se presentan frecuentemente alteradas presentándose como una pátina oscura que a la luz reflejada da un brillo lechoso, generalmente formando una masa irregular aglomerando minerales de alteración hidrotermal principalmente sericita, calcita, clorita y epidota. La disolución de la calcita y epidota me generan porosidad secundaria. (Ver figura 25 derecha).

⁴⁸ British geological survey – research report number. RR99-06 BGS rock (1999).



Figura 26. Fotografía Muestra PJ 110. Afloramiento del porfido dacítico alterado hidrotermalmente y altamente fracturado.

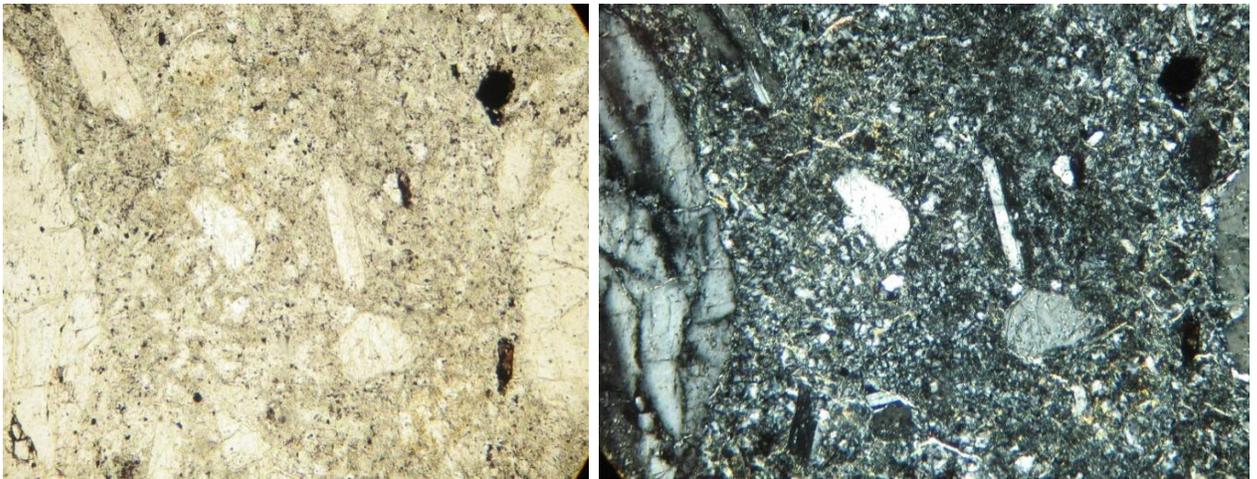


Figura 27. Fotografía muestra PJ 110, Porfido dacítico imágenes al microscopio petrográfico. NP NX. A- Plagioclasa zonada. Plagioclasas macladas con microfracturas desplazando los planos de macla. Plagioclasas sericitizadas.

El cuarzo se presenta en las rocas dacíticas con formas de fenocristales formando parte del armazón de la roca como también en cristales finos haciendo parte de la matriz y rellenando microfracturas en formas de venillas irregulares. (Ver figura 27).

Los fenocristales de cuarzo son de carácter hialino, localmente lechoso, de formas anhedrales a localmente subhedrales, con estructuras pseudo hexagonales; es común también la presencia de estructuras amigdaloides o en forma de pequeños huevos redondeados de hasta 5 mm de longitud máxima, es común la presencia de bahías rellenas por sericita. Según Álvarez los bordes corroídos de los fenocristales de cuarzo en los porfidos se originó como producto de la reacción de los cristales de cuarzo con el magma durante la última fase de emplazamiento, es decir, una disolución parcial. Bedoya indicó la posibilidad de que la corrosión del cuarzo sea producto de alteración de fluidos hidrotermales en un evento posterior al emplazamiento del cuerpo ígneo probablemente un evento de alteración sericitica.

En algunas secciones delgadas (PJ-110) el cuarzo se presenta recristalizado por efecto de la alteración hidrotermal con texturas de mosaico, contactos suturados y extinción ondulante. En la matriz de los pórfidos el cuarzo se presenta en agregados policristalinos muy finos, muy fracturados y disgregados localmente con extinción ondulante. (Ver figura 28). Es común en algunos sectores y principalmente en el nivel inferior de la Zona de Exclusión venillas de cuarzo policristalino unidas por contactos suturados y presentando extinción ondulante, algunos con inclusiones de sulfuros.

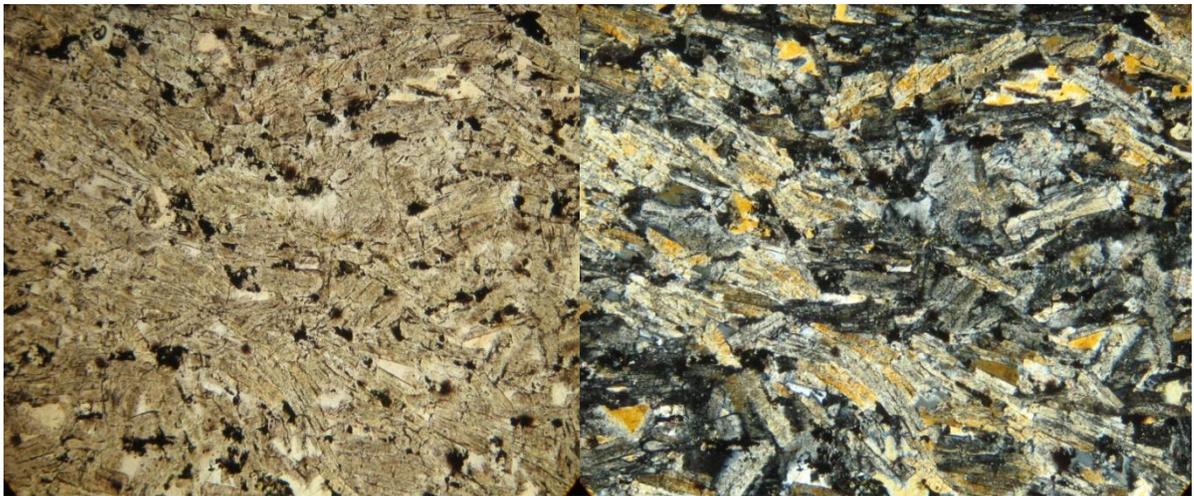


Figura 28. Fotografía muestra PJ 110 Porfido dacítico imágenes al microscopio petrográfico. NP NX. A-

Los minerales ferromagnesianos encontrados en las riolitas y los pórfidos dacíticos corresponden a anfíboles y biotitas muy alterados en proporciones menores al 10 % pero con su hábito tabular y romboédrico original.

De acuerdo a las características ópticas el anfíbol es de tipo hornblenda y se presenta a manera de cristales euhedrales a subeuhedrales. Localmente y principalmente en las cruzadas de las minas se encuentra hornblenda fresca con

su pleocroísmo característico. X: verde claro, Y: verde, Z: verde amarillento. Generalmente en los planos de clivaje de las hornblendas se encuentran parcial o totalmente alterados a clorita. En algunos donde se tomaron muestras de respaldos, la hornblenda esta intensamente alterada a clorita, sericita y calcita.

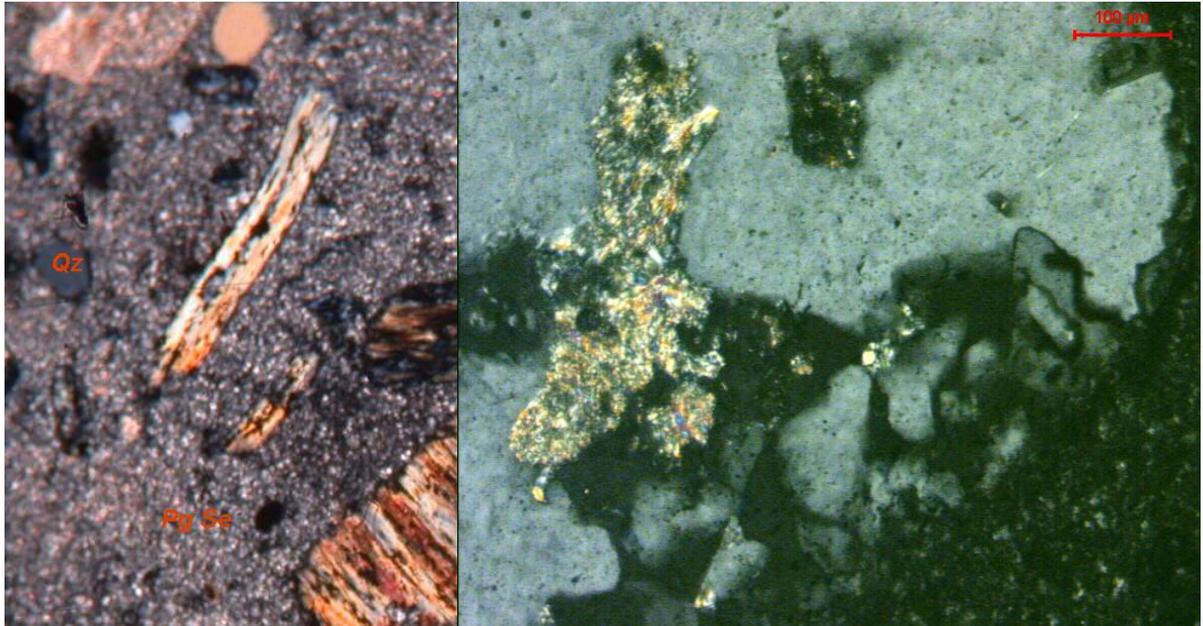


Figura 29. Fotografía muestra PJ 129 Imágenes al microscopio petrográfico. -NX.10X. Riolita con procesos de seritización moderada a débil. Plagioclasa con seritización moderada asociación sericita cuarzo (izquierda). Cuarzo recrystalizado seritizados en sus bordes. La sericita genera espacios porosos (derecha).

La biotita se presenta como otro mineral secundario de los pórfidos dacíticos en forma de fenocristales de 1 a 3 mm muy alterados a clorita y sericita ocasionalmente con inclusiones de circón.

Los minerales accesorios presentes en la roca dacítica corresponden principalmente a esfena rutilo, circón y algunos minerales opacos. Los minerales de alteración presentes son en orden de importancia, la calcita, sericita, clorita, epídota, marcando su abundancia, el grado y tipo de alteración a que fue sometida la roca encajante de la mineralización por acción de los fluidos hidrotermales.

La matriz de la roca porfiritica es de granulación fina a muy fina, localmente microcristalina y compuesta principalmente por cuarzo y plagioclasas, estando presente además minerales de alteración como clorita, calcita, sericita, localmente esfena y apatito. La pirita también se encuentra presente en la matriz en forma de puntos y nidos.

9.2 DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LAS ROCAS INTRUSIVAS DEL BATOLITO DE IBAGUE (Jib – TJKi).

En el reconocimiento geológico realizado de las rocas ígneas intrusivas que afloran en la subcuenca de Neiva la composición dominante de estas rocas es de tipo cuarzodioritas zonando localmente a granitos con un tamaño de cristales de medio a grueso; el color es generalmente gris variando a tonos amarillos y verdosos dependiendo de los minerales ferromagnesianos (hornblenda y biotita). Basados en el análisis petrográfico macroscópico y microscópico de estas rocas se puede considerar un promedio composicional modal para todos los cuerpos intrusivos así:

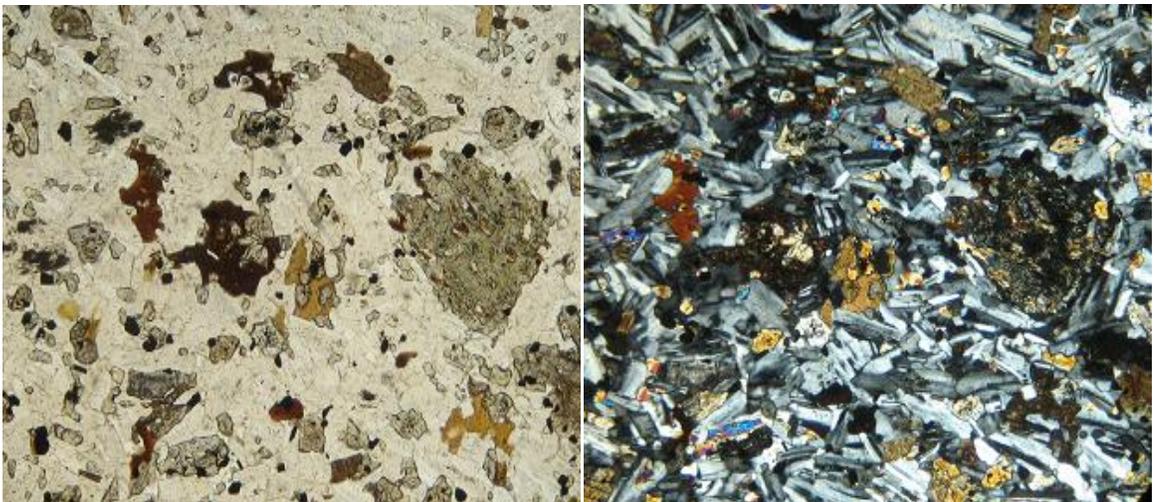


Figura 30 Fotografía muestra PJ 185 Imágenes al microscopio petrográfico. NP-NX.10X. Roca ígnea intrusiva, holocristalina, fanerítica, granulación muy fina compuesta por Qz, plagioclasa y biotita la cual es muy fina y se encuentra diseminada en la roca, producto de la alteración de la hornblenda. Porosidad secundaria asociada a propilización.

Plagioclasas 50-60% de tipo albita oligoclasa aunque en algunas zonaciones de las rocas a dioritas se observa plagioclasa de tipo andesina, esta varía entre formas euhedrales y anhedrales siendo predominante las formas subehedrales, también es común la presencia de maclas de tipo albita; el producto de alteración hidrotermal más común para estos feldespatos es la sericita y con alguna frecuencia carbonatos generando procesos de disolución y manifestando en superficie una porosidad secundaria.

El cuarzo presenta porcentaje entre el 20-30% se presenta de formas anhedrales, inequigranular comúnmente fracturado y con extinción ondulatoria débil, en algunos puntos la extinción ondulatoria es fuerte y se encuentra asociada a zonas de intensos cizallamientos, debido a fluidos hidrotermales se presenta introducción de sílice en forma de cuarzo microcristalino y localmente masivo.

El feldespato potásico que llega máximo al 5% en algunas muestras se encuentra en formas anhedrales a euhedrales y composicionalmente corresponde a ortoclasa y puntualmente microclina, la mayor parte de estos feldespatos potásicos presentan alteración hidrotermal de tipo sericitico generando caolinita y porosidad secundaria.

Los minerales máficos presentes que pueden llegar hasta el 10% son principalmente la hornblenda y la biotita. La alteración propílica que ataca estos minerales genera clórita y epidota en el cual en su reemplazamiento genera espacios vacios. La biotita de forma anhedral a subehedral en algunos casos se desarrolla a partir de la hornblenda.

Los minerales accesorios comunes para todas estas rocas intrusivas son circón apatito pirita magnetita, entre otros.

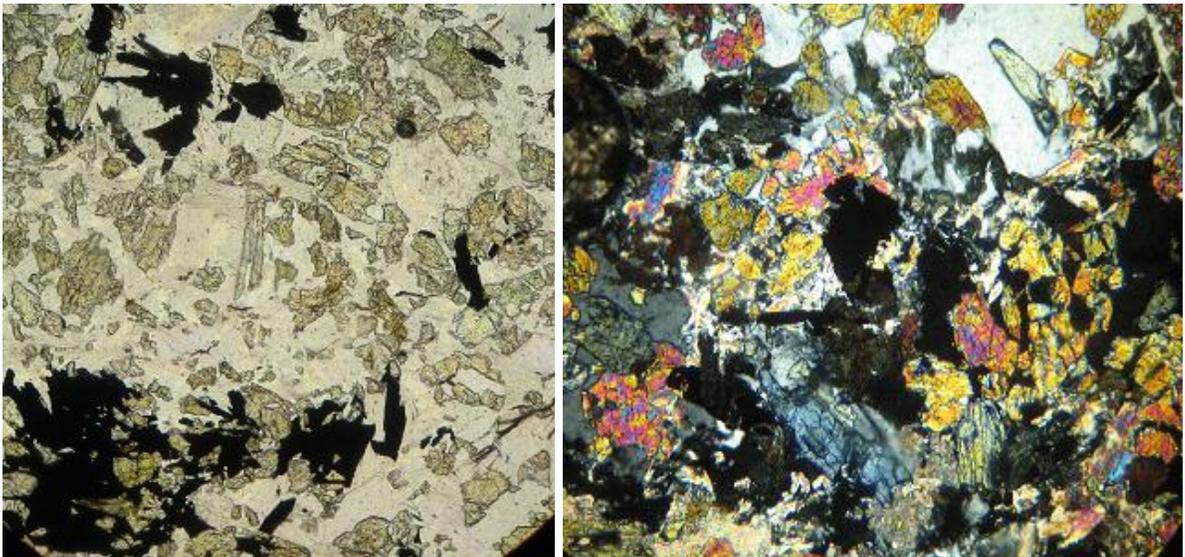


Figura 31. Fotografía PJ 201. Imágenes al microscopio petrográfico. NP-NX.10X Roca ígnea intrusiva, verde clara, holocristalina, fanerítica, granulación fina, alteración propílica con clorita y epidota, presenta muscovita muy fina, hay generación de porosidad secundaria

10. EFECTOS DE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Con el objeto de identificar y caracterizar y determinar la presencia de porosidad secundaria por la existencia de alteración hidrotermal a la que fueron sometidas las rocas ígneas intrusivas y extrusivas estudiadas en este proyecto fueron utilizados los siguientes métodos de análisis:

- Identificación y reconocimiento de la cartografía geológica de superficie realizada por el proyecto jurasico del grupo ECOSURC.
- Descripción macroscópica de 77 muestras (ver anexo 2).
- Análisis de 8 secciones delgadas, la descripción petrográfica detallada de estas muestras se presenta en el anexo 2 del presente trabajo.
- Utilización de los análisis de microscopia electrónica realizada por el proyecto jurasico del grupo ECOSURC. en la identificación de los minerales de arcilla.

Las rocas aflorantes en la superficie presentan efectos de una débil a fuerte alteración hidrotermal degradando y generando minerales característicos de estos eventos los cuales fueron identificados por estos métodos. La caracterización realizada a los minerales de alteración apoya en este trabajo a determinar el origen de la porosidad secundaria.

10.1 TIPOS DE ALTERACION HIDROTHERMAL.

La alteración hidrotermal produce un amplio rango de mineralogía, abundancia mineral y texturas en distintas rocas. Esto hace que sea complicado tener un criterio uniforme para la clasificación de tipos de alteración. Los autores de mapeos y de estudios de alteración generalmente han simplificado sus observaciones clasificando las rocas alteradas en grupos⁴⁹ como son:

DENOMINACIÓN	PRESENCIA DOMINANTE DE
Silicificación	Sílice o cuarzo
Sericitización	Sericita - carbonatos
Argilización	Minerales de arcilla
Cloritización	Clorita
Epidotización	Epidota

Tabla 6. Grupos mineralógicos de alteración

⁴⁹ Giggenbach, W.F. (1997). The Origin and Evolution of Fluids in Magmatic-Hydrothermal Systems. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Tercera Edición, Hubert

Para este trabajo se describen las alteraciones hidrotermales por la asociación de minerales de alteración presentes en las rocas. Una asociación de minerales de alteración refleja las condiciones de temperatura, presión, composición química del fluido hidrotermal, mineralogía de la roca original y el tiempo que tomó para lograr un equilibrio termodinámico entre la roca y el fluido.⁵⁰

Los tipos de alteración basados en este criterio encontrados en las rocas ígneas extrusivas de la formación Saldaña son principalmente la alteración filica o alteración sericitica asociada a carbonatos y cuarzo, la alteración propilica con asociaciones de calcita- clorita – epidota y en menor proporción se reconoce la alteración argilica y la alteración silicea.

10.2 DESCRIPCION DE LA ALTERACION HIDROTERMAL EN LA ZONA DEL PROYECTO JURASICO

De acuerdo a los parámetros descritos en el ítem **9.1** y a los resultados de los análisis petrográficos, metalogénicos se ha determinado para la zona de estudio los siguientes tipos de alteración hidrotermal.

10.2.1 Alteración Filica (Sericítica).

No siempre este término ha sido utilizado con un criterio uniforme por distintos autores. Por ejemplo el término alteración filica fue originalmente propuesto por Burnham (1962) para incluir alteraciones que produzcan filosilicatos, tanto alteraciones sericíticas, como biotíticas. Sin embargo, Lowell y Gilbert (1970), Rose and Burt (1979) y otros autores en adelante han usado el término alteración filica a rocas con alteración sericítica la cual según Bedoya (1998)⁵¹ las clasifica como alteración sericitica débil, moderada y fuerte o cuarzo-sericítica, términos acogidos en el presente trabajo.

De acuerdo a lo observado la alteración sericitica es la que mas predomina en el área de estudio y es producida por la alteración de plagioclasas y ferromagnesianos. La alteración sericitica media domina en proporción alta principalmente en las rocas volcánicas dacíticas de la parte superior de la formación Saldaña y se encuentra restringida a los niveles dacíticos superiores observados en las columnas estratigráficas levantadas.

⁵⁰ Corbett, G.J. y Leach, T.M. (1998). Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologist, Special Publication Number 6, 237 pp.

⁵¹ Bedoya, O. G. 1998. Geology, hydrothermal alteration, paragenetic sequence and fluid inclusion analysis of La Maruja Level, Marmato District, Caldas Department, Colombia. Thesis of Master of Science, Colorado State University, Fort Collins Colorado, EU, 165p

Las plagioclasas se encuentran fuertemente seritizadas dejando localmente relictos de su estructura cristalina primaria, los maficos de tipo hornblendas y biotitas se encuentran alterados generando sericita y clorita.

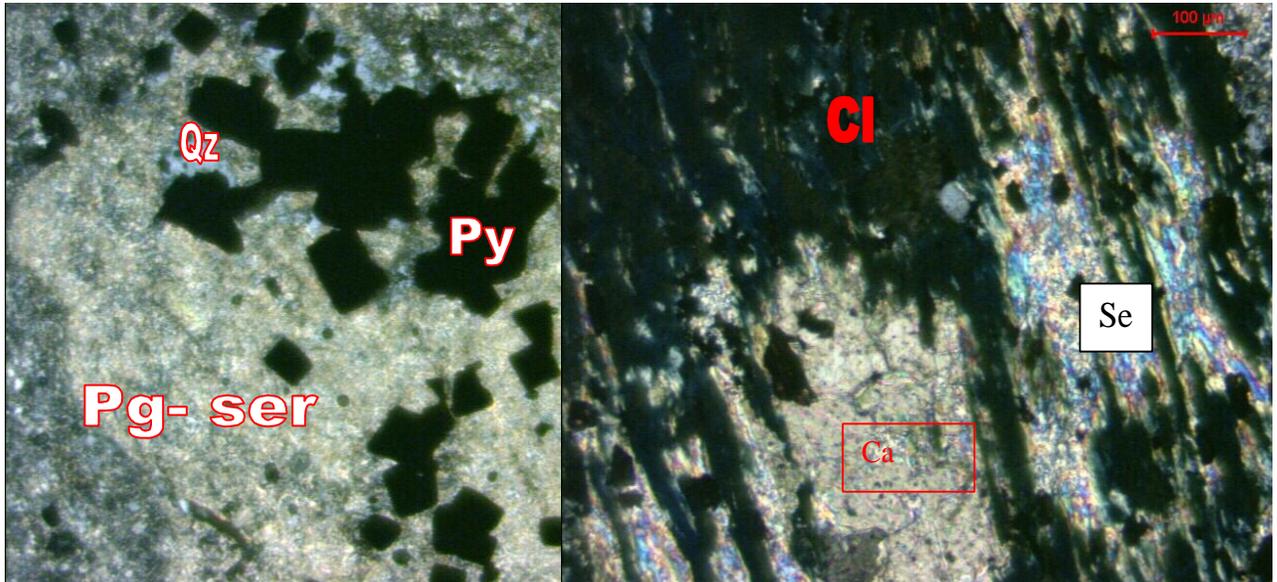


Figura 32. Fotografía muestra PJ 205. Imágenes al microscopio petrográfico. NP - NX.10X Procesos de seritizacion fuerte, Plagioclasa con seritizacion fuerte y sustituido por pirita, asociación sericita cuarzo (izquierda). Mafico sustituido por sericita, calcita y clorita (derecha).

Hacia las media de la formación Saldaña se hace más notoria la alteración de los fenocristales de plagioclasas de los pórfidos dacíticos a una alteración sericitica débil con un dominio de la asociación sericita cuarzo sobre impuesta a la alteración propílica.

En varios sectores de la formación Saldaña se observó la alteración sericitica moderada a débil con asociaciones sericita cuarzo y sericita carbonatos. En este tipo de alteración la plagioclasa está parcialmente alterada a sericita en sus bordes y planos de clivaje, cuarzo secundario se encuentra asociado a la sericita y dentro de la matriz. (Ver figura 32). La alteración sericitica débil puede ser también observada a en algunas rocas piroclásticas.

10.2.2 Alteración Propílica.

Caracterizada por la presencia de epidota y/o clorita, comúnmente se presentan también albita, calcita y pirita. Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal, por esta razón esta alteración es la más extendida en la zona de estudio siendo sobre impuesta en las zonas proximales a la mineralización por la alteración filica o sericitica fuerte.

En los análisis petrográficos realizados para este trabajo se observó este tipo de alteración proveniente principalmente de los minerales maficos: hornblenda y biotita sustituidos por clorita, calcita generalmente a lo largo de los planos de clivaje y maclas. (Ver muestras PJ 185, PJ 205 en anexo 2) También es común encontrar la alteración propilica como poco pervasiva donde la alteración se limita a las vecindades de las fracturas por donde circuló el fluido, pero las partes masivas de las rocas están inalteradas.

La calcita es el mineral más abundante asociado a este tipo de alteración y comúnmente relacionado con clorita, se presenta tanto en los fenocristales porfiríticos de la dacita compuestos por plagioclasas y hornblendas como también en la matriz. En las plagioclasas la calcita está comúnmente asociada a sericita presentándose en sus bordes.

En algunas secciones delgadas como también en la descripción macroscópica de las muestras (ver anexo 2) fue observada localmente la asociación clorita-epidota caracterizada por la presencia de fenocristales de epidota granulares y dentro de la matriz de la roca remplazando anfíboles como también dentro de la plagioclasa.

En rocas intrusivas de la cuenca del Paez parcialmente frescas se observó los minerales maficos alterados principalmente a clorita y minerales de arcilla, mientras en zonas cercanas a la mineralización es más común la presencia de la asociación clorita-epidota.

10.2.3 Alteración Silicea.

De acuerdo a lo observado en las columnas estratigráficas levantadas en la formación Saldaña el proceso de silificación es más notorio hacia en los niveles piroclásticos y comúnmente se superpone a otro tipo de alteraciones como la sericitica y propilica. Generalmente las zonas silificadas también están asociadas a brechas tectónicas y a rocas muy fracturadas, pero en general no es continua y se extiende centimetricamente hasta unos pocos metros a lado y lado de las zonas cizalladas,

En general el cuarzo es microcristalino de carácter secundario y comúnmente con extinción ondulante y se presenta rellenando intersticios dentro de los fenocristales de plagioclasas y en forma de venillas delgadas (Ver figura 33).

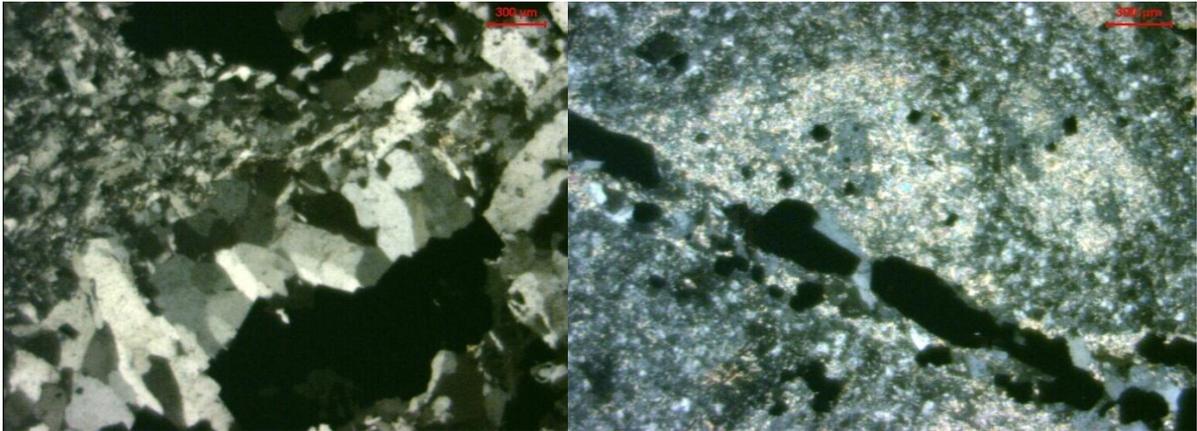


Figura 33. Fotografía muestra PJ 256 NX. Procesos de silificación. Vena de cuarzo cortando la matriz (izquierda). Vena de cuarzo y sulfuros cortando plagioclasas sericitizadas (derecha).



Figura 34. Fotografía afloramiento muestra PJ-192 mostrando procesos de silificación. Reemplazando las rocas piroclásticas en jaspe.

10.2.4 Alteración Argilica

En general la presencia de minerales arcillosos es reconocida sobreimpuesta en los tipos de alteración descritos anteriormente, la mayor concentración de minerales arcillosos presentes están asociados a las zonas de falla y se presenta como un material semiplástico de color gris lechoso denominado en las descripciones de campo como “GOUGE”, en gran parte de los casos este material es producto del evento tectónico y que posteriormente se le sobreimpuso la alteración hidrotermal.

11. CONCLUSIONES

- Con la información de diferentes fuentes, entre ellas artículos y documentos de internet, se puede observar el auge de los yacimientos no convencionales en el mundo; los yacimientos de hidrocarburos en rocas ígneas no son la excepción; siendo estos aun un poco relegados en comparación con otras fuentes no convencionales, pero que sin duda representan un porcentaje importante de producción en los países donde han sido hallados.
- Con el objeto de caracterizar las rocas del denominado basamento económico correspondientes a las rocas volcánicas y piroclásticas de la formación Saldaña y las rocas intrusivas jurasicas, fueron analizadas y descritas macroscópicamente 77 muestras provenientes de diferentes trabajos de campo (ver Anexo 2).
- De los sectores escogidos para realizar el reconocimiento geológico y de las muestras representativas obtenidas, que en nuestro caso pertenecían a la formación Saldaña y al batolito de Ibagué; se realizaron una serie de pruebas que arrojaron como resultado que junto con la alteración hidrotermal evidenciada en las secciones delgadas y con el alto tectonismo presente por los sistemas de fallas como en el caso del sector de Quebrada Grande con la falla Chusma-Teruel, las rocas ígneas pueden tener una porosidad importante como por ejemplo en la muestra PJ-011304 en donde se obtuvo una porosidad de 5.8%.
- Con la aplicación de la petrofísica realizada se prueba que la rocas ígneas pueden tener porosidad y la probabilidad de un escenario propicio para un almacenamiento de hidrocarburos, sobre todo en zonas donde el basamento haya cabalgado sobre las formaciones sedimentarias de las que normalmente se produce en el departamento del Huila; lamentablemente estos cuerpos ígneos generalmente han sido despreciados en nuestro país, pero sin lugar a dudas, como se puede ver con los ejemplos citados alrededor del mundo, pueden ser prospectos de alto interés económico.
- No se hallaron evidencias tangibles de acumulación de hidrocarburos en los afloramientos estudiados o rezumaderos relacionados con ellos, no obstante el departamento del Huila cuenta con varias zonas con características similares que podrían arrojar buenos resultados.
- Por medio de un análisis de secciones delgadas se logro identificar que muchas de las rocas expuestas en los afloramientos muestreados presentan efectos de alteración hidrotermal degradando y generando

minerales característicos de estos eventos como clorita, epidota, calcita, cuarzo y sericita y dependiendo del tipo de alteración, se identifica su relación con la generación de porosidad.

- Luego del análisis de secciones delgadas y de microscopía electrónica, se concluye que de los tipos de alteración hidrotermal, la alteración sericitica es la que mas predomina en el área de estudio, y en menor nivel, la alteración argilica moderada, argilica débil y propílica, todas ellas causantes de porosidad secundaria en el evento del contacto prolongado de este tipo de alteración con las rocas ígneas.
- Debido a la poca información sobre estudios o proyectos de exploración de este tipo en nuestro país, se concluye que en Colombia la tendencia hacia los yacimientos no convencionales apunta en general hacia los yacimientos de gas asociados a mantos de carbón; siendo esta una oportunidad de negocio más accesible en este momento para las empresas establecidas.

BIBLIOGRAFIA

- Barnes, H L; Corbett, G J; Leach, T M. Geochemistry of hidrothermal ore deposits. Southwest pacific gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization. Society of economic geologist. Special publication.
- Bedoya, O. G. Geology hidrothermal alteration, paragenetic sequence and fluid inclusion analysis of La Maruja Level, Marmato District, Caldas Department, Colombia. Thesis of Master of Science, Colorado State University, Fort Collins Colorado, EU, 165p. 1998.
- Beltrán, N. & Gallo, J., The Geology of the Neiva Sub-basin, upper Magdalena basin, southern portion. IX Annual Field Conference, Colombian Society of Petroleum Geologist and Geophysicists. Reprinted in: Geological Field Trips Colombia 1959-1978, Geotec Ltda. Ed., 1980, p. 253-275, Bogotá.
- British geological survey – research report number. RR99-06 BGS rock (1999).
- Butler, K. R., Andean Type Foreland Deformation: Structural Development of the Neiva Basin, Upper Magdalena Valley, Colombia. (Volumes I and II). 1983.
- Catalano, J P. Influencia de los procesos geológicos vinculados a la generación de la porosidad en rocas volcánicas y volcanoclásticas del Precuyano”. Septiembre de 2010.
- Caicedo A. & Roncancio J., Estratigrafía del Grupo Gualanday y modelo tectónico-sedimentológico del terciario en el Valle Superior del Magdalena. Trabajo de Grado No Publicado Univ. Nacional. 1992.
- Corbett, G.J, Leach, T.M. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologist, Special Publication Number 6, 237 pp. 1998.
- Coung, T Q DANG; Ngoc, T B; Wisup Bae, S; Zhangxing, C; Thuoc H P SPE-137561-MS-P. Lessons learned and experiences gains in developing waterflooding concept of granite basement fractured reservoir: 20 historical years case study. Canadian unconventional resources & international petroleum conference. 2010.

- Escobar M, Freddy Humberto. Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos. Neiva, Huila. 331 P.
- Etayo-Serna, F. Epilogo: A modo de Historia geológica del Cretácico del valle Superior del Magdalena, Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Capítulo XX. 1994.
- Florez, M. y Carrillo, G. Estratigrafía de la Sucesión Litológica Basal del Cretácico en el valle Superior del Magdalena. Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Capítulo II, 26p. 1994.
- Giggenbach, W.F. The Origin and Evolution of Fluids in Magmatic-Hydrothermal Systems. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Tercera Edición, Hubert. 1997.
- Legrand, Nicolas; Kok, Joop de; Neff, Pascale; Clemens, Torsten. SPE-133086-PA-P. Recovery mechanisms and oil recovery from a tight, fractured basement reservoir, Yemen. OMV, SPE Reservoir Evaluation & Engineering. 2011.
- Maghsood, A, SPE; Chip C, SPE; Rolf, J W, SPE; Fangjian, X, Schlumberger; Nitka, T, Schlumberger; Yong, Z, & Zhen, Y, Chinese Nat. petroleum Corp. Development of an integrated reservoir model for naturally fractured volcanic reservoir in china. SPE Reservoir Evaluation & Engineering. 2001.
- Muñoz, H.I., Barrios, W., Ordoñez, A., y Carrillo, R., Screening Eor Campos de la Gerencia del Alto Magdalena (GAM- ECP)- Fase II, Evaluación Analítica del Proceso WAG (inyección alternada de agua- gas) Campo Dina-Cretáceos. Instituto Colombiano del Petróleo, División de Disciplinas Profesionales. Piedecuesta, Colombia. 2003.
- Parra, Ricardo. Guía de laboratorio de yacimiento. Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Neiva.
- Parra Ricardo. Propiedades físicas de los fluidos de yacimientos. Neiva – Huila, Julio de 2004.
- Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Fracture Characterization and Stochastic Modeling of the Granite Basement in the HDR. 2010, Indonesia

- Raymond T. Skirvin, Brian E. Ausburn, J.R. Petroleum reservoirs traps. Butler and CO. Chapter 29, Petroleum engineering handbook.
- Superintendencia de Yacimientos y Producción, Balance de Reservas Campo Dina Terciarios.ppt. 2008.
- Vargas, Roberto. Estratigrafía del Jurásico de la Región Surcolombiana USCO. 2010.
- Vargas, Roberto. Proyecto de Integración Cartográfica de la Geología de la Cordillera Central y Occidental de Colombia Aplicada a la Exploración Aurífera, Geotec Ltda. Anglo Gold Ashanti Colombia. 2002.
- Vargas, R. Estratigrafía de la Formación Monserrate Mina los Yuyos. USCO. 1995.
- Vargas, Roberto. Huila ígneo. Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería.
- Brisas. Ficha Técnica del campo, Ecopetrol GAM.
- Dina Terciario. Ficha Técnica del campo, Ecopetrol GAM.
- Hato Nuevo. Ficha Técnica del campo. Ecopetrol GAM.
- Santa Clara. Ficha Técnica del campo, Ecopetrol GAM.
- Palogrande-Cebú. Ficha Técnica del campo, Ecopetrol GAM.
- Pijao. Ficha Técnica del campo, Ecopetrol GAM.
- Tenay. Ficha Técnica del campo, Ecopetrol GAM.
- <http://geosciences.co.uk>. 2012
- <http://es.scribd.com/doc/26393936/Rocas-Igneas>. 2012
- <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/LECTURAS/hidrotermalismo.htm>. 2012
- *Rocas ígneas, cap. 07. manual de geología para ingenieros. g. Duque. En: http://www.geocities.com/manualgeo_07. 2012*

- <http://es.scribd.com/doc/26393936/Rocas-Igneas>. 2012
- <http://es.scribd.com/doc/74700928/Capitulo-3-Rocas-Igneas-Petrogenesis>. 2012.

ANEXO 1.

Pag.

Tabla de contenido

MUESTRA No: 034. LOCALIZACIÓN: Rio Yaguaracito. La Hondura	5
MUESTRA No: PJ 058. LOCALIZACIÓN: Teruel.....	6
MUESTRA No: PJ 060. LOCALIZACIÓN: Santa María.....	6
MUESTRA No: PJ 093.....	7
MUESTRA No: PJ 095. LOCALIZACIÓN: Aránzazu.....	7
MUESTRA No: PJ 103. LOCALIZACIÓN: Mina de hierro vía Belarcazar.....	8
MUESTRA No: PJ 107. LOCALIZACIÓN: Hobo	8
MUESTRA No: PJ 108. LOCALIZACIÓN: Vía La Plata-Pital	9
MUESTRA No: PJ 109. LOCALIZACIÓN: Vía La Plata-Pital	9
MUESTRA No: PJ 110. LOCALIZACIÓN: Vereda Chimbayaco (Pital).....	10
MUESTRA No: PJ 112. LOCALIZACIÓN: Vereda Chimbayaco (Pital) (cuenca quebrada La facunda).....	10
MUESTRA No: PJ 118. LOCALIZACIÓN: Vereda Chimbayaco (Pital).....	11
MUESTRA No: PJ 125. LOCALIZACIÓN: Gallego (Vía La Plata)	11
MUESTRA No: PJ 127. LOCALIZACIÓN: Bajo Pescador (La Argentina)	12
MUESTRA No: PJ 129. LOCALIZACIÓN: La Argentina.....	12
MUESTRA No: PJ 135. LOCALIZACIÓN: Gallego (Vía La Plata)	13
MUESTRA No: PJ 136. LOCALIZACIÓN: Gallego-Villa Lozada	13
MUESTRA No: PJ 137. LOCALIZACIÓN: Gallego-Villa Lozada	14
MUESTRA No: PJ 141. LOCALIZACIÓN: El Socorro-Alpes (El Pital)	14
MUESTRA No: PJ 148. LOCALIZACIÓN: Vía La Plata-Aranzazu (sector Laderas)	14
MUESTRA No: PJ 151. LOCALIZACIÓN: Margen izquierda de la quebrada Honda afluente 2.....	15
MUESTRA No: PJ 152. LOCALIZACIÓN: Puente rio Iquira (Valencia)	15
MUESTRA No: PJ 159. LOCALIZACIÓN: Puente quebrada Grande (Iquira).....	16
MUESTRA No: 162 B, 162, 160. LOCALIZACIÓN: Pacarni.....	17
MUESTRA No: PJ 164. LOCALIZACIÓN: Puente quebrada La Cerrera (Iquira).....	17
MUESTRA No: PJ 166. LOCALIZACIÓN: Bajo Primavera (Iquira)	18
MUESTRA No: PJ 173. LOCALIZACIÓN: Vías Pedernal-Minas (Teruel).....	18
MUESTRA No: PJ 179. LOCALIZACIÓN: Alto Gualpi.....	19
MUESTRA No: PJ 181. LOCALIZACIÓN: Alto de Jesus.....	19

MUESTRA No: PJ 184. LOCALIZACIÓN: Santa María.....	20
MUESTRA No: PJ 185. LOCALIZACIÓN: Santa María.....	20
MUESTRA No: PJ 185A . LOCALIZACIÓN: Mina Diomate - Teruel.....	21
MUESTRA No: PJ 186. LOCALIZACIÓN: Santa María cuenca rio Bache	21
MUESTRA No: PJ 187. LOCALIZACIÓN: Santa María cuenca rio Bache	22
MUESTRA No: PJ 188. LOCALIZACIÓN: Santa María cuenca rio Bache	22
MUESTRA No: PJ 191. LOCALIZACIÓN: Santa María cuenca rio Bache	23
MUESTRA No: PJ 192. LOCALIZACIÓN: Santa María cuenca rio Bache	23
MUESTRA No: PJ 196. LOCALIZACIÓN: Bache.....	24
MUESTRA No: PJ 201. LOCALIZACIÓN: Vía San Joaquín-puente Bache.....	24
MUESTRA No: PJ 202. LOCALIZACIÓN: Vereda El Encanto-Santa María.....	25
MUESTRA No: PJ 205. LOCALIZACIÓN: Vía El Carmen-Santa María	25
MUESTRA No: PJ 209. LOCALIZACIÓN: Mina El Cedral.....	26
MUESTRA No: PJ 211. LOCALIZACIÓN: Cuenca Bache-Santa María-La Lupa	26
MUESTRA No: PJ 217. LOCALIZACIÓN: Cuenca Bache-Santa María-La Lupa	27
MUESTRA No: PJ 224. LOCALIZACIÓN: Mina San Jorge, San Luis, Neiva	27
MUESTRA No: PJ 225. LOCALIZACIÓN: Mina el Dorado, San Luis, Neiva	28
MUESTRA No: PJ 255. LOCALIZACIÓN: Mina Los Azules, San Luis, Neiva	28
MUESTRA No: PJ 256. LOCALIZACIÓN: El Pital.....	28
MUESTRA No: PJ 264. LOCALIZACIÓN: Altamira.....	29
MUESTRA No: PJ 277. LOCALIZACIÓN: Vereda La Julia, San Luis, Neiva.....	29
MUESTRA No: PJ 279. LOCALIZACIÓN: Palermo.....	30
MUESTRA No: PJ 368. LOCALIZACIÓN: Teruel, Mina Diomate	30
MUESTRA No: PJ 431. LOCALIZACIÓN: El Pital.....	31
MUESTRA No: PJ PAL 06. LOCALIZACIÓN: Santa María.....	31
MUESTRA No: PJ PAL 09. LOCALIZACIÓN: Santa María.....	32
MUESTRA No: PJ 4Q-HONDA.....	32
MUESTRA No: PJ HML 03. LOCALIZACIÓN: Santa María	33
MUESTRA No: PJ 011304. LOCALIZACIÓN: Teruel, Finca primavera.....	33
MUESTRA No: PJ 12039193.....	34
MUESTRA No: PJ 12039197. LOCALIZACIÓN: Hobo.....	34
MUESTRA No: PJ 4247. LOCALIZACIÓN: Teruel, Finca primavera.....	35

DESCRIPCION PETROGRAFICA

En este anexo se describe las características macroscópicas de las 77 muestras seleccionadas de las salidas de campo que se describen en el capítulo 6 ver figura 19 (mapa con los afloramientos de la formación Saldaña) y figura 21 (mapa con los afloramientos de los cuerpos intrusivos) las cuales fueron de mayor importancia para el desarrollo de este proyecto.

La localización de cada muestra recolectada se observa en el anexo 2 en una tabla completa con coordenadas, localización y clasificación de las 77 muestras, además de esto en el anexo 3 que corresponde al mapa Afloramientos de la formación Saldaña e Intrusivos en el valle superior del Magdalena subcuenca Neiva se encuentra localizado cada punto de donde se recolectaron las muestras

A continuación se describe de forma petrográfica las 77 muestras:



MUESTRA No: 034. LOCALIZACIÓN: Rio Yaguaracito. La Hondura

Roca ígnea extrusiva rojiza de color 10R 3/4, de textura hipocristalina, porfiritica, inequigranular, compuesta mineralógicamente por cuarzo hialino translucido de formas anhedrales 30%, ortoclasa de formas anhedrales 50%, plagioclasa lechosa de formas anhedrales 10%, minerales máficos de tipo hornblenda 7%. Localmente silificada mineralizada con pirita cristalina en puntos y nidos del 1 al 3%. Los cristales de pirita se encuentran oxidados, localmente hay procesos de disolución generando oquedades y espacios vacios.

Clasificación: Riolita



MUESTRA No: PJ 058. LOCALIZACIÓN: Teruel

Roca ígnea intrusiva de color blanco cristalino, fracturada, dura, fresca, textura holocristalina, fanerítica, euhedral a subhedral. Compuesta mineralógicamente por cuarzo 55%, plagioclasa 35% y algunos óxidos de hierro 10% de composición intermedia.

Clasificación: Alaskita



MUESTRA No: PJ 060. LOCALIZACIÓN: Santa María

Roca ígnea piroclástica de color verde claro a grisáceo 5B 5/1, conformada mineralógicamente por tobas y texturalmente conformada por arena, la roca se encuentra altamente silificada por alteración hidrotermal

Clasificación: Toba Silícea



MUESTRA No: PJ 093

Mineral de color marrón 10YR 2/2, conformado por granates de tipo uvarobita entrelazadas en forma brechoide

Clasificación: Brecha

MUESTRA No: PJ 095. LOCALIZACIÓN: Aránzazu

Roca ígnea intrusiva de color gris medio N4, que se encuentra a manera de núcleos, de textura holocristalina, fanerítica, mineralógicamente compuesta por: anfíboles de tipo hornblenda 90% y plagioclasas 10%, la alteración de la hornblenda genera porosidad secundaria por procesos de meteorización

Clasificación: Hornblendita



MUESTRA No: PJ 103. LOCALIZACIÓN: Mina de hierro vía Belarcazar

Roca ígnea intrusiva mineralizada con magnetita de color negruzco 5YR 2/1, esta mineralización se encuentra en forma de bolsones dentro del cuerpo intrusivo, se encuentra oxidada y con laminas de pirolusita. Propiedades de la magnetita: Color negro, raya negra, metálico, cubico, octaédrico, masivo. Se presenta como un mineral accesorio en las rocas ígneas, en capas grandes.

Clasificación: Magnetita



MUESTRA No: PJ 107. LOCALIZACIÓN: Hobo

Roca ígnea extrusiva, dura, fresca, fracturada, color gris oscuro N3, de textura hipocristalina, porfiritica, inequigranular, compuesta mineralógicamente por cuarzo hialino de formas anhedrales 5%, plagioclasa lechosa de forma anhedral alterada a sienicita 30%, minerales máficos de tipo piroxenos 15%, matriz 50%.

Clasificación: Dacita



MUESTRA No: PJ 108. LOCALIZACIÓN: Vía La Plata-Pital

Roca ígnea extrusiva, de color verde grisáceo 5BG5/2 con minerales rodados, textura hipocristalina, porfirítica de granulación media, inequigranular muy fracturada, buena compactación. Compuesta mineralógicamente por cuarzo, feldespatos, minerales máficos. El cuarzo es hialino anhedral muy fino, los feldespatos dominantes son el potásico de tipo microclina dándole a la roca tonalidad verdosa, fresca y en zonas de fractura se presentan alteraciones supergénicas presentando illita y sericita. Los minerales porfiríticos corresponden a ortoclasa en cristales medios generalmente caolinitizados, los máficos observables corresponden a hornblenda generalmente caolinitizados.

Clasificación: Riolita Microclina



MUESTRA No: PJ 109. LOCALIZACIÓN: Vía La Plata-Pital

Roca ígnea volcánica de color gris rosado 10R 6/2; holocristalina, textura porfirítica, con fenocristales de cuarzo y feldespato potásico muy alterados. Compuesta mineralógicamente por cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, hornblenda. El cuarzo es hialino, anhedral de granulación fina en proporción mayor del 20%; la ortoclasa de color rosado claro domina los fenocristales; la plagioclasa y los máficos dominan, la matriz no observable, en el afloramiento es observable la textura de flujo dando la apariencia de pseudoplegamientos. Esta roca se encuentra fracturada por diques rosados ricos en ortoclasa.

Clasificación: Riolita



MUESTRA No: PJ 110. LOCALIZACIÓN: Vereda Chimbayaco (Pital)

Roca ígnea de color gris verdoso 5G 4/1 de textura brechoide compuesta por fragmentos de hasta 5cm de riolita y roca silicia de color verde, afanítica de tipo jade.

Clasificación: Brecha volcánica

(La muestra se utilizo para petrografía de secciones delgadas)



MUESTRA No: PJ 112. LOCALIZACIÓN: Vereda Chimbayaco (Pital) (cuenca quebrada La facunda)

Roca ígnea volcánica verde 10G4/2. Las riolitas presentan zonificaciones laterales, roca silificada compuesta por jade.

Clasificación: Jade



MUESTRA No: PJ 118. LOCALIZACIÓN: Vereda Chimbayaco (Pital)

Roca ígnea piroclástica de color rosado grisáceo, dura, homogénea, poco fracturada, conformada por fragmentos de lapillo angulares y su mayor parte de composición es silicia (jaspe) la matriz es de composición de cuarzo, ortoclasa, plagioclasa.

Clasificación: Aglomerado Silicio



MUESTRA No: PJ 125. LOCALIZACIÓN: Gallego (Vía La Plata)

Roca ígnea intrusiva, gris amarillenta con tonalidades rosadas, textura holocristalina, fanerítica, de granulación gruesa. Compuesta mineralógicamente por cuarzo, ortoclasa, plagioclasa. Los máficos en proporción mínima biotita y hornblenda.

Clasificación: Granito Rosado



MUESTRA No: PJ 127. LOCALIZACIÓN: Bajo Pescador (La Argentina)

Roca ígnea volcánica de color gris claro, textura hipocristalina, afanítica con alteración hidrotermal de tipo argílico, generando minerales de arcilla.

Clasificación: Dacita Argelica



MUESTRA No: PJ 129. LOCALIZACIÓN: La Argentina

Roca ígnea intrusiva de color gris claro a blancuzco, masiva, homogénea, poco fracturada, textura holocristalina, fanerítica de granulación fina a muy fina. Compuesta mineralógicamente por cuarzo, plagioclasa, ortoclasa; presenta fenocristales de plagioclasa medios embebidos en una matriz fanerítica. No se observan máficos.

Clasificación: Granito Alaskitico (pórfido granítico)

(La muestra se utilizo para petrografía de secciones delgadas)



MUESTRA No: PJ 135. LOCALIZACIÓN: Gallego (Vía La Plata)

Roca ígnea volcánica de color gris verdoso, composición andesita, débil magnetismo. Localmente con alteración propílica y con presencia de epidota en diaclasas

Clasificación: Andesita.



MUESTRA No: PJ 136. LOCALIZACIÓN: Gallego-Villa Lozada

Roca ígnea volcánica de color rojo grisáceo, textura afanítica, conformada por sílice criptocristalino de tipo calcedonia y ágata

Clasificación: Sílice Agatizada



MUESTRA No: PJ 137. LOCALIZACIÓN: Gallego-Villa Lozada

Roca ígnea de color gris oscuro con tonos verdes, hipocrystalina, afanítica, propilizada a lo largo de fracturas y venillas con clorita y epidota

Clasificación: Andesita



MUESTRA No: PJ 141. LOCALIZACIÓN: El Socorro-Alpes (El Pital)

Roca ígnea volcánica de color gris claro a rosado, textura hipocrystalina, porfirítica, fina. Compuesta mineralógicamente por cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, máficos como hornblenda, débil alteración argílica generalmente illita y clorita.

Clasificación: Riolita Argilizada

MUESTRA No: PJ 148. LOCALIZACIÓN: Via La Plata-Aranzazu (sector Laderas)

Roca ígnea intrusiva de color gris claro, textura holocrystalina, fanerítica, de granulación media. Compuesta mineralógicamente por cuarzo, plagioclasa, máficos (biotita, hornblenda)

Clasificación: Cuarzo diorita



MUESTRA No: PJ 151. LOCALIZACIÓN: Margen izquierda de la quebrada Honda afluente 2

La muestra se tomo del cauce de la quebrada y corresponde a una roca silificada compuesta por jade, ágata y calcedonia.

Clasificación: Roca Silificada



MUESTRA No: PJ 152. LOCALIZACIÓN: Puente rio Iquirá (Valencia)

Roca ígnea volcánica de color verde clara, hipocristalina, porfirítica, fina. Compuesta mineralógicamente por cuarzo, plagioclasa y minerales máficos (hornblenda fina). Roca altamente propilizada generando clorita epidota, calcita en venillas y diseminado en la roca.

Clasificación: Dacita



MUESTRA No: PJ 159. LOCALIZACIÓN: Puente quebrada Grande (Iquirá)

Roca ígnea volcánica de color verde oscuro, textura hipocristalina, afanítica, localmente propilizada con presencia de clorita, epidota y calcita, débil magnetismo.

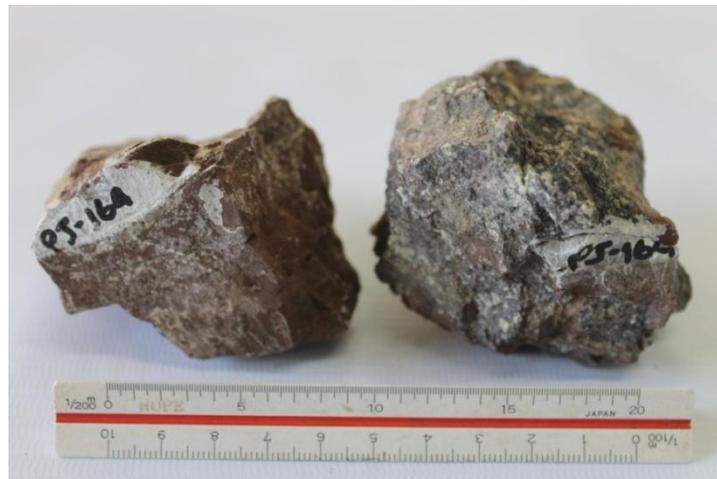
Clasificación: Andesita





MUESTRA No: 162 B, 162, 160. LOCALIZACIÓN: Pacarni

Se presenta como una secuencia estratigráfica de color rojizo 10R 2 /2 conformada por niveles de roca volcánica de tipo riolítico (162 B), suprayacido por tobas líticas (162) y hasta el tope tiene una secuencia de lodolitas ferruginosas (160); la zona de contacto de las tobas y riolitas presentan generación de porosidad secundaria.



MUESTRA No: PJ 164. LOCALIZACIÓN: Puente quebrada La Cerrera (Iquira)

Muestra de un rodado de una roca ígnea volcánica, afanítica propilizada con epidota y calcita. Se encuentra mineralizada con nidos de escalerita
Clasificación: Andesita Mineralizada



MUESTRA No: PJ 166. LOCALIZACIÓN: Bajo Primavera (Iquira)

Roca ígnea intrusiva de color gris oscuro, ácida, de textura holocristalina, fanerítica, de granulación media. Compuesta mineralógicamente por cuarzo, plagioclasa, anfíboles y biotita

Clasificación: Granodiorita



MUESTRA No: PJ 173. LOCALIZACIÓN: Vías Pedernal-Minas (Teruel)

Roca ígnea intrusiva de color gris oscuro, de textura holocristalina, fanerítica, granulación gruesa, rica en máficos. Compuesta mineralógicamente por del 20-30%, plagioclasa 40-50%, hornblenda 10%, biotita 20%, magnetita 10%

Clasificación: Granodiorita Biotítica



MUESTRA No: PJ 179. LOCALIZACIÓN: Alto Gualpi

Roca metamórfica de contacto, verde clara, masiva, homogénea. Compuesta mineralógicamente por cuarzo microcristalino recrystalizado.

Clasificación: Cuarcita



MUESTRA No: PJ 181. LOCALIZACIÓN: Alto de Jesus

Roca metamórfica de contacto verde clara, capas masivas de 2-5m, finas, duras, cortadas por diques aplíticos, mineralizadas en fracturas con malaquita, azurita y pirita.

Clasificación: Cuarcita Mineralizada



MUESTRA No: PJ 184. LOCALIZACIÓN: Santa María

Roca metamórfica de contacto, gris clara, hornfésica. Compuesta mineralógicamente por cuarzo recristalizado, presenta cristales prismáticos, seudoradiales (turmalina)

Clasificación: Cuarcita (toba silicia recristalizada)



MUESTRA No: PJ 185. LOCALIZACIÓN: Santa María

Roca ígnea intrusiva, gris oscura, de textura holocristalina, fanerítica, granulación muy fina compuesta por cuarzo, plagioclasa y biotita la cual es muy fina y se encuentra diseminada en la roca, esta es secundaria de alteración potásica

Clasificación: Granodiorita con alteración potásica

(La muestra se utilizó para petrografía de secciones delgadas)



MUESTRA No: PJ 185A. LOCALIZACIÓN: Mina Diomate - Teruel

Roca ígnea intrusiva fresca de color gris oscuro a negruzco N5, se presenta a manera de zonaciones dentro del cuerpo intrusivo cuarzodiorítico del stock de Teruel, texturalmente es holocristalina, fanerítica fina, compuesta mineralógicamente de cuarzo 20%, plagioclasa 30% y minerales máficos 50%.

Clasificación: Cuarzodiorita hornblendica



MUESTRA No: PJ 186. LOCALIZACIÓN: Santa María cuenca rio Bache

Roca ígnea intrusiva de color gris claro con tonos rosados, de textura holocristalina, fanerítica, granulación fina a media con cristales pegmatíticos de biotita

Clasificación: Granito



MUESTRA No: PJ 187. LOCALIZACIÓN: Santa María cuenca rio Bache

Roca ígnea volcánica gris oscura, de textura hipocristalina, afanítica, masiva, homogénea con magnetismo medio pirita marcasita en diaclasas, puntos y nidos, diseminados en la roca.

Clasificación: Andesita



MUESTRA No: PJ 188. LOCALIZACIÓN: Santa María cuenca rio Bache

Roca ígnea piroclástica enlaminada en bandas clara y oscura, silíceo, fina, afanítica.

Clasificación: Toba Silíceo



MUESTRA No: PJ 191. LOCALIZACIÓN: Santa María cuenca rio Bache
Roca ígnea volcánica (riolita) totalmente silificada de color rojizo, bandeada conformada por calcedonia y ágatas
Clasificación: Toba Agatizada



MUESTRA No: PJ 192. LOCALIZACIÓN: Santa María cuenca rio Bache
Roca ígnea volcánica (riolita) totalmente silificada de color rojizo, bandeada conformada por calcedonia y ágatas
Clasificación: Toba Agatizada
(La muestra se utilizo para petrografía de secciones delgadas)



MUESTRA No: PJ 196. LOCALIZACIÓN: Bache

Aflora un intrusivo granodiorítico incluyendo tobas silíceas, la muestra corresponde a roca ígnea intrusiva, de textura holocristalina, fanerítica, de color gris clara a blancuzca, granulación muy fina.

Clasificación: Granodiorita



MUESTRA No: PJ 201. LOCALIZACIÓN: Vía San Joaquín-puente Bache

Roca ígnea intrusiva, verde clara, textura holocristalina, fanerítica, granulación fina, alteración propílica con clorita y epidota, presenta biotita muy fina.

Clasificación: Granodiorita alterada propílicamente.

(La muestra se utilizó para petrografía de secciones delgadas)



MUESTRA No: PJ 202. LOCALIZACIÓN: Vereda El Encanto-Santa María

Roca ígnea intrusiva, gris clara, de textura holocristalina, fanerítica, granulación media. Compuesta mineralógicamente por cuarzo, plagioclasa y máficos dominando la biotita, alto magnetismo.

Clasificación: Granodiorita Biotítica



MUESTRA No: PJ 205. LOCALIZACIÓN: Vía El Carmen-Santa María

Roca ígnea intrusiva, gris clara, textura holocristalina, fanerítica, granulación media. Compuesta mineralógicamente por cuarzo, plagioclasa y máficos dominando la biotita, alto magnetismo, diaclasas epidotizadas.

Clasificación: Granodiorita Biotítica

(La muestra se utilizó para petrografía de secciones delgadas)



MUESTRA No: PJ 209. LOCALIZACIÓN: Mina El Cedral

Veta de cuarzo lechoso con interdigitación de cuarzodioritas biotíticas, pirlita cristalina 5% en puntos y nidos.

Clasificación: Veta de cuarzo



MUESTRA No: PJ 211. LOCALIZACIÓN: Cuenca Bache-Santa María-La Lupa

Roca ígnea volcánica, gris oscura, de textura hipocristalina, porfiritica, rica en biotita secundaria, alteración potásica.

Clasificación: Dacita con alteración potásica.



MUESTRA No: PJ 217. LOCALIZACIÓN: Cuenca Bache-Santa María-La Lupa
Roca ígnea intrusiva, gris clara, holocristalina, fanerítica, granulación media.
Compuesta mineralógicamente por cuarzo, plagioclasa, máficos principalmente biotita, hornblenda.
Clasificación: Granodiorita Biotítica



MUESTRA No: PJ 224. LOCALIZACIÓN: Mina San Jorge, San Luis, Neiva
Roca ígnea intrusiva, de color rosado 5R 6/2 dura, fresca, holocristalina fanerítica inequigranular. Compuesta mineralógicamente por cuarzo lechoso subhedral, 5%, ortoclasa anhedral a subhedral 60% feldspatos 20% minerales melanocráticos (biotita, piroxenos anfíboles) 15%
Clasificación: Sienita Alcalina



MUESTRA No: PJ 225. LOCALIZACIÓN: Mina el Dorado, San Luis, Neiva

Roca ígnea intrusiva, de color rosado 10R 6/2, de textura holocristalina, fanerítica. Compuesta mineralógicamente por cuarzo lechoso anhedral a subhedral 15%, ortoclasa 60%, plagioclasa 5%, minerales máficos (biotita, piroxenos) 20%.
Clasificación: Sienita

MUESTRA No: PJ 255. LOCALIZACIÓN: Mina Los Azules, San Luis, Neiva

Roca ígnea piroclástica de color beige 10R 8/2, oxidada. Compuesta mineralógicamente por tobas y texturalmente conformada por arena, la roca se encuentra altamente silificada por alteración hidrotermal.
Clasificación: Toba silificada



MUESTRA No: PJ 256. LOCALIZACIÓN: El Pital

Brecha volcánica de composición riolítica de color rojizo 5R 4/2, brecha conformada por fragmentos subredondeados a subangulares, los fragmentos líticos son de composición riolítica embebidos en una matriz riolítica con pirolusita.
Clasificación: Riolita

(La muestra se utilizo para petrografía de secciones delgadas)



MUESTRA No: PJ 264. LOCALIZACIÓN: Altamira

Roca ígnea intrusiva de color rosado 10R 6/2, de textura holocristalina, fanerítica, equigranular fina. Compuesta mineralógicamente por cuarzo 20%, ortoclasa 50%, plagioclasa de tipo albita 15%, minerales máficos de tipo hornblenda 15%, presenta patinas de pirolusita.

Clasificación: Granito



MUESTRA No: PJ 277. LOCALIZACIÓN: Vereda La Julia, San Luis, Neiva

Roca ígnea hipoabisal, dura, fracturada, de color gris claro medio N6, hipocristalina, porfiritica equigranular. Compuesta mineralógicamente por cuarzo hialino anhedral 10%, plagioclasa lechosa localmente seritizada 70%, minerales melanocráticos piroxeno de tipo augito de formas euhedrales de habito agujoso 20%.

Clasificación: Andesita



MUESTRA No: PJ 279. LOCALIZACIÓN: Palermo

Roca ígnea intrusiva de color rosa claro 5YR 8/1, holocristalina. Compuesta mineralógicamente por cuarzo 70%, ortoclasa 10% y plagioclasa 20%.
Clasificación: Cuarzodiorita



MUESTRA No: PJ 368. LOCALIZACIÓN: Teruel, Mina Diomate

Roca ígnea intrusiva de color gris medio N4, de tipo cuarzodiorítico zonificada, con concentración de minerales máficos de tipo hornblenda de tipo subhedral, macroscópicamente de cristales grandes.
Clasificación: Cuarzodiorita hornblendica



MUESTRA No: PJ 431. LOCALIZACIÓN: El Pital

Roca ígnea extrusiva de color rosa 5YR 6/1, dura, fresca, hipocristalina, porfiritica, inequigranular. Compuesta mineralógicamente por cuarzo hialino de formas anhedrales lechoso 20%, plagioclasa de color blanco lechoso anhedral fresca 15%, ortoclasa con cristales anhedrales localmente a subhedrales 60%, minerales máficos anfíboles 5%.

Clasificación:



MUESTRA No: PJ PAL 06. LOCALIZACIÓN: Santa María

Roca ígnea de origen piroclástico de color gris verdoso 5G 4/1, seudoestratificada, presentando niveles de tobas y niveles volcánicos, los niveles de tobas son verdes oscuros a negruzcos, las tobas están conformadas texturalmente por arena y ceniza soldada, los niveles lávicos poseen una textura porfiritica y de composición dacítica.

Clasificación: Toba



MUESTRA No: PJ PAL 09. LOCALIZACIÓN: Santa María

Roca ígnea de color gris claro N6, de origen piroclástico cortada por venas milimétricas de calcita, texturalmente conformada por fragmentos de arena y ceniza de composición lítica.

Clasificación: Toba lítica con alteración propili



MUESTRA No: PJ 4Q-HONDA

Roca ígnea hipoabisal, de color grisáceo a verde 5B 5/1, afanítica fina, equigranular y de composición dacítica, las diaclasas se encuentran rellanas de sulfuros de tipo pirita de formas pseudocúbicas, dodecaedricas y anhedrales. El relleno de fractura con sulfuros genera porosidad secundaria.

Clasificación: Dique dacítico



MUESTRA No: PJ HML 03. LOCALIZACIÓN: Santa María

Roca ígnea intrusiva de color claro N5, dura, fresca, fracturada, de textura holocristalina, fanerítica, equigranular, oxidada con venas de cuarzo lechoso. Compuesta mineralógicamente por cuarzo hialino traslucido de formas anhedrales 30%, plagioclasa de aspecto lechoso de formas anhedral a subhedral localmente alterada a sericita 50%, minerales melanocráticos (anfíboles localmente degradados a biotita) 20%.

Clasificación: Cuarzodiorita



MUESTRA No: PJ 011304. LOCALIZACIÓN: Teruel, Finca primavera

Roca ígnea intrusiva de color gris claro N5, dura, fresca, de textura holocristalina, fanerítica, equigranular fina. Compuesta mineralógicamente por cuarzo hialino traslucido y lechoso 20%, plagioclasa sericitizada 50%, minerales máficos (hornblendas, biotita) 20%

Clasificación: Cuarzo monzonita

MUESTRA No: PJ 12039193

Roca ígnea extrusiva de color 5P 4/2, texturalmente es hipocristalina, porfiritica, inequigranular. Compuesta mineralógicamente por cuarzo hialino de formas anhedrales 20%, ortoclasa de formas anhedrales a subhedrales 50%, plagioclasas de formas anhedrales 10%, matriz 20%. Localmente los minerales máficos están alterados a epidotas estos están fracturados generando porosidad secundaria.
Clasificación: Riolita



MUESTRA No: PJ 12039197. LOCALIZACIÓN: Hobo

Roca ígnea extrusiva de color verde claro grisáceo 5GY6/1, fresca de textura afanítica, hipocristalina, equigranular. Compuesta mineralógicamente por clorita producto de alteración de los minerales máficos.
Clasificación: Dacita clorítica



MUESTRA No: PJ 4247. LOCALIZACIÓN: Teruel, Finca primavera

Roca ígnea intrusiva de color amarillo claro 5YR 7/2 de textura holocristalina, fanerítica, muy fina compuesta mineralógicamente por cuarzo 30%, plagioclasa 60% minerales máficos 10%, la roca se encuentra mineralizada con pirita en puntos y nidos

Clasificación: Cuarzodiorita

ANEXO 2 Descripción de Muestras

No.	MUESTRA	COORDENADAS			LOCALIZACION	CLASIFICACION
		ESTE	NORTE	ALTURA		
1	PJ-034	814156	777933	1157	Rio Yaguaracito. La Hondura	Riolita
2	PJ-058	831741	793357	1050	Teruel	Alaskita
3	PJ-060	838335	835775	900	Santamaría	Toba silicea
4	PJ-095	794148	767178	1100	Aranzazu	Hornblendita
5	PJ-103	792839	765408	1100	Mina de hierro vía Belarcazar	Magnetita
6	PJ-107	856171	773497	596	Hobo	Dacita
7	PJ-108	807532.62	742362.053	1140	Vía La Plata-Pital	Riolita Microclina
8	PJ-109	808293.05	741918.926	1044	Vía La Plata-Pital	Riolita
9	PJ-110	811860.62	744608.324	1153	Vereda Chimbayaco (Pital)	Brecha Volcanica
10	PJ-112	812149.91	744540.457	1200	Vereda Chimbayaco (Pital) (cuenca quebrada La facunda)	Jade
11	PJ-117	838135	834653	1700	Vereda La Julia, San Luis	Basalto
12	PJ-118	811739.5	746724.549	1152	Vereda Chimbayaco (Pital)	Aglomerado Silicio
13	PJ-125	791929.15	740204.536	1355	Gallego (Vía La Plata)	Granito Rosado
14	PJ-126	792227.61	739626.703	1335	cuenca del rio Loro (Gallego-La Argentina)	Granito Rosado
15	PJ-127	791662.59	739113.542	1347	Bajo Pescador (La Argentina)	Dacita Argelica
16	PJ-129	791964.61	737981.543	1385	La Argentina	Granito Alaskitico (porfido granitico)
17	PJ-133	791939.73	741480.512	1332	Vía Gallego-La Plata	Granito Rosado
18	PJ-135	793519.41	744955.313	1259	Gallego (Vía La Plata)	Andesita
19	PJ-136	793555.4	745366.66	1273	Gallego-Villa Lozada	Silice Agatizada
20	PJ-137	793557.24	745371.721	1274	Gallego-Villa Lozada	Andesita
21	PJ-141	807575.08	745440.945	1906	El Socorro-Alpes (El Pital)	Riolita Argilizada
22	PJ-145	809492.75	746397.191	1909	Peña Negra-El Socorro	Aglomerado Piroclastico
23	PJ-148	797074.85	762512.792	1044	Vía La Plata-Aranzazu (sector Laderas)	Cuarzo diorita
24	PJ-150	796926.83	724925.227	1121	quebrada Honda	Granodiorita Biotitica
25	PJ-151	795574.83	765676.85	1134	margen izquierda de la quebrada Honda afluente 2	Roca Silificada
26	PJ-152	829724.23	789337.837	935	puente rio Iquira (Valencia)	Dacita
27	PJ-159	825967.23	787858.045	1536	puente quebrada Grande (Iquira)	Andesita

28	PJ-160	827819	785418			
29	PJ-161	827819	785418			
30	PJ-162A	827819	785418			
31	PJ-162B	827819	785418			
32	PJ-163A	827819	785418			
33	PJ-163B	827819	785418		Pacarni	Riolitas Tobas Líticas Lodolitas
34	PJ-164	834123.17	797488.321	1042	puente quebrada La Cerrera (Iquira)	Andesita Mineralizada
35	PJ-165	833922.8	797560.008	1061	Bajo Primavera (Iquira)	Diorita
36	PJ-166	833499.74	797586.616	1111	Bajo Primavera (Iquira)	Granodiorita
37	PJ-167	832758.51	797582.126	1172	Bajo Primavera (Iquira)	Diorita Hornblendica
38	PJ-168	832297.1	798092.761	1218	escuela La Primavera	Granodiorita Silificada
39	PJ-169	831280.02	798047.51	1344	cuenca Los cerreros (Iquira)	Granodiorita
40	PJ-173	834414.4	797895.754	1015	vías Pedernal-Minas (Teruel)	Granodiorita Biotítica
41	PJ-179	833381.91	799125.655	1419	Alto Gualpi	Cuarcita
42	PJ-181	833022.16	798828.106	1469	Alto de Jesus	Cuarcita Mineralizada
43	PJ-184	832875.21	817569.861	1293	Santa María	Cuarcita (toba silicia recristalizada)
44	PJ-185	833047.99	817737.42	1298	Santa María	Granodiorita con alteración potásica
45	PJ-185A	833555	794396		Mina Diomate, Teruel	Cuarzo diorita hornblendica
46	PJ-186	833105.06	817925.323	1296	Santa María cuenca rio Bache	Granito
47	PJ-187	823311.29	817762.902	1291	Santa María cuenca rio Bache	Andesita
48	PJ-188	833495.16	818243.844	1291	Santa María cuenca rio Bache	Toba Silicia
49	PJ-191	834239.46	818435.525	1275	Santa María cuenca rio Bache	Toba Agatizada
50	PJ-192	834352.89	818203.003	1302	Santa María cuenca rio Bache	Toba Agatizada
51	PJ-195	834838.07	817289.918	1301	cantera de Mármol	Diorita Hornblendica
52	PJ-196	835009.62	817464.442	1174	Bache	Granodiorita
53	PJ-199	830537.45	817272.634	1357	vía Santa María-San Joaquín	Granodiorita Biotítica
54	PJ-200	830143.61	817293.165	1400	La Herradura-Santa María	Granito
55	PJ-201	829446	817175	1437	Vía San Joaquín-puente Bache	Granodiorita alterada propílicamente
56	PJ-202	828528.79	817388.043	1484	Vereda El Encanto-Santa María	Granodiorita Biotítica
57	PJ-205	827893.63	815520.979	1604	Vía El Carmen-Santa María	Granodiorita Biotítica
58	PJ-209	827175.28	815615.264	1717	Mina El Cedral	Veta de cuarzo
59	PJ-211	835531.09	817520.995	1121	cuenca Bache-Santa María-La Lupa	Dacita con alteración potásica

60	PJ-215	837493.74	817847.35	1034	cuenca Bache-Santa Maria-La Lupa	Granito Rosado
61	PJ-217	838910.69	818502.578	954	cuenca Bache-Santa Maria-La Lupa	Granodiorita Biotítica
62	PJ-224	836634	829892	1800	Mina San Jorge, San Luis, Neiva	Sienita Alcalina
63	PJ-225	836926	830356	1800	Mina el Dorado, San Luis, Neiva	Sienita
64	PJ-255	838009	833692	1900	Mina Los Azules, San Luis, Neiva	Toba silificada
65	PJ-256	807281	743631		El pital	Riolita
66	PJ-264	818825	722509		Altamira	Granito
67	PJ-277	839152	834159	1900	Vereda La Julia, San Luis, Neiva	Andesita
68	PJ-279	843000	823060		Palermo	Cuarzodiorita
69	PJ-368	832261	796217	1150	Teruel, Mina Diomate	Cuarzodiorita hornblendica
70	PJ-431	816453	749889		El pital	
71	PJ-PAL-06	846872	826677	865	Santa Maria	Toba
73	PJ-PAL-09	846539	826644	1162	Santa Maria	Toba lítica con alteración propílica
74	PJ-M-03	845516	826661		Santa Maria	Cuarzodiorita
75	PJ-011304	831990	793347	965	Teruel, Finca primavera	Cuarzo monzonita
76	PJ-12039197	851156	769235		Hobo	Dacita clorítica
77	PJ-4247	831843	793394	973	Teruel, Finca primavera	Cuarzodiorita