



DUNIA CONSULTORES LTDA



Agencia Nacional de Hidrocarburos
República de Colombia

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA EN EL ÁREA DE LA SUBCUENCA ATRATO - SAN JUAN, DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ

CONTRATO O78 DE 2005

INFORME DE INTEGRACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA DE CAMPO

Realizado por los Geólogos:

**JUAN MANUEL HERRERA GONZÁLEZ
EDGAR GILBERTO ARCINIEGAS MILLÁN
ALEXANDER PIRAGUA ALARCÓN
RIGO ALFREDO RAMÍREZ JIMÉNEZ
CARLOS ALBERTO MÉNDEZ CORTES
JAIRO NARANJO RUIZ**

DUNIA CONSULTORES LTDA

BOGOTA D.C., 13 DE JUNIO DE 2006

**TABLA DE CONTENIDO**

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE TABLAS	II
LISTA DE ANEXOS	III
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1 LOCALIZACIÓN	3
1.1 ACCESO Y COMUNICACIONES DEL ÁREA ATRATO-SAN JUAN	3
1.2 METODOLOGÍA	4
1.2.1 <i>Compilación, análisis y evaluación de la información existente</i>	5
1.2.2 <i>Interpretación fotogeológica y de sensores remotos</i>	5
1.2.3 <i>Comprobación de campo</i>	5
1.2.4 <i>Transectas con énfasis estructural</i>	6
1.2.5 <i>Levantamiento de columnas estratigráficas y muestreo</i>	7
1.2.6 <i>Análisis, edición y digitalización de los diferentes productos a entregar</i>	10
2 RESUMEN BIBLIOGRÁFICO	11
2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	11
2.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA REGIONAL	12
3 UNIDADES CARTOGRÁFICAS	14
3.1 COMPLEJO SANTA CECILIA - LA EQUIS (K ₂ SC)	14
3.2 FORMACIÓN IRÓ (E ₁₋₂ I)	17
3.2.1 <i>Formación Iró, segmento inferior</i>	19
3.2.2 <i>Formación Iró, segmento superior</i>	20
3.3 PLUTÓN DE LA ESPERANZA (N ₁ PE)	20
3.4 GRUPO SAN JUAN (MIOCENO INFERIOR)	21
3.4.1 <i>Formación Istmina (N₁i)</i>	21
3.4.2 <i>Formación Conglomerados de La Mojarra (N₁cm)</i>	24
3.4.3 <i>Depósitos Cuaternarios (Qt, Qal)</i>	25
4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	27
4.1 TRAVERSAS ESTRUCTURALES	27
4.1.1 <i>Transecta Río San Juan</i>	27
4.1.2 <i>Transecta Río Iró</i>	28
4.1.3 <i>Transecta Quebrada Muchidó</i>	29
4.1.4 <i>Alrededores de Santa Rita</i>	29
4.1.5 <i>Transecta Río Tadocito</i>	30
4.1.6 <i>Transecta Río Chato – Q. La Larga</i>	30
4.1.7 <i>Transecta Río Mongarrá</i>	31
4.1.8 <i>Transecta Quebradas Profundó & Colorado</i>	31
4.1.9 <i>Transecta Río Condoto</i>	31
4.1.10 <i>Transecta Quebrada Apartadó – Tirado</i>	32
4.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO	33
4.3 PLIEGUES	33
4.3.1 <i>Anticlinal de La Cuelga</i>	33
4.3.2 <i>Anticlinal de Colorado</i>	34
4.3.3 <i>Anticlinal de Chirrinchá</i>	34
4.3.4 <i>Anticlinal de Nápera</i>	34



4.3.5	<i>Anticlinal El Paso</i>	35
4.3.6	<i>Sinclinal de La Sierra</i>	36
4.3.7	<i>Sinclinal de La Mojarra</i>	36
4.3.8	<i>Sinclinal de Zambullidero</i>	36
4.3.9	<i>Sinclinal de La Trinidad</i>	37
4.4	FALLAS Y LINEAMIENTOS	37
4.4.1	<i>Falla de San Juan</i>	37
4.4.2	<i>Falla de Chato</i>	37
4.4.3	<i>Falla de La Mojarra</i>	38
4.4.4	<i>Falla de Iró</i>	38
4.4.5	<i>Falla de Tadocito</i>	39
4.4.6	<i>Lineamiento de Pacurundú</i>	39
4.4.7	<i>Lineamiento El Convento</i>	39
4.5	ESTRUCTURAS MENORES	39
4.5.1	<i>Fracturas</i>	39
4.5.2	<i>Pliegues Menores</i>	43
4.5.3	<i>Fallas</i>	45
4.5.4	<i>Determinación de los ejes de esfuerzo principales</i>	45
4.5.5	<i>Elipse de deformación y estilo estructural</i>	49
5	ESTRATIGRAFÍA	51
5.1	SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS DE CAMPO.....	51
5.1.1	<i>Sección Estratigráfica Quebrada San Bernabé (Anexo 7.1)</i>	51
5.1.2	<i>Sección Estratigráfica Quebrada Santa Catalina 1 (Anexo 7.2)</i>	53
5.1.3	<i>Sección Estratigráfica Quebrada Santa Catalina 2 (Anexo 7.3)</i>	54
5.1.4	<i>Sección Estratigráfica Quebrada Manantial (Anexo 7.4)</i>	55
5.1.5	<i>Sección Estratigráfica Quebrada La Cuelga (Anexo 7.5)</i>	56
5.1.6	<i>Sección Estratigráfica Quebrada La Larga (Anexo 7.6)</i>	57
5.1.7	<i>Sección Estratigráfica Quebrada Manungará (Anexo 7.7)</i>	58
5.1.8	<i>Sección Estratigráfica Río San Juan (Anexo 7.8)</i>	59
5.2	FORMACIÓN IRÓ.....	60
5.2.1	<i>Facies</i>	60
5.2.2	<i>Ambiente</i>	63
5.3	FORMACIÓN ISTMINA	65
5.3.1	<i>Facies</i>	65
5.3.2	<i>Ambiente</i>	69
5.4	FORMACIÓN CONGLOMERADOS DE LA MOJARRA	72
5.4.1	<i>Facies</i>	72
5.4.2	<i>Ambiente</i>	74
6	MICROESTRATIGRAFÍA.....	76
6.1	MUESTRA #: 1-CM-76.....	76
6.2	MUESTRA #: 2-CM-86.....	76
6.3	MUESTRA #: 3-CM-126.....	77
6.4	MUESTRA #: 4-CM-140.....	77
6.5	MUESTRA #: 5-CM-158.....	77
6.6	MUESTRA #: 6-CM-157.....	78
6.7	MUESTRA #: 7-CM-30.....	78
6.8	MUESTRA #: 8-QSB-2.....	78
6.9	MUESTRA #: 9-QSB-4.....	79
6.10	MUESTRA #: 10-QSB-20.....	79
6.11	MUESTRA #: 11-QSB-26.....	80
6.12	MUESTRA #: 12-QSB-31.....	80



6.13	MUESTRA #: 13-QSB-40	80
6.14	MUESTRA #: 14-QSB-49	81
6.15	MUESTRA #: 15-QSB-55	81
6.16	MUESTRA #: 16-QSB-58	81
6.17	MUESTRA #: 17-QSB-60	81
6.18	MUESTRA #: 18-QSB-64	82
6.19	MUESTRA #: 19-QLL-2	82
6.20	MUESTRA #: 20-QLL-4	82
6.21	MUESTRA #: 21-QLL-17	83
6.22	MUESTRA #: 22-QLL-46	83
6.23	MUESTRA #: 23-QLL-56	83
6.24	MUESTRA #: 24-EA-32	84
6.25	MUESTRA #: 25-EA-60	84
7	CORRELACION (ANEXO 8).....	85
8	EVOLUCIÓN GEOLÓGICA ÁREA DE ESTUDIO	86
9	GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO.....	88
9.1	ROCA GENERADORA	88
9.2	ROCA RESERVORIO.....	88
9.3	ROCA SELLO	89
9.4	REZUMADEROS ÁREA DE ESTUDIO	89
10	CONCLUSIONES	91
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen radarsat con localización del área de estudio.....	4
Figura 2. Toma de gamma ray.....	9
Figura 3. Esquema tectónico regional.....	13
Figura 4. Columna generalizada de la Subcuenca Atrato San Juan.....	15
Figura 5. Afloramientos de rocas volcánicas y piroclásticas del Complejo Santa Cecilia La Equis.....	16
Figura 6. Mudstones y shales con concreciones del segmento inferior de la Formación Iró.....	20
Figura 7. Mudstone finamente laminado y ligeramente bioturbado en la Quebrada Profundó.....	20
Figura 8. Plutón de La Esperanza. Afloramiento de dioritas en el Río Muchidó.....	21
Figura 9. Formación Istmina. Capas medias subtabulares, de litoarenitas.....	22
Figura 10. Formación Istmina. Capas medias subtabulares, de litoarenitas.....	23
Figura 11. Formación Conglomerados de La Mojarra.....	25
Figura 12. Transecta Río San Juan.....	27
Figura 13. Transecta Río Iró.....	28
Figura 14. Transectas en alrededores a Santa Rita.....	29
Figura 15. Transecta Río Tadocito.....	30
Figura 16. Transecta Río Chato – Quebrada La Larga.....	30
Figura 17. Transecta Quebradas Profundó.....	31
Figura 18. Transecta Río Condoto.....	32
Figura 19. Transecta Quebrada Apartadó - Tirado.....	32
Figura 20. Diagrama rosa de fracturas y estereograma de datos cinemáticos (Anticlinal de Chirrinchá).....	34
Figura 21. Diagrama rosa de fracturas y estereograma de datos cinemáticos (Anticlinal de Ñápera).....	35
Figura 22. Diagrama rosa de fracturas en el Complejo Santa Cecilia La Equis y la Formación Conglomerados de la Mojarra. Estereograma de datos cinemáticos (Formación Conglomerados de La Mojarra).....	35
Figura 23. Diagrama rosa de fracturas y estereograma de indicadores cinemáticos (Sinclinal de La Mojarra).....	36
Figura 24. Diagrama rosa de fracturas y estereograma de indicadores cinemáticos (Falla de san Juan).....	37
Figura 25. Diagrama rosa de fracturas y estereogramas de indicadores cinemáticos (Falla de Chato).....	38
Figura 26. Diagrama rosa de fracturas y estereogramas de indicadores cinemáticos (Falla de Tadocito).....	39
Figura 27. Proyección estereográfica de centroides y planos representativos de familias de fracturas en diabasas del Complejo Santa Cecilia – La Equis.....	40
Figura 28. Proyección estereográfica de centroides y planos representativos de familias de fracturas en diques del Complejo Santa Cecilia – La Equis.....	40
Figura 29. Proyección estereográfica de centroides y planos representativos de familias de fracturas en rocas sedimentarias y piroclásticas del Complejo Santa Cecilia – La Equis.....	41
Figura 30. familias de fracturas sistemáticas en wackestones y cherts de la Formación Iró.....	41
Figura 31. Proyección estereográfica de polos, centroides y planos de familias de fracturas en rocas de la Formación Iró.....	42
Figura 32. Proyección estereográfica de centroides y planos representativos de familias de fracturas en rocas de la Formación Istmina.....	42
Figura 33. Proyección estereográfica de centroides y planos representativos de familias de fracturas en rocas de la Formación Conglomerados de La Mojarra.....	43
Figura 34. Pliegues chevron en la Formación Iró.....	44
Figura 35. Pliegues en chert gris de la Formación Iró (Quebrada La Cuelga) y Formación Istmina (Quebrada San Bernabé).....	44
Figura 36. Proyección estereográfica de ejes de pliegues y polos de estratificación (Anticlinal de Ñápera).....	44
Figura 37. Proyección estereográfica de ejes de pliegues y polos de estratificación (Sinclinal de La Mojarra).....	45
Figura 38. Proyección estereográfica de planos de movimiento (M).....	47
Figura 39. Contornos de densidad de polos de los planos de movimiento.....	47
Figura 40. Diagrama rosa con dirección del esfuerzo principal mayor.....	48
Figura 41. Proyección estereográfica de planos estriados con dirección de esfuerzos principales (método de Angelier, 1979; Marrett & Almendiegeer, 1990).....	48
Figura 42. Elipse de deformación resultante para el área de estudio.....	50
Figura 43. Localización de las secciones estratigráficas levantadas.....	51
Figura 44. Espesor levantado de las formaciones Iró e Istmina en la Quebrada San Bernabé.....	52



Figura 45. Espesor de facies medidas de las formaciones Iró e Istmina en la Quebrada San Bernabé	52
Figura 46. Espesor levantado de la Formación Iró en la sección Santa Catalina 1	53
Figura 47. Espesor de facies medidas de la Formación Iró en la sección Santa Catalina 1	53
Figura 48. Espesor levantado de la Formación Istmina en la sección Santa Catalina 2	54
Figura 49. Espesor de facies medidas de la Formación Istmina en la sección Santa Catalina 2	54
Figura 50. Espesor levantado de la Formación Iró en la Quebrada Manantial.....	55
Figura 51. Espesor de facies medidas de la Formación Iró en la Quebrada Manantial.....	55
Figura 52. Espesor levantado de la Formación Iró en la Quebrada La Cuelga	56
Figura 53. Espesor de facies medidas de la Formación Iró en la Quebrada La Cuelga.....	56
Figura 54. Espesor levantado de las formaciones Iró, Istmina y Conglomerados de La Mojarra en la Quebrada La Larga.....	57
Figura 55. Espesor de facies medidas de las formaciones Iró, Istmina y Conglomerados de La Mojarra en la Quebrada La Larga	58
Figura 56. Espesor levantado de las formaciones Iró e Istmina en la Quebrada Manungará	58
Figura 57. Espesor de facies medidas de las formaciones Iró e Istmina en la Quebrada Manungará	59
Figura 58. Espesor levantado de la Formación Conglomerados de la Mojarra en el Río San Juan	59
Figura 59. Espesor de facies medidas de la Formación Conglomerados de la Mojarra en el Río San Juan.....	60
Figura 60. Espesor de facies medidas de la Formación Iró en las secciones levantadas	60
Figura 61. Geometría subtabular de las arenitas	61
Figura 62. Geometría de las capas de calizas tipo wackestone/packstone de foraminíferos. Facies W/Pf. Sección Quebrada La Cuelga.	62
Figura 63. Capas subtabulares de chert. Facies Ch. Sección Quebrada La Cuelga.....	63
Figura 64. Espesor de facies medidas de la Formación Istmina en las secciones levantadas.....	65
Figura 65. Brecha oligomíctica. Nótese la angularidad de los clastos de chert y calizas en la brecha. Sección Quebrada Manungará.....	65
Figura 66. Laminación en la capa gruesa de arenita	66
Figura 67. Intervalos bioturbados en arenitas laminadas. Sección Quebrada San Bernabé	67
Figura 68. Ondulitas de corriente moderadamente bioturbadas. Sección Quebrada San Bernabé.....	67
Figura 69. Sucesión de capas muy delgadas de arcillolitas. Sección Quebrada La Larga	68
Figura 70. Capas delgadas de mudstone	69
Figura 71. Espesor de facies medidas de la Formación Conglomerados de La Mojarra en las secciones levantadas	72
Figura 72. Aspecto de los conglomerados matriz soportados	72
Figura 73. Aspecto de las arenitas conglomeráticas	73
Figura 74. Nótese las interposiciones de arenitas subtabulares a lenticulares.....	73
Figura 75. Rezumaderos Q. El Padre.....	89
Figura 76. Rezumadero Q. Santa Rosa	90
Figura 77. Detalle de los sitios de rezumadero. Quebrada El Padre y Quebrada Santa Rosa	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del área del estudio, origen Bogotá (N=1'000000, E=1'000000).....	3
Tabla 2. Correlación estratigráfica.....	19
Tabla 3. Indicadores cinemáticos y planos de movimiento de fallas del área de estudio.....	46
Tabla 4. Resultados análisis por método grafico y numérico.....	49
Tabla 5. Facies de la Formación Iró.....	64
Tabla 6. Asociación de facies y ambiente de depósito de la Formación Iró	64
Tabla 7. Facies y ambiente de depósito de la Formación Istmina.....	71
Tabla 8. Asociación de Facies y ambiente de depósito de la Formación Istmina	71
Tabla 9. Facies de la Formación Conglomerados de La Mojarra.....	74
Tabla 10. Asociación de facies y ambiente de depósito de la Formación Conglomerados de La Mojarra	75



LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1	Informe final de la Fase 1 (con tabla compilación de correlación estratigráfica)
ANEXO 2	Mapa fotogeológico (1:50000) & Fotoíndice
ANEXO 3	Mapa de estaciones de campo (1:25000)
ANEXO 4	Mapa geológico (1:25000) y (1:100000)
ANEXO 5	Mapa estructural (1: 100000)
ANEXO 6	Cortes geológicos (1:25000)
ANEXO 6.1	Corte A-A'
ANEXO 6.2	Corte B-B'
ANEXO 6.3	Corte C-C'
ANEXO 7	Columnas estratigráficas
ANEXO 7.1	Quebrada San Bernabé
ANEXO 7.2	Quebrada Santa Catalina 1
ANEXO 7.3	Quebrada Santa Catalina 2
ANEXO 7.4	Quebrada Manantial
ANEXO 7.5	Quebrada La Cuelga
ANEXO 7.6	Quebrada La Larga
ANEXO 7.7	Quebrada Manungará
ANEXO 7.8	Río San Juan
ANEXO 8	Perfiles de correlación estratigráfica columnas con pozo cercano
ANEXO 9	Base de datos estaciones & lectura de rayos gama
ANEXO 10	Fotografías de campo
ANEXO 11	Listado de muestras
ANEXO 12	Formatos Estaciones de Campo



RESUMEN

El área de estudio se encuentra localizada al occidente de Colombia en la Costa Pacífica y flanco oeste de la Cordillera Occidental. Afloran en la zona unidades del Cretácico al reciente; la unidad más antigua, el Complejo Santa Cecilia – La Equis del Cretácico superior, conforma el piedemonte occidental de la Cordillera Occidental al este de la zona de trabajo. En el valle del Río San Juan, aflora la sucesión terciaria del Pacífico, representada por la Formación Iró del Paleoceno-Eoceno superior y el Grupo San Juan del Mioceno inferior. El Complejo Santa Cecilia La Equis está compuesto por basaltos, diabasas, tobas, aglomerados con paquetes de arcillolitas y limolitas intercalados. La parte inferior de esta unidad está compuesta de arcillolitas, limolitas, calizas y arenitas con esporádicas intercalaciones de materiales piroclásticos. La Formación Iró está compuesta por calizas de color gris claro verdoso, cherts, arcillolitas físis grises claras y algunos paquetes esporádicos de arenitas. La sucesión se encuentra intruída por silos de dimensión variable y composición gabroide a cuarzodiorítica. El Grupo San Juan está dividido en tres unidades: Formación Istmina, Formación Conglomerados de La Mojarra y Formación Condoto. De las tres unidades en el área de estudio se presentan las dos primeras, siendo la Formación Conglomerados de La Mojarra la que ocupa mayor superficie en el área de trabajo (40% aproximadamente). La Formación Istmina está compuesta de litoarenitas, limolitas y arcillolitas, de color gris claro a oscuro. La Formación Conglomerados de La Mojarra se compone de un conjunto de conglomerados de guijos, cantos y bloques de basaltos, diabasas, rocas piroclásticas, calizas, cherts y dioritas. La sucesión terciaria descansa inconforme sobre las rocas volcánicas del Complejo Santa Cecilia La Equis.

El área se encuentra en la denominada Zona Deformada de Istmina (Duque-Caro, 1990b), un área compleja desde el punto de vista estructural. Las estructuras del área presentan una orientación predominante N50E, con una ligera variación a Este – Oeste en el sector oriental, cerca al piedemonte de la Cordillera Occidental. Se destacan tres estructuras regionales: la Falla de San Juan, inversa de alto ángulo con vergencia al NW, el Sinclinal de La Mojarra y el Anticlinal de Ñápera cuyo núcleo se encuentra conformado por las rocas más antiguas del área de estudio: El Complejo Santa Cecilia La Equis. El último evento desarrollado en el área se encuentra manifestado por fallamiento inverso con un componente de rumbo dextral importante. El esfuerzo principal mayor para este evento tuvo una orientación con una fuerte tendencia N-S.

La Formación Iró presenta manifestaciones de hidrocarburos en superficie tales como aceite seco en fracturas, roca impregnada y rezumaderos de petróleo. La presencia de estas manifestaciones indica la existencia de generación y migración de hidrocarburos en la cuenca a través de los sistemas de fracturas, lo cual adicionalmente indica la existencia de porosidades (secundaria por fracturamiento) y permeabilidades óptimas en las rocas de esta unidad.



INTRODUCCIÓN

La Agencia Nacional de Hidrocarburos otorgó mediante el contrato No 078 de 2005 a Dunia Consultores Ltda la realización de la “Cartografía Geológica en el Área de la Subcuenca Atrato - San Juan, Departamento del Chocó”. El presente informe integrado es el documento final producto de 5 meses de trabajo en oficina y campo, desarrollado de acuerdo con los términos de referencia y plazos estipulados en los cronogramas de trabajo de la entidad contratante.

La zona de estudio geológico cubre un área de 540 Km² ubicada al sur de Quibdó, en inmediaciones de los municipios de Playa de Oro, Tadó, Istmina, Santa Rita y Condoto, en la cual se llevó a cabo control estructural mediante la revisión detallada de 140 Km. de transectas con énfasis estructural a lo largo de caminos, ríos y quebradas de la zona; igualmente se levantaron 2.483 m en 8 columnas estratigráficas de unidades Terciarias en los sectores con mejor calidad de afloramientos y se generó un mapa geológico a escala 1:25000, integrando toda la información de campo.

En el trabajo de campo se colectaron 291 muestras de roca para análisis de laboratorio de petrografía, petrofísica, geoquímica y bioestratigrafía, además de 9 rezumaderos encontrados en la zona de interés. Este material fue enviado oportunamente a la Litoteca Bernardo Taborda de la ANH. Finalmente se entregan todos los productos en medio analógico y magnético según lo establecido en los términos de referencia del contrato con la ANH.



1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio está localizada al occidente de Colombia, en el departamento del Chocó en el valle alto del Río San Juan, a unos 280 Km aproximadamente, al occidente de Bogotá. La zona se encuentra ubicada al sur de Quibdó, capital del departamento y cubre parte de las jurisdicciones de los municipios de Tadó, Istmina, Santa Rita y Condoto y los caseríos de Playa de Oro, La Esperanza, Santa Bárbara, Acosó, Santa Ana y El Paso. Está incluida en las planchas (escala 1:25000) 203-II-A, B, C y D, 203-IV-A, B y D, 204-I-A, B, C y D, 204-III-A y C del IGAC. En la **Tabla 1**, se georeferencian las coordenadas del área de trabajo, con origen Bogotá (N=1'000000, E=1'000000).

Tabla 1. Coordenadas del área del estudio, origen Bogotá (N=1'000000, E=1'000000)

Puntos polígono	E	N
P1	721.847	1.053.221
P2	724.835	1.054.726
P3	734.156	1.051.358
P4	734.986	1.055.039
P5	737.154	1.059.319
P6	739.056	1.062.840
P7	742.959	1.068.083
P8	743.087	1.073.891
P9	734.558	1.080.366
P10	729.771	1.077.294
P11	722.665	1.074.790
P12	719.474	1.071.530

1.1 ACCESO Y COMUNICACIONES DEL ÁREA ATRATO-SAN JUAN

El acceso al área de estudio se hace vía área desde Bogotá a Quibdó o desde Medellín a Condoto; vía terrestre Quibdó - Yuto - Cértegui - Las Animas - Tadó (2 horas) por carretera pavimentada casi en su totalidad, ó vía terrestre Pereira - Apia - Pueblo Rico - Santa Cecilia - Tadó (16 horas). Las traversas estructurales se efectuaron por los ríos y quebradas principales en lancha de motor, canoa de palanca o caminando, según el nivel del cauce, de la siguiente manera:

Sector norte:

- Río San Juan: lancha de motor.
- Ríos Tadocito y Mongarrá: canoa de palanca.
- Quebradas Papagayo, Profundó y Colorado: canoa de palanca.

Sector sur:

- Río Iró: lancha de motor y caminando desde Santa Rita dirección aguas arriba.
- Río Condoto: lancha de motor.
- Río Apotó: canoa de palanca cerca de la boca con el Condoto, y caminando hacia la parte media y alta.



- En todas las quebradas afluentes de los ríos Iró y Condoto los recorridos geológicos se efectuaron caminando.

Los Municipios de Istmina y Tadó disponen de comunicación telefónica permanente vía Telecom, Compartel y compañías privadas de telefonía celular que operan sin problemas en la cabecera municipal. En Santa Rita y en casi la totalidad de las áreas rurales opera la compañía Compartel mediante servicio de tarjeta prepago y llamada por cobrar, mediante antenas instaladas en corregimientos y caseríos de difícil acceso fluvial y la comunicación depende de las condiciones de brillo solar que provee energía para el funcionamiento de los equipos.

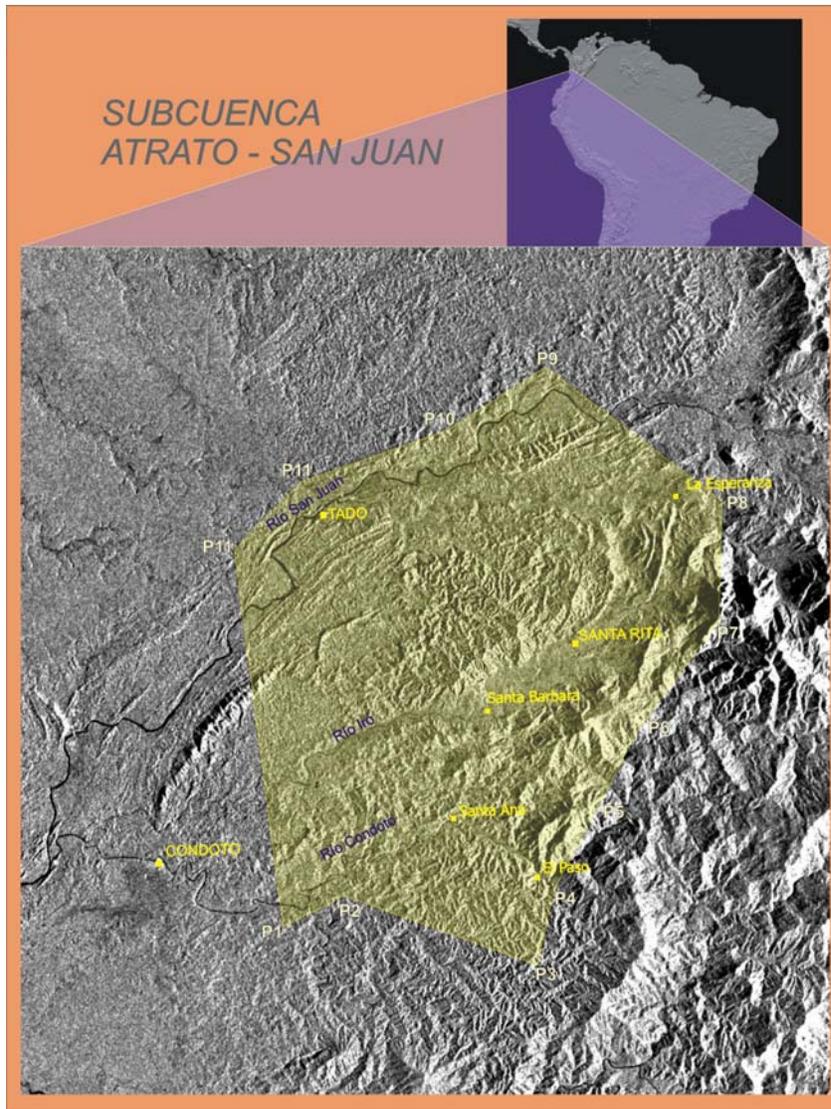


Figura 1. Imagen radarsat con localización del área de estudio.

1.2 METODOLOGÍA

La metodología del presente trabajo se ejecutó estrictamente de acuerdo a lo establecido en el Anexo 5 entregado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos a sus contratistas, como términos de referencia de los trabajos de Geología de campo (Especificaciones Técnicas Generales del Contrato del Trabajo 078 de 2005 - Anexo 5).



A continuación se describe en forma detallada la metodología que se siguió para el logro de los objetivos planteados y la obtención de los productos exigidos por la Agencia Nacional de Hidrocarburos en el área Atrato - San Juan, departamento del Chocó.

1.2.1 Compilación, análisis y evaluación de la información existente

En desarrollo de esta actividad se compiló, analizó y evaluó toda la información geocientífica y cartográfica que se encontró del área del presente estudio. La actividad incluyó la obtención de material cartográfico (mapas, imágenes de satélite y radar, fotografías aéreas) y documental (publicaciones, informes, trabajos de grado) de INGEOMINAS, Biblioteca de la Universidad Nacional, Instituto Geográfico Agustín Codazzi; Igualmente información de la ANH disponible de la zona, para lo cual se consultó y descargó de las diferentes bases de datos del Banco de Información Petrolera (EPIS).

El inventario de la información compilada y analizada se entregó en tablas de formato compatible con Access. Esta relación fue complementada durante el desarrollo de las demás fases del proyecto, en los casos en que se pudo obtener información adicional.

1.2.2 Interpretación fotogeológica y de sensores remotos

Esta actividad se realizó con base en la adquisición e interpretación de fotografías aéreas a una escala 1:43000 y 1:47000 del IGAC y fue complementada con la interpretación de imágenes de radar y satélite disponibles. Las fotografías fueron de aceptable calidad y sin nubes, las cuales tienen disponibilidad libre en el IGAC.

Las fotografías aéreas, imágenes de radar y satélite y demás material necesario de fotointerpretación para cubrir la totalidad del área de trabajo, fueron adquiridas por Dunia Consultores Ltda y entregadas a la ANH al finalizar esta fase y se incluyó la relación de información del material junto con un mapa de localización de las mismas.

Como resultado se obtuvo un mapa fotogeológico en escala 1:50000 con su respectivo informe (ANEXO 2). La fotointerpretación se realizó sobre mapas topográficos del IGAC escala 1: 25000 o de otra fuente de datos, previa autorización por parte del interventor de la ANH, con lo que se tuvo un bosquejo geológico del área a cartografiar, identificando las principales unidades geomorfológicas y litológicas, así como las estructuras geológicas que las afectan.

Terminadas las actividades de compilación y de fotointerpretación la compañía Dunia Consultores Ltda procedió a entregar los productos referidos, en reunión llevada a cabo el día 21 de febrero de 2006 en la ANH - Edificio Guadalupe, previo visto bueno del interventor del proyecto.

1.2.3 Comprobación de campo

La fase de campo constó de las siguientes actividades:

- Cartografía Geológica escala 1: 25000 (ANEXO 4) durante el desarrollo de las transectas con énfasis estructural.
- Levantamiento de Columnas Estratigráficas escala 1:200 (ANEXO 7) y muestreo para petrografía, petrofísica, geoquímica y bioestratigrafía.
- Muestreo de Rezumaderos.

Esta actividad fue ejecutada por 6 Geólogos durante 42 días de campo en los que se obtuvo información geológica de acuerdo con la planificación de transectas estructurales realizada con base en la interpretación fotogeológica. Los recorridos se hicieron siguiendo caminos, y principalmente, ríos y quebradas del área. Los datos de campo fueron consignados en formatos para adquisición de



información en traversas estructurales y levantamiento de columnas suministrados por la interventoría y sobre mapas a escala 1:25000 del IGAC. Durante esta fase se mantuvo constante comunicación con el interventor designado por la ANH, de la compañía Geoestratos Ltda, con el fin de informarlo sobre el avance del proyecto y de las dificultades que se presentaron y que ameritaran la toma de decisiones importantes.

El diseño de los recorridos o transectas estructurales, fue diseñado y realizado con tendencia perpendicular a los ejes de las estructuras geológicas mayores, controlando los contactos entre las unidades geológicas, por lo que se dio libertad de criterio al geólogo de campo para planear y llevar a cabo sus recorridos diarios, siempre de acuerdo al esquema general del supervisor e interventoría del proyecto. Como resultado de esta actividad se obtuvo un mapa de campo (ANEXO 4) con el informe respectivo y cortes geológicos (ANEXO 6) de acuerdo a las transectas estructurales realizadas, en donde se localizaron y describieron las unidades litoestratigráficas cartografiables, incluidos los depósitos cuaternarios, así como las estructuras geológicas. Se elaboró un informe escrito para cada transecta, en el cual se presenta un esquema de acceso especificando sitios geográficos o infraestructura que puedan servir de futura referencia para nuevos trabajos. Todos los datos registraron en azimut de buzamiento y buzamiento, teniendo en cuenta la declinación magnética actual según el IGAC y los términos de referencia.

Terminada la comprobación de campo se presentó copia de los mapas geológicos de campo que resultaron y de los formatos de campo en donde se consignaron las características macroscópicas, sitios de mejores exposiciones y otros rasgos notables, tanto de las unidades litoestratigráficas como de las estructuras geológicas de superficie. Así mismo, se entregó copia de los archivos de localización de los GPS en formato ASCII, de tal forma que se desplieguen en forma gráfica sobre una base topográfica, para corroborar la distribución y densidad de los puntos de control de campo.

1.2.4 Transectas con énfasis estructural

El análisis de las estructuras tectónicas en el área de estudio se realizó con base en la descripción e integración de los elementos y sistemas estructurales medidos en el terreno. Además se representó cada uno de los elementos, conjuntos y sistemas estructurales registrados en cada estación, haciendo referencia al tipo de estructuras observadas.

Los datos estructurales se registraron por estación georreferenciada mediante GPS y en lo posible corresponder a estratificaciones (para el caso de sedimentitas y flujos volcánicos), fracturas (fallas y diaclasas), ejes de pliegue y zonas de cizalla. Debido a la poca continuidad de los afloramientos se efectuó la medición total de las fracturas distinguibles en cada uno de ellos.

La información geológico-estructural recolectada en el campo, fue clasificada de acuerdo con la naturaleza de la misma. Las orientaciones, tanto de los elementos físicos, como de los elementos geométricos fueron registradas y representadas en las figuras generadas, con el azimut de buzamiento y el buzamiento. De esta manera, se elaboró una base de datos (ANEXO 9) ordenados por estaciones, para luego agruparlos según su ubicación geológica, con el fin de identificar conjuntos y sistemas estructurales.

Con la información adquirida se generaron diagramas rosa correspondientes a diaclasas y fallas. Así mismo se generaron estereogramas en la red equiareal, proyectados en el hemisferio inferior, para los polos de la estratificación de los pliegues mayores y se comparó la orientación de ejes de pliegues menores con los regionales obtenidos éstos últimos geométricamente.

Para cada sector, las fallas con indicadores cinemáticos de deslizamiento fueron analizadas por los métodos de Angelier (1979), Alexandrowski (1985), y Marrett & Allmendinger (1990); estos datos se agruparon por áreas para producir un estereograma representativo, el cual se comparó con el elaborado mediante las técnicas estereográficas convencionales. Como resultado final se elaboró una elipse de



deformación, con el propósito de resumir la orientación de las estructuras principales presentes. La interpretación de los datos estructurales fue consignada en el mapa estructural a escala 1:100000.

1.2.5 Levantamiento de columnas estratigráficas y muestreo

Esta actividad fue realizada por dos (2) geólogos de campo, quienes levantaron ocho (8) columnas estratigráficas a escala 1:200 de las Formaciones Iró, Istmina y Conglomerados de La Mojarra (ANEXO 7). La selección de los sitios para el levantamiento de las columnas estratigráficas se acordó con la ANH y la interventoría de Geoestratos Ltda.

Cada columna fue amarrada a una poligonal abierta (ANEXO 7), la cual se levantó a cinta, bastón de Jacob y brújula. Los puntos de inicio y fin de la poligonal que amarraron la columna se georeferenciaron con GPS. La adquisición de los datos se hizo siguiendo las normas de levantamientos de columnas estratigráficas, utilizando instrumentos adecuados: brújula, cinta métrica, bastón de Jacob (1.5 m.), lupa, centillómetro, tablas de colores y granulométricas.

El formato de descripción de la columna estratigráfica contiene una escala de marcación del espesor y de los bastones, una columna con la descripción sedimentológica, en la que se incluyen además estructuras sedimentarias, biológicas y físicas, fósiles, así como también otras en las que se destaca la ubicación de las muestras y fotografías digitales tomadas, fracturas y rellenos de las mismas, grado de bioturbación, cementos, porosidad visual y datos de interpretación tales como facies, ambientes y comentarios sobresalientes de la roca.

Las actividades, tanto de adquisición como de interpretación de los datos producto del levantamiento de las columnas, fueron las siguientes:

- Definición de espesores reales de las sucesiones litológicas.
- Definición de la geometría externa, interna y tipo de contactos.
- Definición de facies y cambios de facies.
- Descripción de la composición y coloración de las rocas, utilizando lupa y diagramas estándares de porcentaje y diagramas triangulares de composición.
- Descripción del perfil granulométrico y variaciones de base a techo de los contactos.
- Descripción e ilustración de las estructuras sedimentarias biológicas y físicas.
- Definición de las relaciones faciales, tanto verticales como horizontales.
- Definición de las sucesiones faciales.
- Definición de mecanismos deposicionales.
- Definición de paleoambientes.
- Descripción e ilustración preliminar del contenido fósil.
- Identificación de pliegues y fallas y definición de las secuencias repetidas o faltantes.

Adicionalmente se tuvieron en cuenta aspectos como:

- La unidad de medida fue el metro.
- Junto con la descripción estratigráfica de detalle se tomaron muestras de roca (ANEXO 11), localizadas y orientadas estratigráficamente en la sucesión, a las cuales posteriormente se les realizaron análisis petrográfico, petrofísico, bioestratigráfico y geoquímico, los cuales no son objeto de este trabajo. Cada muestra está georeferenciada utilizando sistemas de



posicionamiento global (GPS), con las coordenadas correspondientes al sitio de levantamiento de la columna y ubicadas correctamente en la sucesión estratigráfica.

- Las muestras tomadas en campo (ANEXO 11) fueron marcadas siguiendo las directrices de la Litoteca Nacional Bernardo Taborda de la ANH o Fluidoteca Nacional, en donde fueron entregadas. Las muestras recomendadas para hacer algún tipo de análisis se especificó mediante una letra el tipo de análisis de la siguiente forma: PP - Petrografía, PE - Petrofísica, B - Bioestratigrafía, G - Geoquímica.
- El empaque de cada muestra, se realizó en doble bolsa plástica y el código asignado fue marcado con tinta indeleble en cada una de las bolsas, además dentro de cada bolsa va un rótulo con el código de la muestra; ajustada cada una de ellas con cinta plástica de embalaje resistente a la humedad.
- La columna estratigráfica se documentó con fotografías digitales debidamente orientadas para aquellos rasgos de interés (ANEXO 11).
- La información recolectada de muestras de roca y crudo se almacenó en bases de datos compatibles con Access (ANEXO 9).

En el gráfico para cada columna estratigráfica se presenta un mapa esquemático del acceso especificando sitios geográficos e infraestructura que pueda servir de futura referencia.

1.2.5.1 Adquisición de *Gamma Ray* de afloramiento

Las mediciones se realizaron en las columnas estratigráficas levantadas en el área cercana al municipio de Tadó, utilizando marcas de base a techo realizadas con pintura en cada sección. Las marcas para la lectura de la radiación de Rayos Gamma total (U + Th + K) se realizó cada 30 cm estratigráficos (Foto QSB-GAMMA RAY_072). Estas medidas se realizaron con cinta métrica y de forma perpendicular a los planos de estratificación.

Una vez marcados los puntos de control se realizaron 3 lecturas por cada punto seleccionado, utilizando un medidor de cuentas/segundo portátil o centillómetro. El tiempo de lectura de radiación se obtuvo de acuerdo a las especificaciones del centillómetro marca Scintrex Modelo BGS-4, los datos fueron registrados en un formato en el que se relaciona el bastón correspondiente dentro de la columna estratigráfica. Los datos digitales del centillómetro fueron procesados en Excel y se obtuvo el registro gráfico del Gamma Ray, el cual fue integrado al registro litológico de cada sección estratigráfica. El correspondiente archivo con cada lectura de la radiación, fue incluido en la base de datos entregada al final del proyecto junto a los demás elementos requeridos.

1.2.5.2 Toma de Muestras

Paralelamente al levantamiento de las columnas estratigráficas se realizó un muestreo sistemático de roca para caracterizar las unidades litológicas aflorantes (ANEXO 11). Cada muestra fue georreferenciada (con coordenadas obtenidas con GPS con un error máximo de 5 m en la horizontal). Las muestras tomadas fueron marcadas siguiendo las directrices de la Litoteca Nacional Bernardo Taborda de la ANH., a donde fueron enviadas oportunamente. En ejecución de este proyecto se tomaron en campo los siguientes tipos de muestras:

**Figura 2. Toma de gamma ray**

La observación e interpretación de los datos obtenidos permitió definir un patrón de respuesta radioactiva para cada una de las litologías involucradas, lo cual podrá utilizarse a futuro como elemento de correlación con cercanos núcleos y registros de pozos perforados o por perforar. Igualmente quedaron registradas en el formato de descripción de la columna las anomalías locales en las lecturas, producto de pátinas de impurezas y lixiviación asociadas a fracturamientos y meteorización de la roca.



QSB-GAMMA RAY

Muestras para estudio bioestratigráfico: Para el muestreo bioestratigráfico, se recolectaron muestras teniendo en cuenta que el material sea apto para estudios palinológicos y de microfauna. Las muestras fueron distribuidas en la columna estratigráfica de manera que sean representativas de la Formación Iró y del Grupo San Juan. Todas las muestras colectadas fueron referenciadas siempre con las columnas estratigráficas respectivas.

En detalle se siguieron las siguientes especificaciones en el muestreo para análisis bioestratigráfico:

- Tomar 500 gr/muestra.
- Evitar al máximo tomar muestras superficiales.
- Si se estaba sobre una quebrada, se tomó la muestra lo más fresca posible (es decir lo más cercano al cuerpo de agua).
- Evitar al máximo tomar muestras oxidadas o a lo largo de fracturas.
- Evitar sedimentos rojos o de facies muy gruesas.
- En sucesiones con alto contenido de arenas se tomaron muestras de facies finas de una manera representativa dentro de los paquetes arenosos, ya sean delgadas láminas de arcilla preservadas entre canales o intraclastos.
- En facies con alto contenido de carbón se muestreó no solo el nivel de carbón, sino también los niveles finos que estaban infra y suprayaciendo al nivel de carbón.

Dentro del programa de mejoramiento y control de calidad de los trabajos efectuados por Dunia Consultores Ltda. y con el visto bueno de la Interventoría, se escogieron 25 muestras para análisis de foraminíferos. Con los resultados aquí obtenidos se logró dilucidar aspectos geológicos concluyentes en el levantamiento estratigráfico y en la cartografía 1:25000.

Muestreo para petrografía y petrofísica: Para el muestreo petrográfico y petrofísico, de las Formaciones Iró, Istmina y Conglomerados de La Mojarra, se tomaron muestras lo más frescas posibles, en las cantidades especificadas por la ANH. Se recolectaron muestras con énfasis en los paquetes arenosos (arenitas, arenitas conglomeráticas) y calcáreos.

Las muestras de roca tomadas tuvieron tamaño no inferior a 15 cm de diámetro o en su defecto un peso mínimo de 700 gr, de tal manera que permitan la obtención de una sección delgada y tapón para análisis petrofísicos y que quede un testigo representativo. Las muestras fueron orientadas y referidas a la sección estratigráfica correspondiente, definiendo el techo y la base de la muestra mediante una flecha dibujada sobre esta, cuya punta quedo indicando siempre hacia el techo de la unidad.

Muestreo geoquímico: Las muestras tomadas tuvieron un tamaño mínimo de 10 cm de diámetro o en su defecto un peso mínimo de 500 gr, debiendo ser litologías finas en tamaños inferiores a la arena, en el rango de colores grises. Se tomaron muestras para este tipo de análisis en las formaciones Iró, Istmina y Conglomerados de La Mojarra.



Los análisis de las muestras e interpretación de sus resultados están fuera de los alcances de este proyecto y serán realizados posteriormente a la escogencia de las muestras respectivas en cada columna.

Muestreo de Rezumaderos: Cada rezumadero fue georreferenciado con GPS con un error máximo de 5 m en la horizontal y la altura fue medida con altímetro barométrico. Adicionalmente, para cada rezumadero se elaboró un listado con información de éste como: nombre, número de la muestra, tipo de rezumadero, fecha de muestreo, plancha topográfica de referencia, geólogo que toma la muestra, número de foto, área del rezumadero, coordenadas, observaciones y formación geológica en la que se encuentra.

En el informe escrito para cada rezumadero o grupo de los mismos, se presenta un esquema de acceso especificando sitios geográficos o infraestructura que puedan servir de futura referencia. En cada sitio de muestreo se tomaron fotos digitales orientadas: una general del sitio y otra de detalle del rezumadero.

Entrega de muestras: La entrega de los diferentes tipos de muestras se realizó siguiendo plazos establecidos en el contrato y las directrices de la Litoteca Nacional Bernardo Taborda de la ANH o Fluidoteca Nacional, en donde fueron entregadas. Las muestras están acompañadas de los listados correspondientes, tanto impresos como en medio digital. Se entregaron las muestras colectadas, debidamente empacadas y organizadas.

1.2.6 Análisis, edición y digitalización de los diferentes productos a entregar

Esta actividad se desarrolló con las anteriores fases, incluyéndose las siguientes actividades:

- Secciones estructurales (ANEXO 6) y correlaciones estratigráficas (ANEXO 8): se elaboraron tres secciones estructurales retrodeformables (viables), perpendiculares al rumbo general de las estructuras mayores, con el objeto de proponer un modelo estructural para la zona de estudio, basado en la información de superficie. En la información disponible en las bases de datos de la ANH no hay líneas sísmicas que estén dentro del área de trabajo como tampoco se han efectuado perforaciones para exploración de hidrocarburos.
- Así mismo, se elaboró una correlación estratigráfica entre las columnas levantadas y el pozo más cercano al área, con el fin de observar algunas variaciones estratigráficas.
- Digitalización y edición de los mapas, columnas, secciones estructurales y en general todo el material gráfico.
- Elaboración del informe de integración e interpretación de toda la información geológica adquirida en campo (presente documento).



2 RESUMEN BIBLIOGRÁFICO

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona de estudio está localizada en la Costa Pacífica Colombiana e incluye parte del piedemonte occidental de la Cordillera Occidental. Desde el punto de vista regional se encuentra ubicada en la esquina noroccidental de Sudamérica, zona muy compleja de convergencia entre Centroamérica y Sudamérica (Duque-Caro, 1990b). Esta área consiste de varios elementos litogenéticos y estructurales que han sido recientemente descritos como provincias geológicas y/o terrenos (Duque-Caro, 1990b).

Las unidades litoestratigráficas de la Costa Pacífica de Colombia en su conjunto constituyen la “Provincia del Pacífico”, integrada por las cuencas de Urabá, Atrato-San Juan y Tumaco, de acuerdo a la taxonomía informal de áreas de interés petrolífero en Colombia (Suárez 1990). Esta Provincia se extiende desde el oriente de Panamá hasta el extremo norte de Ecuador, bordeando la costa noroccidental de Suramérica. Limita con la Cordillera Occidental al oriente, la Serranía de Baudó al occidente y el Océano Pacífico en el costado suroccidental (Pérez, 1980).

En el esquema de terrenos alóctonos propuestos por Etayo et. al. (1983), Colombia está constituida por un amplio mosaico de terrenos, mientras que para Restrepo y Toussaint (1988) y Toussaint (1993) la configuración tectónica fundamental es mucho más sencilla. Según Etayo et. al. (1983) la Costa Pacífica de Colombia forma parte de los terrenos Atrato-San Juan- Tumaco y Baudó. El Terreno Atrato-San Juan- Tumaco está limitado al oriente por la Falla del Atrato, al occidente por la discordancia y fallamiento (paleosutura) contra el Terreno Baudó y al norte en contacto fallado contra el Arco de Sautata. Está compuesto predominantemente de sedimentitas terciarias, integradas por shales, arenitas, conglomerados y calizas en menor proporción. Se presentan pliegues imbricados con vergencia oeste que incluyen escamas de corteza oceánica.

Para Restrepo & Toussaint (1988) el área de estudio se encuentra incluida en el Terreno Panamá - Baudó - Mandé y está compuesto por tres elementos estructurales: el flanco occidental de Cordillera Occidental (correspondiente al complejo Ígneo de Mandé), la Cuenca Atrato - San Juan y la Serranía de Baudó, estructuras que continúan hacia Panamá (Toussaint & Restrepo, 1988). El Terreno Panamá-Baudó-Mandé está caracterizado por dos altos gravitacionales correspondientes a Baudó y Mandé, separados por un bajo gravitacional en la cuenca Atrato - San Juan (Case et. al., 1971, en: Toussaint & Restrepo, 1988).

Case et. al. (1984) definen como Terreno Chocó al área distribuida al oeste de la Falla del Atrato incluyendo la Cuenca Atrato - San Juan y la región comprendida por la Serranía de Majé-Baudó. La Serranía de San Blas - Darién y la Cuenca de Chucunaque (prolongación al norte, en Panamá, de la Cuenca del Atrato) no se incluyen en este terreno. Howell et. al. (1985, en: Duque-Caro, 1990b) delimitan el Terreno Chocó (Case et. al., 1984) con los mismos márgenes definidos originalmente por Dengo (1983).

Duque-Caro (1990b) define en el Bloque Chocó (Dengo, 1983) nuevos elementos estructurales y zonas de falla mayores no incluidos en descripciones previas del terreno por otros autores, en el cual el área de estudio Atrato-San Juan, está ubicada en la denominada Zona Deformada de Istmina. El Bloque Chocó es dividido en tres elementos estructurales mayores: los arcos de Dabeiba y Baudó con sus prolongaciones al noroccidente en Panamá (las serranías San Blas, Darién y Majé), la Cuenca del Atrato (con su prolongación al norte; Chucunaque) y la Zona Deformada de Istmina. El límite sur de este último elemento es ubicado en la Falla de Garrapatas, pero no especifica el límite norte, el cual correspondería a la Falla del Río Pepé (Cossio, 2002). El bloque Chocó está limitado al oriente y norte por la Falla de Uramita, y al occidente por la Falla de Panamá.



La Zona deformada de Istmina se caracteriza por ser muy complicada desde el punto de vista tectónico con numerosas fallas inversas y pliegues apretados con una orientación predominante N60E (Duque-Caro, 1990b) y divide la Cordillera Occidental en dos de los terrenos propuestos por Etayo et. al. (1986), los terrenos Cañasgordas al norte y Dagua al sur. Lo cual contrasta con el patrón presente al norte en la Cuenca del Atrato y al sur en la Cuenca de Tumaco, que presenta una orientación predominante N-S. La Zona Deformada de Istmina se prolonga desde costa afuera en el Océano Pacífico hasta los flancos orientales de la Cordillera Occidental.

La cartografía geológica que incluye la denominada Provincia del Pacífico está cubierta por los mapas geológicos realizados por Ingeominas del Departamento del Chocó a escala 1:600000 (Cossio, 1993), el mapa geológico de los departamentos de Antioquia y Chocó a escala 1:250000 (Schmidt-Thome et al. 1992) y diferentes planchas geológicas a escala 1:100000. El área de estudio está incluida en las planchas geológicas 203 (Cossio, 2002) y 204 (Zapata & Cossio, 1999).

2.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA REGIONAL

La evolución geológica del área está asociada con la acreción de un terreno exótico (Bloque Chocó, Duque, 1989, 1990b), sin afinidad litogenética con Suramérica que se acrecionó al continente durante el Mioceno medio, siendo la Zona de Falla de Uramita la paleosutura entre el norte suramericano y el Bloque Chocó. La presencia de bloques exóticos con microfauna planctónica del Paleoceno en el Arco de Dabeiba sugiere una posible proveniencia para este terreno de latitudes tan lejanas como las de Guatemala o México (Duque 1989 y 1990b). De esta manera, la sedimentación de las unidades del Pacífico Colombiano de edad Pre- Mioceno medio, habrían tenido como área fuente las rocas del arco de Dabeiba al oeste de su posición actual y estaría relacionada con varios ciclos continuos, separados por hiatos, producto de la actividad tectónica. En este modelo, el Bloque Chocó se habría desplazado desde algún sector al occidente de su posición actual y su historia geológica no estaría ligada con la evolución de la Cordillera Occidental, hasta el Mioceno medio. A partir de esta época la sedimentación está ligada con la evolución del noroccidente suramericano (Orogenia Andina y evolución del Istmo de Panamá).

De acuerdo a Pérez (1980), la colmatación del Pacífico Colombiano se inició en el Cretácico superior con interrupciones marcadas por discordancias en el Paleoceno medio a superior y posteriormente en el Mioceno superior. La sedimentación durante el lapso Cretácico superior a Terciario inferior fue pelágica a turbidítica y a partir del Eoceno medio se desarrolló una cuenca intermedia con sedimentación típica de turbiditas proximales y abanicos submarinos.

En cuanto a la sucesión estratigráfica se ha planteado la existencia de varios hiatos en el registro sedimentario del Pacífico colombiano: 1. Post-Cretáceo tardío - Pre-Eoceno (Duque 1971), 2. Post-Eoceno medio - Pre-Oligoceno tardío (Duque 1975), 3. Post- Mioceno medio - Pre-Mioceno tardío (Duque 1971). Posteriormente, Duque (1990a) reconoce cuatro discordancias regionales en el Neógeno para la Cuenca Atrato-Chucunaque en los intervalos de tiempo Mioceno medio - Mioceno temprano, Mioceno medio, Mioceno tardío y Plioceno temprano, con base en cambios bioestratigráficos, sedimentológicos y paleobatimétricos y asociadas con actividad tectónica en el noroccidente suramericano y la evolución del Istmo de Panamá.

Una interpretación alternativa en la que se asume la Cordillera Occidental y la “Cuenca de Llanura Costera” como un terreno que fue acrecionado al continente en el Paleoceno (Mc Court et al. 1984), sugiere que los sedimentos acumulados desde el Paleoceno, lo habrían hecho en su posición actual, en una cuenca de tipo frente de arco (fore arc basin).

A pesar de los diferentes trabajos desarrollados en el occidente colombiano, particularmente de la Región del Pacífico; permanecen aún en cuestión las teorías a cerca de la evolución geológica de este



sector. El carácter alóctono de las unidades al norte del pacífico y su evolución ligada genéticamente al desarrollo de la Cordillera Occidental con una sedimentación típica de fosa son temas que actualmente generan controversia.

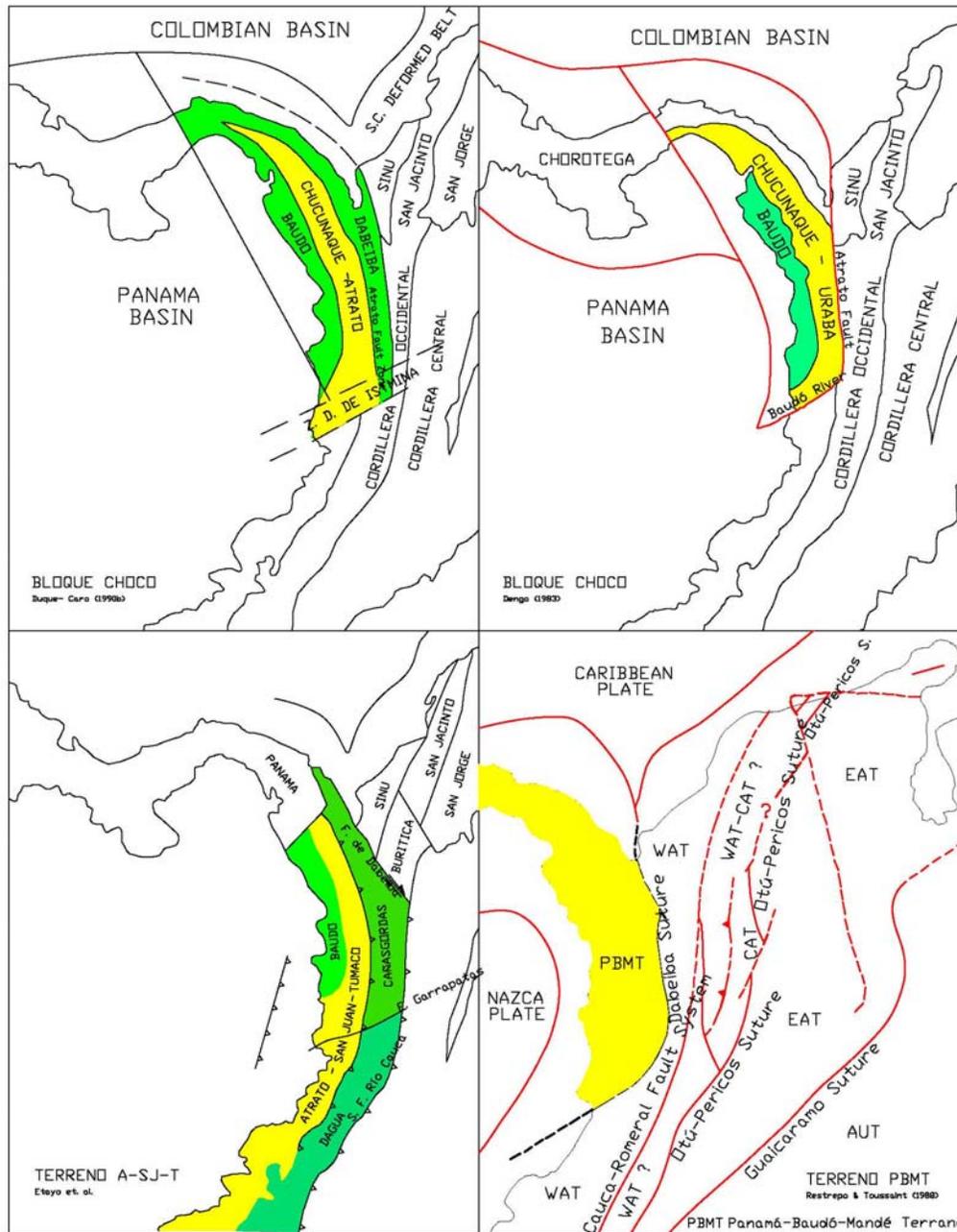


Figura 3. Esquema tectónico regional. Tomado y modificado de Duque-Caro (1990b).



3 UNIDADES CARTOGRÁFICAS

Las nomenclaturas estratigráficas del área Río San Juan, propuestas de manera informal por Texaco (1989), Figueroa & Núñez (1990) y Cossio (2002) difieren de la propuesta en el área del Atrato por Haffer (1967) y formalizada por Duque-Caro (1990b), ya que se trata de unidades sin una clara relación litoestratigráfica. Figueroa & Núñez (1990), proponen la Formación Tadó (Paleoceno - Eoceno) y el Grupo San Juan (Mioceno inferior) integrado este último por las Formaciones Istmina, Conglomerados de La Mojarra y Condoto, que corresponden según la nomenclatura de Texaco (1989) a la Formación Iró y Formación Condoto respectivamente.

Las unidades estratigráficas cartografiadas en el área comprenden edades desde el Cretácico tardío (Complejo Santa Cecilia - La Equis) a reciente (depósitos cuaternarios: Qal y Qt). En el presente trabajo para la sucesión sedimentaria terciaria se sigue el nombre de Formación Iró y el nombre Grupo San Juan, con las formaciones Istmina, Conglomerados de La Mojarra y Condoto.

3.1 Complejo Santa Cecilia - La Equis (K_{2sc})

Referencias de la Unidad: El nombre Complejo Santa Cecilia La Equis fue propuesto originalmente por Salazar et. al. (1991, en: Zapata & Cossio, 1999) para caracterizar un evento volcánico - plutónico, que agrupa las rocas del Batolito de Mandé y las rocas volcánicas de las formaciones Santa Cecilia y La Equis, aflorantes a lado y lado del batolito. Esta unidad puede constituir la prolongación al sur del denominado Arco de Dabeiba (Duque-Caro, 1990b), elemento estructural mayor del Bloque Chocó el cual se caracteriza por el carácter de *melange*, patrón fallado acompañado por un mosaico de edades (Cretáceo tardío a Mioceno) incluyendo un contraste en los ambientes sedimentarios.

En el Complejo Santa Cecilia - La Equis se incluyen varias unidades litoestratigráficas, con edad cretácica tardía. Esta unidad agrupa las Formaciones Santa Cecilia y La Equis (Calle & Salinas, 1986 y 1991, en: Zapata & Cossio, 1999), los complejos El Paso y Viravira (Muñoz et al., 1990; Salinas & Tistl, 1991, en: Zapata & Cossio, 1999) y las rocas volcano - sedimentarias aflorantes en la cuenca del Río Tamaná (Zapata & Cossio, 1999).

Debido al carácter litodémico del Complejo Santa Cecilia - La Equis, las unidades litoestratigráficas que la integran no han sido cartografiadas por separado. Zapata & Cossio (1999) consideran que esta unidad presenta un arreglo similar al planteado por Nivia (1996) para el oeste de la Falla Cauca - Almaguer, el cual consiste en una imbricación de escamas corticales de bloques de rocas plutónicas, ultramáficas y máficas, volcánicas básicas y rocas sedimentarias afectadas por fallas.

Zapata & Cossio (1999) dividen esta unidad en: Formación Santa Cecilia, compuesta por flujos de lava, aglomerados, brechas y tobas de composición básica, localmente lavas almohadilladas e intercalaciones de chert y calizas fosilíferas. La Formación La Equis la componen intercalaciones de aglomerados, brechas y flujos de lava de composición intermedia - ácida, localmente con estructura columnar. El Complejo El Paso consiste de rocas volcánicas (diabasas y basaltos) con intercalaciones de rocas sedimentarias (chert, arcillolitas y limolitas). El Complejo de Viravira es un conjunto de rocas formado por basaltos, pequeños cuerpos de peridotitas serpentinizadas y rocas sedimentarias (arcillolitas, arenitas, rocas calcáreas y chert). La secuencia del Río Tamaná se compone de rocas volcánicas (basaltos, diabasas, andesitas y tobas) con escamas de ultramafitas e intercalaciones de rocas sedimentarias como arenitas, limolitas y chert. De las unidades informales que conforman el Complejo Santa Cecilia La Equis aflora en el área de estudio la denominada por Muñoz, et. al. (1990, en: Zapata & Cossio, 1999) Complejo El Paso.

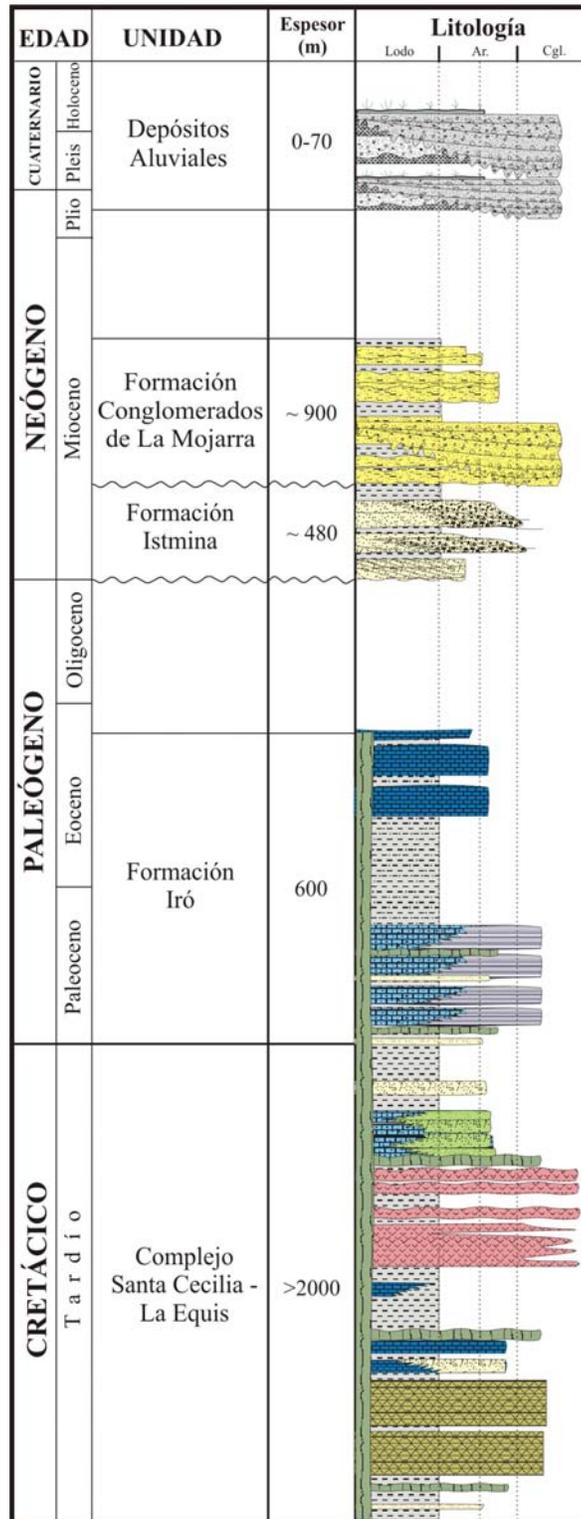


Figura 4. Columna generalizada de la Subcuenca Atrato San Juan



Según Zapata & Cossio (1999) las rocas del Complejo El Paso en el Río Condoto, entre El Paso y Corodó, corresponden a diabasas con texturas ofítica y subofítica, compuestas por clinopiroxeno (augita), plagioclasa cálcica alterada a saussurita, esfena y opacos. Constituyen las rocas más frecuentes en esta unidad. Los análisis de elementos mayores de las rocas volcánicas del Complejo El Paso indican, por el contenido de SiO₂ (45-49%) y la relación SiO₂ /Zr/TiO₂, que son basaltos subalcalinos y en el diagrama MgO-(Fe₂O₃+FeO+TiO₂) - Al₂O₃ se ubican en el campo de basaltos toleíticos altos en Mg (Muñoz et al., 1990, en: Zapata & Cossio, 1999).

Caracterización Litológica en el área de estudio: El Complejo Santa Cecilia La Equis conforma el núcleo del Anticlinal de Ñápera, el cual se extiende entre los ríos Condoto e Iró con buenas exposiciones en las Quebradas Ñápera, Tirado, Hoyo Hondo, Angosturas y Guineo. En éstas zonas se encuentran un conjunto de basaltos, diabasas, aglomerados, tobas con interposiciones subordinadas de arcillolitas, limolitas negras y arenitas. La parte inferior de la sucesión está integrada por sedimentitas con esporádicas intercalaciones de material piroclástico. A medida que se desciende estratigráficamente en la unidad las interposiciones de tobas y aglomerados (Foto AP-063) disminuyen progresivamente y aparecen calizas (mudstone) y cherts intercalados con la sucesión clástica. Hacia la periferia del núcleo del Anticlinal de Ñápera, en el techo de la unidad, es común la presencia de basaltos, diabasas y lavas atravesadas por diques de composición diorítica (quebradas Angostura y Apartadó).

Las rocas volcánicas son macizas, localmente con estructuras de flujo y corresponden a basaltos, basaltos amígdalares (amígdalas de 0,5 cm de diámetro rellenas con ceolitas, Foto AP-232) diabasas, andesitas holocristalinas con textura porfírica, lavas (localmente con estructura en almohadilla) y brechas volcánicas adyacentes a éstas. Las rocas piroclásticas intercaladas en el techo de la unidad y esporádicamente en la parte inferior de la sucesión corresponden a tobas macizas de ceniza y lapilli lítico-cristalinas de color verde oliva. Las sedimentitas intercaladas en el techo de la unidad corresponden a arcillolitas (Foto AP-080), limolitas con clivaje tectónico bien desarrollado. La parte inferior de la unidad está compuesta predominantemente de arcillolitas grises oscuras y negras, limolitas y litoarenitas grises de grano medio.



AP-063



AP-232



AP-080

Figura 5. Afloramientos de rocas volcánicas y piroclásticas del Complejo Santa Cecilia La Equis

Edad: Al norte del área de estudio se encuentra la localidad tipo de la Formación Santa Cecilia, donde se reportan sedimentitas fosilíferas intercaladas con rocas volcánicas del Cretácico Tardío (Duque, 1983, en Calle & Salinas, 1986). Muñoz et. al. (1990) y Salinas & Tistl (1991) consideran que el Complejo Viravira es del Eoceno Tardío - Mioceno Temprano, basados en microfósiles en las rocas sedimentarias de dicha unidad (Zapata & Cossio, 1999). En el Río Tamaná, se han encontrado fósiles del Eoceno - Mioceno Temprano en rocas volcanoclásticas asociadas con rocas volcánicas básicas. Muñoz et. al. (1990) correlacionan el Complejo El Paso, (unidad del Complejo Santa Cecilia - La Equis presente en el área de estudio) con la Formación Barroso, asignándole una edad Cretácico Tardío (Zapata & Cossio, 1999).



Contactos Estratigráficos: Específicamente en la zona del presente trabajo el Complejo Santa Cecilia - La Equis se encuentra infrayaciendo en forma discordante a la Formación Iró en el costado oriental del área de estudio en las localidades de El Paso (Condoto), Santa Rita y sur de La Esperanza; y cubierta en discordancia angular por la Formación Conglomerados de La Mojarra en el Río Condoto (en la desembocadura de la Quebrada Hoyo Hondo) y la Formación Istmina en el costado nororiental del área de estudio al norte del Anticlinal de Nápéra. El Complejo Santa Cecilia - La Equis se encuentra intruido en la parte nororiental del área en inmediaciones del Río Tadocito, por el Plutón de La Esperanza, unidad informal denominada con fines cartográficos en este informe. El contacto inferior de esta unidad no se observa en el área del presente estudio.

Espesor: De esta unidad no se conoce la base, pero los cálculos de espesor hechos en el Anticlinal de Nápéra suponen un espesor mínimo de 2000 m.

Ambiente de depósito: Las rocas del Complejo Santa Cecilia La Equis fueron acumuladas como el resultado de la emanación a la superficie oceánica de lavas y piroclastos interpuestos con sedimentos finos (lodos) que permitían, en ocasiones, la actividad de organismos sobre el sustrato.

3.2 Formación Iró (E₁₋₂I)

Referencias de la Unidad: Oppenheim (1949, en: Texaco, 1.989) define informalmente la Formación Iró a partir de una sección observada en el río del mismo nombre, para designar la sucesión calcárea-silíceas que representa la unidad más antigua del Paleógeno de esta área (**Tabla 2**), nororiente de las localidades de Santa Bárbara y Santa Rita, en el departamento del Chocó.

Texaco (1989) sigue el nombre Formación Iró para designar los estratos silíceo-calcáreos principalmente y siliciclásticos de edad aproximada Paleoceno-Eoceno, que en el área del Río San Juan estarían suprayaciendo a rocas del Cretácico (Grupo Dagua) e infrayaciendo a las rocas siliciclásticas del Oligoceno denominadas informalmente Formación Sierra (**Tabla 2**).

Figuroa & Núñez (1990), proponen en un trabajo de grado en geología la Formación Tadó para denominar la sucesión de 2010 m, aflorante en la Quebrada Colorado, de edad Paleoceno Temprano a Eoceno Tardío (Formación Iró de los otros autores). Estos autores afirman que la Formación Tadó se compone predominantemente de “liditas negras y grises, calizas grises claras a azulosas, lutitas silíceas interstratificadas con delgados lentes de arenita cuarzosa de grano fino a medio y limolitas calcáreas. La sucesión es intruída por pequeños silos de color verde oscuro de composición diabásica”.

Mera & Piragua (2000), dividen la Formación Iró en tres unidades informales de diferente edad y posición estratigráfica: Unidad Inferior de edad Maastrichtiano – Paleoceno, Unidad Media del Eoceno medio y Unidad Superior de edad Eoceno Superior. La Unidad Inferior consiste en una sucesión de 1052 m, compuesta principalmente de biomicritas wackestones, lodolitas con concreciones calcáreas, limolitas y arenitas de grano fino a grueso, aflorante en la Quebrada Aguas Claras, al suroccidente del Municipio de Tadó (ANEXO 4, Mapa geológico). La Unidad Media presenta buena exposición en la Quebrada San Bernabé y agrupa una sucesión de 717 m de espesor compuesta por dos segmentos, uno lodolítico y otro arenítico. El primer segmento está compuesto por lodolitas macizas y laminadas con algunos paquetes intercalados de capas delgadas y medias, tabulares y lenticulares de arenitas de grano fino y muy fino, angular y bien seleccionado, compuestas principalmente de fragmentos de rocas metamórficas. El otro segmento de la Unidad Media está compuesto en su mayor parte de litoarenitas feldespáticas, de grano muy fino a medio en capas delgadas a gruesas, generalmente subtabulares, con laminación plano paralela y cruzada (láminas materia orgánica carbonosa y carbón), eventualmente macizas. La Unidad Superior consiste en una sucesión de 2483 m de espesor compuesta predominantemente por biomicritas wackestones grises claras, parcial a totalmente silicificadas (chert



diagenético), con algunos paquetes de lodolitas grises claras y de arenitas de grano fino y medio intercalados. La unidad Superior se encuentra expuesta en las quebradas Profundó y La Cuelga.

Cossio (2002) siguiendo la nomenclatura informal propuesta por Figueroa y Núñez (1990) adopta el nombre Formación Tadó (**Tabla 2**) con el fin de denominar la sucesión aflorante en el valle del Río San Juan, compuesta en su mayor parte de biomicritas (mudstone a wackestone), cherts, limolitas, arcillolitas y arenitas de edad Eoceno tardío. Según Cossio (2002) la unidad se encuentra compuesta principalmente por una alternancia de capas de biomicritas (mudstone a wackestone), de 5 a 20 cm de espesor, de color gris claro a blanco, planas paralelas continuas. En el Río Profundó es común la presencia de limolitas, areniscas de grano medio a muy fino y shale negro interestratificadas con capas de chert. Al nororiente de Tadó, en el Río San Juan se encuentran pequeños silos de diorita posiblemente relacionados con el Batolito de Mandé, intercalados con los niveles de chert, arcillolitas y areniscas.

La composición de la unidad es variable, aunque predominan las calizas, cherts y arcillolitas. La Formación Iró según Oppenheim (1949, en: Texaco, 1989) está compuesta de chert, shale silíceo, shale, areniscas, arcillas y calizas. Según Texaco (1989) la unidad se compone predominantemente de “chert calcáreo en capas delgadas a medias, intercalado con shales silíceos y shales negros, carbonosos y fisiles. En menor proporción se intercalan areniscas cafés claras y grises oscuras, duras, en capas gruesas, de grano fino, con matriz arcillosa. Intruyendo la sucesión, se presentan silos de composición cuarzodiorítica. El chert se presenta diaclasado con fracturas rellenas de carbonatos y sílice; algunas de las fracturas rellenas de petróleo seco. Los shales silíceos están diaclasados, plegados y se observan espejos de falla; con intercalaciones de lentes de arenisca de cuarzo, de grano fino a medio, bien seleccionada, cementada y con matriz calcárea”.

Texaco (1989) reporta un espesor de 2430 m. para la unidad. Los límites inferior y superior con las rocas del Grupo Dagua y la Formación Sierra, respectivamente, son discordantes, aunque no mencionan ninguna localidad donde se aprecian.

Según Figueroa & Núñez (1990) la sucesión aflorante en la Quebrada Colorado tiene un espesor de 2010 m. Mera & Piragua (2000) reportan un espesor mayor de 4252 m para la unidad, aunque el espesor está exagerado. Los autores consideran que los límites de la unidad también son fallados tanto en el sector noroeste como en el suroriental.

Cossio (2002) considera un espesor de 1000 a 1.500 m para la Formación Tadó deducido a partir del análisis de los diferentes afloramientos. Para Cossio (2002) el límite inferior de la Formación Tadó es fallado, con la Formación Istmina, a través de la Falla del San Juan en el Río Profundó. Esta falla pone en contacto un nivel de areniscas conglomeráticas de la Formación Istmina con capas de limolitas y chert negro intercaladas. El límite superior es también fallado, con los Conglomerados de La Mojarra, a través de la Falla de La Mojarra, la cual coloca en contacto capas intercaladas de chert negro y calizas, con capas de areniscas y lentes de conglomerados.

Se ha estimado una edad Paleoceno-Eoceno tardío por la mayoría de autores, sin embargo algunos consideran que puede extenderse hasta el Maastrichtiano. Según Figueroa & Núñez (1990) la unidad pertenece al Paleoceno – Eoceno, mientras que Mera & Piragua (2000) asignan un rango de edad Maastrichtiano – Eoceno Superior para la Formación Iró.

Desde el punto de vista de correlación regional, Mera & Piragua (2000) consideran que la Unidad Media de la Formación Iró es el equivalente temporal en forma parcial de la Formación Clavo y la Unidad Superior correlacionable temporalmente con la Formación Salaquí, unidades definidas por Haffer (1967) para el área del Atrato (**Tabla 2**). Sin embargo, señalan que son muy escasas las observaciones y los trabajos que se han realizado sobre las unidades estratigráficas tanto del Área del Río Atrato, como del Área del Río San Juan, conduciendo a que las interpretaciones en este sentido tengan un fundamento poco sólido.



Tabla 2. Correlación estratigráfica

EDAD		AREA DEL RIO SAN JUAN						AREA DEL ATRATO
		PRESENTE TRABAJO	OPPENHEIM 1949	TEXACO 1989	FIGUEROA & NUÑEZ 1990	MERA & PIRAGUA 2000	COSSIO 2002	HAFFER 1967
CUATERNARIO	HOLOCENO			ALUVIONES & TERRAZAS			ALUVIONES & TERRAZAS	
	PLEISTOCENO	DEPOSITOS ALUVIALES					FORMACION RAPOSO FORMACION MAYORQUIN	FORMACION QUIBDO
NEOGENO	PLIOCENO			FORMACION ATRATO	FORMACION MUNGUIDO		FORMACION NOVITA	
	MIOCENO			FORMACION MUNGUIDO HIATO			HIATO	FORMACION SIERRA FORMACION NAPIPI
PALEOGENO	OLIGOCENO			FORMACION CONDOTO FACIES SERRAL FACIES CONDOTO	GRUPO SAN JUAN FORMACION CONDOTO FORMACION CONGLOMERADOS DE LA MOJARRA FORMACION ISTMINA		GRUPO SAN JUAN FORMACION CONDOTO FORMACION CONGLOMERADOS DE LA MOJARRA FORMACION ISTMINA	FORMACION UVA
	EOCENO			HIATO FORMACION SIERRA				FORMACION SALAQUI
	PALEOCENO	FORMACION IRO	GABROS	FORMACION IRO	FORMACION TADO	FORMACION IRO	FORMACION TADO	FORMACION CLAVO
CRETACICO TARDIO	COMPLEJO SANTA CECILIA LA EQUIS		FORMACION IRO	GRUPO DAGUA	FALLA	UNIDAD INFERIOR	FALLA	FORMACION VALLESI

Según Cossio (2002) la presencia de chert en la Formación Tadó puede ser explicada con el trabajo de Knouth (1979, en: Cossio, 2003) según el cual está relacionada con el remplazamiento de carbonato de calcio por cuarzo microcristalino que se produce sobre horizontes calcáreos con porosidad inicial alta, bajo condiciones de sobresaturación de sílice y subsaturación de carbonatos dentro de una zona de mezcla en la cuenca, no muy lejos de la costa, ya que la sílice proviene de zonas emergidas aledañas y es arrastrada por aguas subterráneas. El contenido micropaleontológico, la textura y la distribución de los componentes indicarían un ambiente oceánico batial moderadamente tranquilo (Cossio, 2002). La continuidad lateral de las capas indica una plataforma de baja energía, con el depósito de sedimentos de grano fino (Cossio, 2002).

Caracterización Litológica en el área de estudio: La Formación Iró se distribuye en la parte central conformando los flancos del Sinclinal de La Mojarrá. Al sur entre los ríos Condoto e Iró la Formación Iró se distribuye como una franja irregular bordeando el núcleo del Anticlinal de Nápera y cubierta discordantemente por las rocas de la Formación Conglomerados de La Mojarrá y localmente por la Formación Istmina en el flanco norte del Anticlinal de Nápera. A nivel general, en la Formación Iró pueden distinguirse dos segmentos, uno lodolítico y otro con predominio de cherts y calizas.

3.2.1 Formación Iró, segmento inferior

La sucesión en su parte más inferior está compuesta por capas subtabulares muy gruesas de litoarenitas volcánicas de grano medio intercaladas con limolitas, litoarenitas feldespáticas y arcosas líticas, le suprayace un paquete característico de shales grises oscuros con interposiciones de capas concrecionales de mudstone bioperturbadas (Foto AP-309). Ascendiendo estratigráficamente se presentan interposiciones de calizas (mudstone) finamente laminadas y cherts (Fotos CM-010 & CM-019).



CM-010



AP-309



CM-019

Figura 6. Mudstones (CM-010 y CM-019) y shales con concreciones (AP-309) del segmento inferior de la Formación Iró.

3.2.2 Formación Iró, segmento superior

La mejor exposición de este intervalo se tienen a lo largo de casi la totalidad del cauce de la Quebrada Profundó, en donde aflora una sucesión de mudstone finamente laminado (Foto AP-105) y ligeramente bioperturbadas de modo horizontal (Fotos EA-107, EA-114), con delgadas interposiciones de cherts grises oscuros y arcillolitas grises. En la Quebrada La Cuelga también se tienen muy buenos afloramientos de esta unidad aunque sus capas se encuentran muy plegadas.



EA-105



EA-107



EA-114

Figura 7. Mudstone finamente laminado (AP-105) y ligeramente bioturbado de modo horizontal (EA-107, EA-114) en la Quebrada Profundó.

El contacto inferior de la Formación Iró solamente puede ser observado en el flanco suroriental del Sinclinal de La Mojarra, en cercanías de la población de Santa Rita, en las quebradas El Padre y Zambullidero o en algunos de los afluentes de la Quebrada Tirado o Apartadó, en el Anticlinal de Náperra. El contacto es disconforme sobre basaltos, diabasas y tobas del Complejo Santa Cecilia – La Equis, la unidad inicia con mudstone, lodolitas y litoarenitas volcánicas.

La edad de la base de la Formación Iró fue precisada mediante determinaciones paleontológicas efectuadas por Duque-Caro para el presente trabajo (ver CAPITULO 6) y corresponde al intervalo Paleoceno - Eoceno medio.

3.3 Plutón de la Esperanza (N1pe)

Descripción de la Unidad: Cuerpo intrusivo ígneo constituido por rocas cristalinas de color gris verdoso que afloran en el cauce del Río Tadocito al este del caserío de La Esperanza al oriente del área de estudio (estaciones de campo CM50 y CM51). Aflora como un cuerpo masivo que afecta niveles siliciclásticos de la Formación Istmina y del complejo Santa Cecilia La Equis, generando una franja de metamorfismo de contacto que afectó los estratos, originando procesos de recrystalización y neomineralización en éstos.



Edad: De acuerdo con la cartografía realizada por Texaco (1989) esta unidad forma parte de algunos cuerpos subvolcánicos aflorantes al occidente del área de estudio de edad Mioceno. La relación intrusiva de este cuerpo con la Formación Istmina permite deducir una edad posterior al Mioceno inferior.

Caracterización Litológica: El cuerpo está compuesto por rocas ígneas holocristalinas de color gris verdoso a verde opaco, equigranulares a inequigranulares, con textura que varía de fanerítica predominantemente a porfirítica, compuestas de plagioclasa (30-40%), cuarzo (5 -10%) y minerales máficos (20%), se observa localmente piritita como accesorio principal. En una clasificación preliminar de campo estarían en el rango de andesita a diorita.



CM-050A

Figura 8. Plutón de La Esperanza. Afloramiento de dioritas en el Río Muchidó

Contactos Estratigráficos: El Plutón de La Esperanza está en contacto intrusivo generando una aureola de metamorfismo de contacto con la Formación Istmina, y con el Complejo Santa Cecilia – La Equis al oriente de la zona de estudio.

Correlaciones Estratigráficas Bloque Atrato - San Juan: Este cuerpo forma parte de una cadena de plutones de edad Mioceno de reducidas dimensiones cartografiados por Texaco (1989) que afloran al Este del área de estudio y con los cuales puede correlacionarse. Se destacan dos cuerpos en las cabeceras del Río Tamaná al este del caserío El Tigre (al sur, fuera del área de estudio) y del Río San Juan entre Playa de Oro y el Arrastradero (al este, fuera del área de estudio).

3.4 Grupo San Juan (Mioceno inferior)

Figueroa & Núñez (1990) proponen el nombre Grupo San Juan para designar un conjunto de rocas sedimentarias pertenecientes al Mioceno inferior que afloran en la Subcuenca del Río San Juan, el cual comprende las formaciones Istmina, Conglomerados de La Mojarra y Condoto. El Grupo San Juan corresponde a la Formación Condoto, denominada por Texaco (1989), la cual fue dividida en dos unidades: Facies Suruco y Facies Condoto (**Tabla 2**).

De las tres unidades del Grupo San Juan, en el área del presente estudio afloran las Formaciones Istmina y Conglomerados de La Mojarra; esta última constituye la unidad que ocupa mayor superficie en la zona.

3.4.1 Formación Istmina (N₁i)

Referencias de la Unidad: Esta unidad fue definida por Figueroa & Núñez (1990) para agrupar un conjunto de estratos de edad Aquitaniano (Mioceno temprano) compuestos básicamente por rocas clásticas de grano fino con algunas intercalaciones de lentes conglomeráticos. El nombre Formación Istmina es seguido en la nomenclatura estratigráfica empleada por Cossio (2002) en la cartografía de la Plancha 203-Istmina de Ingeominas.

La sección tipo de la Formación Istmina se presenta a lo largo del Río Suruco y también aflora en los ríos Docordó y Poaró (Subcuenca del Río San Juan) fuera del área de estudio. Está compuesta por grawacas azulosas, grises, firmes, con matriz arcillosa calcárea, intercaladas con limolitas, arcillolitas grises y conglomerados de chert de poco espesor y es común el material carbonoso.

Según Figueroa & Núñez (1990) la Formación Istmina está constituida principalmente por limolitas, arcillolitas silíceas, localmente calcáreas y algunas grawacas a subgrawacas de grano fino intercaladas



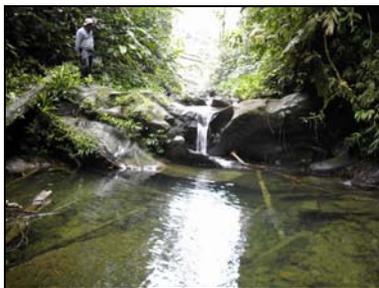
con algunos lentes y estratos delgados de conglomerado (0,5 a 2 m). Estas rocas están bien estratificadas y presentan abundante cantidad de troncos y restos de plantas carbonizadas.

Para Cossio (2002) la unidad está conformada principalmente por areniscas líticas levemente calcáreas, areniscas tobáceas, limolitas y niveles de conglomerados. Se presentan en capas plano paralelas continuas, medias con espesor desde 0,15 m, que aumentan hacia el techo de la sucesión hasta formar capas muy gruesas; las capas de limolitas alcanzan hasta 3 m y los estratos de arenisca hasta 5 m.

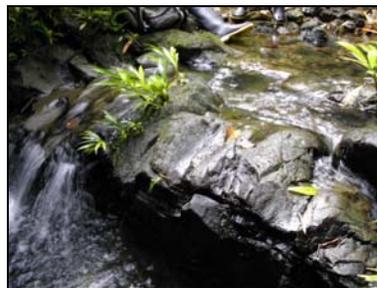
Para Figueroa & Núñez (1990) el contacto inferior de la Formación Istmina con rocas del Oligoceno es concordante, observable en el Río Suruco. El Contacto superior con la Formación Conglomerados de La Mojarra es concordante y se presenta a lo largo del piedemonte de los cerros de La Mojarra; estos autores asumen que la Formación Istmina representa las facies finas de un sistema de abanicos submarinos. Cossio (2002) considera que el contacto inferior de esta unidad con la Formación Tadó en el Río San Juan es fallado. El contacto superior con los Conglomerados de La Mojarra en el Río Suruco es neto y se marca en el límite entre capas de limolitas y un potente conglomerado.

Caracterización Litológica en el área de estudio: La distribución de esta unidad está restringida desde el valle del Río Iró hacia el norte, hacia donde se hace más espesa la unidad y de litología rudítica. Los mejores afloramientos de la unidad se tienen en la Quebrada Chontaduro (afluente del Río Iró) y sobre la Quebrada La Larga (afluente del Río Mongarrá) en donde se levantó una columna estratigráfica y la cual puede ser considerada como una localidad de referencia.

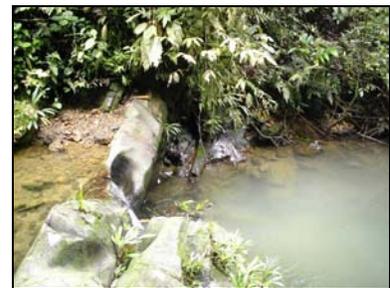
La distribución Formación Istmina en la Quebrada Santa Catalina está restringida al flanco NW del Sinclinal de La Mojarra por 2,7 Km², en una franja de 4 Km de longitud que aflora muy bien en las quebradas Santa Catalina y San Bernabé, en donde fue medida y descrita y donde se destacan las (Fotos CM-006, CM-009 & F-QSC-226.5). En algunos intervalos se pueden encontrar lentes conglomeráticos cuya continuidad lateral no sobrepasa los 20 m. y hacen apreciar con mayor detalle la tendencia granodecreciente de la sucesión; éstos poseen intraclastos de lodolita y chert, lo mismo que clastos volcánicos. Hacia la parte superior de la unidad son frecuentes las interposiciones de láminas carbonosas paralelas a la estratificación.



CM-009



CM-006



F-QSC-226.5

Figura 9. Formación Istmina. Capas medias subtabulares, de litoarenitas grises oscuras de grano fino a muy fino, con laminación plana paralela continua.

En el resto del área, la Formación Istmina agrupa capas medias subtabulares, de litoarenitas grises oscuras de grano fino a muy fino, con laminación plana paralela continua (Foto AP-179), interposiciones de lodolitas grises (Foto AP-290) y lentes conglomeráticos de poca continuidad. Exhibe gradación normal a techo y sus clastos redondeados son de lodolita, chert y de rocas volcánicas. En la Quebrada Chontaduro se encontraron pequeños moldes de gasterópodos y de bivalvos bien conservados (estación AP-194).

Sobre el Río Iró y dentro de la Formación Istmina, afloran algunos niveles calcáreos bioclásticos (packstones) de color gris claro blanquecino de poca continuidad lateral, compuestos predominantemente de valvas separadas y bien conservadas de bivalvos de gran tamaño (Foto AP-301).



El **contacto inferior** puede apreciarse con claridad y fácil acceso en la Quebrada La Larga, en la cual clastos angulares de chert conforman la base de la sucesión, pasando rápidamente a litoarenitas y lodolitas grises. Hacia la parte oriental del área, hacia las cabeceras de las quebradas Chontaduro, Tadocito y Guamita, la Formación Istmina yace en contacto discordante (en disconformidad) sobre las rocas volcanosedimentarias del Complejo Santa Cecilia La Equis.



AP-179



AP-290



AP-301

Figura 10. Formación Istmina. Capas medias subtabulares, de litoarenitas grises oscuras de grano fino a muy fino, con laminación plana paralela continua (Foto AP-179), interposiciones de lodolitas grises (Foto AP-290), niveles calcáreos bioclásticos (packstones) de color gris claro blanquecino de poca continuidad lateral (Foto AP-301)

Edad: Muestras tomadas por Figueroa & Núñez (1990) de la Formación Istmina contienen foraminíferos planctónicos, entre ellos *Globigerinoides* y *Catapsydras Disimules* que sitúan la unidad dentro del Aquitaniano (Mioceno temprano).

En muestras recolectadas en el Río Suruco y analizadas por Hermann Duque-Caro se encuentra la siguiente fauna: *Cibicidoides mexicana*, *Gyroidina soldanii*, *Lenticulina mericana*, *Oridorsalis ecuatoriensis* y *Vulvulina spinosa* de la zona de *Cibicidoides perlucidus*, que permite asignar una edad entre el Oligoceno y Mioceno temprano (Cossio, 2002).

Según Mera & Piragua (2000) tres muestras tomadas de la Quebrada Profundó indican el Mioceno temprano para la Formación Istmina. El contacto de la Formación Iró con la Formación Istmina se manifiesta por el paso de faunas fósiles del Eoceno tardío a Mioceno temprano. El final del Eoceno tardío se basa en el último registro de *Glogerinatheka index* en concordancia con la última ocurrencia de planctónicos del Eoceno y la aparición de especies del Mioceno en muestras ubicadas más arriba estratigráficamente. La presencia del Mioceno está dada por la primera aparición de *Globerinatella insueta* de rango total Mioceno temprano, la cual es seguida por la aparición de *Globigerinoides sicanus* de biocrón Mioceno y luego *Globigerinoides quadrilobatus ampliapertura* de rango total Mioceno temprano. Entre la población de bentónicos sobresalen por su abundancia *Lenticulina americana grandis*, *Cibicides falconensis*, *Gyroidina soldanii*, *Lenticulina americana*, *Pullenia bulloides*, *Cibicides perlucida* y algunas *Uvigerinas* en formas afines a *U. mexicana*.

Espesor Área de estudio: Las variaciones de espesor en la Formación Istmina son muy frecuentes, en el flanco NW del Sinclinal de La Mojarrá tiene un espesor cercano a los 300 m en la Quebrada Profundó, el cual se va incrementando hacia el norte, pasando a 450 en la Quebrada La Larga. En el bloque yacente de la Falla de Tadocito el espesor se incrementa hasta 1200 m. Además del incremento de espesor hacia el norte, es notorio también el cambio en esta dirección hacia una tendencia más rudítica.

Contactos Estratigráficos: En el presente estudio se observó que la Formación Istmina cubre en discordancia angular al Formación Iró, contacto que está marcado por una brecha de guijos angulares de chert de espesor variable, generalmente con un alto grado de meteorización. Al oriente del caserío de La Esperanza la Formación Istmina se encuentra intruída por el Plutón de La Esperanza.



Ambiente de depósito: Las capas subtabulares con laminación plano paralela, interlaminaciones carbonosas y las capas de calizas bioclásticas (wackestone), entre otras, permiten concluir que el ámbito de acumulación de esta unidad está asociado a ambientes marinos someros.

Correlaciones Estratigráficas Bloque Atrato - San Juan: La Formación Istmina es el equivalente cronoestratigráfico de la parte inferior de la Formación Uva en el sentido de Duque-Caro (1990a) y de la parte media de esta misma unidad definida informalmente por Haffer (1967). La Formación Uva fue definida por Haffer (1967) para describir un conjunto predominantemente de margas con intercalaciones delgadas a gruesas de arcillolitas, calizas y arenitas, que aflora en el Río Uva (tributario del Río Bojayá) al norte de Quibdo. Haffer (1967) asigna a la unidad una edad Oligoceno a Mioceno inferior con base en faunas fósiles de foraminíferos.

3.4.2 Formación Conglomerados de La Mojarra (N_{1cm})

La Formación Conglomerados de La Mojarra aflora a lo largo de los cerros de La Mojarra entre las localidades de Condoto y Tadó. Esta unidad es muy resistente a la erosión y forma el rasgo topográfico más destacado de la región, el Cerro de La Mojarra, con elevaciones mayores de 440 m (Figuroa & Núñez, 1990).

Esta unidad es la que cubre mayor superficie de todas unidades aflorantes en el área. Se encuentra ampliamente distribuida en el núcleo del Sinclinal de La Mojarra y conformando los flancos del Anticlinal de Nápera. Ocupa las partes más bajas del área de estudio, rellenando antiguas depresiones.

Referencias de la Unidad: La Formación Conglomerados de La Mojarra fue definida por Figuroa & Núñez (1990) para describir una sucesión de edad Aquitaniano compuesta principalmente por conglomerados y arenitas conglomeráticas con algunas interposiciones locales de limolitas y lodolitas arenosas; los mismos autores ubican la sección tipo de esta unidad en la Quebrada Urriaga, afluente del Río Iró, al sur del área de estudio. Según estos autores, los contactos inferior y superior de la Formación Conglomerados de La Mojarra con la Formación Istmina y con la Formación Condoto son concordantes y el espesor de esta formación es de 1920 m, medido en la Quebrada Urriaga (Figuroa & Núñez, 1990).

Esta unidad corresponde al miembro basal de la unidad Facies Suruco, uno de las dos unidades en las que Texaco (1989) dividió la Formación Condoto (Grupo San Juan, en la nomenclatura actual). Esta unidad “se compone de una secuencia conglomerática espesa, con areniscas intercaladas, escasas, formando lentes” (Texaco, 1989).

Mera y Piragua (2000) describen una sucesión conglomerática espesa, con areniscas intercaladas formando lentes, en el flanco oeste del Sinclinal de Mojarra. El conglomerado tiene guijos y cantos de chert de varios colores, fragmentos de rocas ígneas extrusivas, calizas grises y fragmentos de cuarzoarenitas de color gris oscuro con matriz arcillosa arenosa. Los conglomerados están intercalados con lentes de arenisca de grano grueso y limolitas, son frecuentes hacia el tope fragmentos de madera carbonizados. Suprayacen a esta sección conglomerados y areniscas menos macizas.

Caracterización Litológica en el área Atrato-San Juan: Se trata de una potente sucesión conglomerática frecuentemente areno-soportada (Foto CM-110), con clastos son de tobas, basaltos, dioritas y sedimentitas cuyo rasgo composicional sobresaliente es la inclusión de material plutónico en sus constituyentes. Ascendiendo en la sucesión se tiene una disminución tanto en el tamaño de grano, como en el espesor de los estratos, incrementándose las litoarenitas, fenómeno que ocurre de modo lateral en algunos sectores, como es el caso de la sucesión del Río Condoto, la que a mediados de la población de Acosó y hacia el occidente, se torna arenosa y/o las partículas de los conglomerados se tornan tamaño guijo (Foto AP-126).



Los conglomerados están bien redondeados y el tamaño de grano disminuye tanto hacia el tope de la sucesión como hacia el W, teniendo bloques de plutonitas hasta de 4 m de diámetro máximo inmersos en las gruesas capas de conglomerados que afloran al oriente de Santa Ana. En el sector oriental es frecuente que los clastos elongados estén imbricados señalando una dirección de transporte WSW (p.e. Río Apotó, estación AP-011).

En la parte SW del área de estudio se cartografió un nivel superior de los Conglomerados de La Mojarra, los cuales yacen en discordancia angular tanto con los conglomerados inferiores de la unidad como sobre la Formación Istmina o sobre la Formación Iró al oriente de la población de Viroviro.

Edad: Figueroa & Núñez (1990) asignan edad Aquitaniano tardío a la Formación Conglomerados de La Mojarra con base en foraminíferos de muestras tomadas en la base, parte media y techo de la unidad. Se encontraron restos de *Globigerinoides diminute* asociados con *Globigerinoides bropherica* en pobre estado de preservación que indican esta edad.

Espesor en área de estudio: Debido a su carácter discordante angular sobre las unidades antecesoras el espesor de esta formación oscila desde una capa, hasta unos 1200 m. (estimados a partir de las secciones estructurales).

El contacto inferior es discordante angular con cualquiera de las unidades predecesoras ya que se acumuló sobre una superficie de rocas deformadas. Frecuentemente la Formación Conglomerados de La Mojarra en el área de estudio reposa en discordancia angular sobre la Formación Iró (Quebrada Apartadocito, tributario del Río Condoto, Foto AP-055) y disconforme sobre las rocas de la Formación Istmina (Río Mongarrá y Quebrada Profundó).

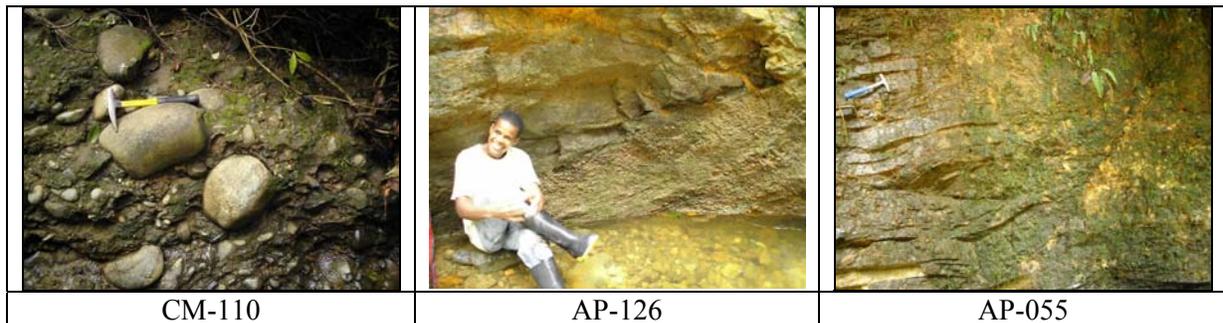


Figura 11. Formación Conglomerados de La Mojarra. Conglomerado arenosoportado de guijos y cantos (CM-110). Capas medias de litoarenitas conglomeráticas (AP-126). Brecha cubriendo discordantemente cherts de la Formación Iró (AP-055).

Ambiente de depósito: Los Conglomerados de La Mojarra fueron acumulados en un sistema de abanicos submarinos a modo de lóbulos de los que hoy se pueden apreciar las discordancias intraformacionales marcadas sobre el Mapa Geológico (ANEXO 4).

3.4.3 Depósitos Cuaternarios (Qt, Qal)

Se presentan ampliamente distribuidos cubriendo de forma subhorizontal casi todas las unidades y estructuras en el área de estudio. Estos depósitos han sido tradicionalmente productores de oro y platino en la región.

Las terrazas (Qt) están generalmente mal drenadas debido a su alta permeabilidad y tienen siempre un talud hacia los cauces de los drenajes. Su composición se asemeja a la de los conglomerados de La Mojarra, cuyos componentes esenciales son clastos de tobas, basaltos, dioritas y sedimentitas.

Los depósitos aluviales recientes (Qal) están restringidos a los cauces de los drenajes más importantes y son aquellas zonas que se ven sometidas a inundaciones frecuentes. Se caracterizan por presentar



escasa vegetación, permitiendo tener en superficie gran concentración de gravas y arenas sin desarrollo de suelos.



4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio está localizada en la parte norte de la denominada por Duque-Caro (1990b) Zona deformada de Istmina, área muy compleja desde el punto de vista estructural. La tendencia regional de las estructuras en el área de estudio es de N50E, cambiando a una orientación E-W cerca de la Cordillera Occidental. Se distinguen cuatro estructuras importantes en la zona: La Falla de San Juan, Sinclinal de La Mojarrá, el Anticlinal de Ñápera y la Falla del Iró.

4.1 TRAVERSAS ESTRUCTURALES

Como aspecto general de los accesos que unen localidades se debe resaltar que casi la totalidad de ellos son las quebradas y/o los ríos, con ocasionales tramos que atraviesan la selva en las divisorias de agua. Por tal razón es indispensable estar acompañado de las personas nativas que conozcan el área, especialmente hacia los interfluvios.

4.1.1 Transecta Río San Juan

Se llevó a cabo en lancha de motor partiendo del municipio de Tadó, con desplazamientos diarios de ida y regreso al mismo, en días sin lluvia, pues el caudal es torrencial y extremadamente peligroso para cualquier tipo de trabajo. Es el río más caudaloso del área por lo cual requiere personal experto en manejo de lancha y personal auxiliar conocedor de todo el tramo fluvial. Comprendió de noreste a suroeste afloramientos en ambos márgenes del río desde el sur de Playa de Oro (fuera del área de trabajo) pasando por El Corcovado, El Tapón, Tadó, caseríos Corcovado, Toroma y La Playita. Los afloramientos estudiados en el Río San Juan se localizan en los taludes del cauce principal del río y en ocasiones pueden superar los 200 metros de continuidad lateral.

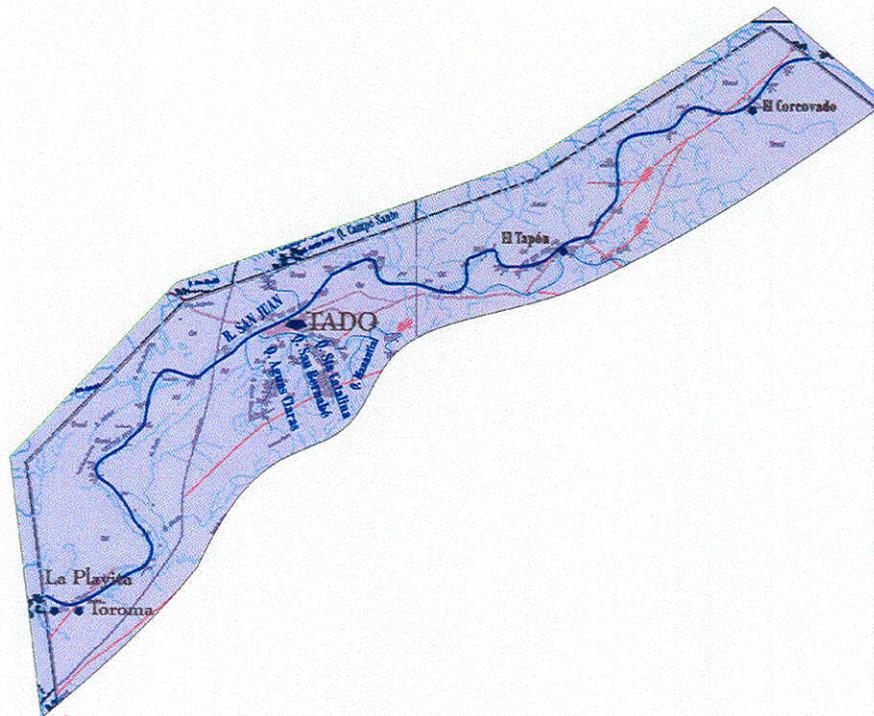


Figura 12. Transecta Río San Juan



El Río San Juan se utilizó como vía de acceso a las quebradas Aguas Claras, San Bernabé, Santa Catalina, Manantial y Campo Santo, en donde se efectuaron traversas estructurales y levantamientos estratigráficos; los recorridos por estas quebradas se efectuaban caminando ya que su caudal no permite el acceso de canoa. La Quebrada Campo Santo, afluente norte del R. San Juan tiene acceso en canoa desde la desembocadura, y en tiempo de pocas lluvias la mayor parte de su recorrido puede efectuarse caminando. Los afloramientos en las quebradas afluentes del R. San Juan se encuentran asociados al lecho mismo de los cauces, razón por la que es necesario que el cauce de las mismas sea el mínimo posible para la toma de buenos datos geológicos.

4.1.2 Transecta Río Iró

Aunque para acceder a la zona del Río Iró está la posibilidad de hacerlo caminando Tadó – Manungará – Santa Bárbara en un recorrido de 6 horas a paso de nativo, el acceso se efectuó por canoa a motor desde Condoto y/o desde Istmina. El tiempo de navegación depende del nivel del río, desde imposible en temporada de alto nivel, desplazamiento rápido en nivel intermedio (3 horas hasta Santa Rita) o desplazamiento lento con escasez de agua corriente (9 horas para el mismo recorrido). El cauce principal del Río Iró, en la mayor parte de su recorrido es amplio, y los afloramientos no superan los 3 metros de altura, ni 30 metros de continuidad lateral.

En general los afluentes del Río Iró son escasos, fueron visitados en su mayoría y de occidente a oriente tienen las siguientes características: las quebradas Catuadó (Cuatroado) y Curubá tienen un recorrido bastante plano y sinuoso, con eventuales afloramientos, la mayor parte de su recorrido puede efectuarse en canoa de palanca y caminando hacia sus cabeceras. Para la Q. Curubá se tuvo acceso a esta por el Río Iró en bote desde Calle del Cedro o Viroviro las dos localidades más cercanas. En la confluencia de esta quebrada con el Río Iró se avanza aguas arriba en canoa de palanca hasta unos 3 Km, altura a partir de la cual se tiene que continuar el recorrido caminando hasta las cabeceras.

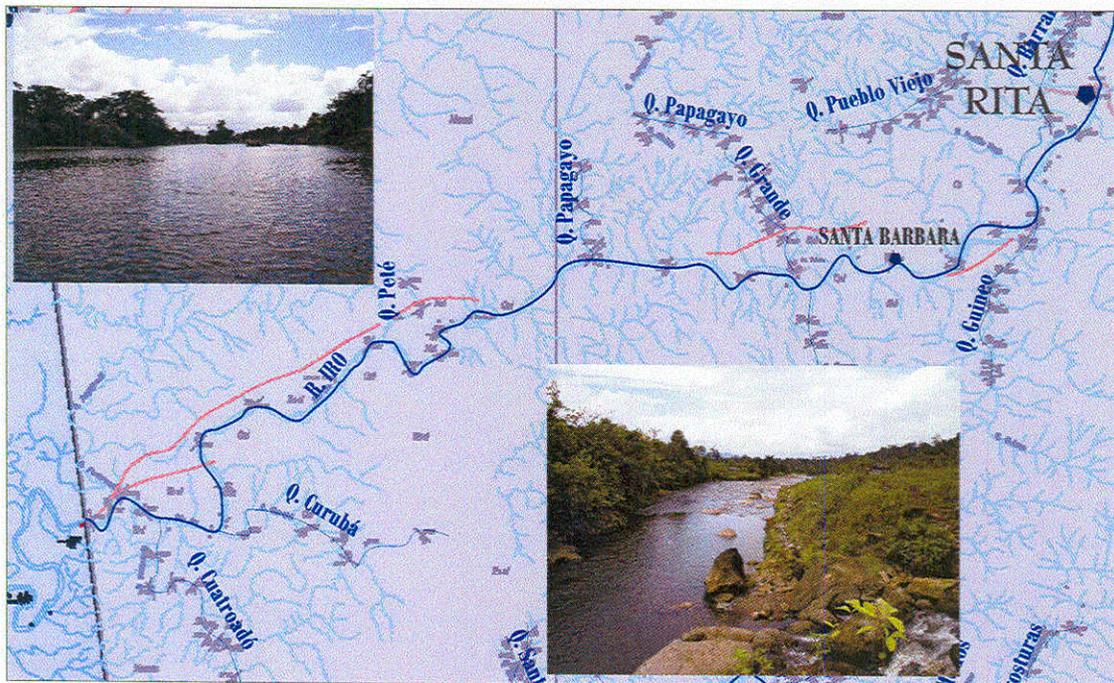


Figura 13. Transecta Río Iró

Las quebradas Peté y Papagayo presentan características muy semejantes en su geología y acceso, su trayecto es corto y su recorrido semiplano se hace caminando. Las quebradas Grande y Papagayo



(afluente del Mongarrá) se visitaron caminando, ruta mucho más pendiente que las quebradas anteriores, a través de la que se parte de Santa Bárbara, hacia el Municipio de Tadó.

La Quebrada Guineo es el primer afluente de gran envergadura que tiene el Río Iró desde su desembocadura en el Río Condoto y se visitó desde Santa Rita; a lo largo de su recorrido se tienen contrastantes variaciones en el cauce, con encajonamientos intransitables y zonas semiplanas en donde se tienen escasos afloramientos sobre el lecho.

4.1.3 Transecta Quebrada Muchidó

Requiere desplazamiento al corregimiento de La Esperanza, 8 horas en canoa de palanca desde Tadó, llevando provisiones pues no se encuentra hotel ni víveres, se contrata hospedaje y alimentación con los lugareños. Desde La Esperanza se recorren 4 horas hasta llegar a la cabecera del Río Muchidó, sector de inicio de la travesa, recorriendo todo el cauce hasta desembocar en el Río Tadocito. Los afloramientos están en las dos márgenes del cauce e incluso algunos en mitad del mismo, todo el desplazamiento es fluvial.

4.1.4 Alrededores de Santa Rita

Las quebradas El Padre, Chirrinchá, Zambullidero, Barrancón, Pueblo Viejo, Canebá, Canebacito y Guineo fueron visitadas desde la cabecera municipal de Santa Rita, en donde existe apenas un sitio de hospedaje con 4 habitaciones y la comida debe ser encargada en alguno de los hogares ya que no hay restaurantes ni supermercados. Los recorridos a las quebradas aquí mencionadas se efectuaron caminando y los trayectos más alejados no toman más de 4 horas.

De Santa Rita hacia aguas arriba el Río Iró no es navegable, y los recorridos de las transectas se efectuaron caminando, de esta forma se llegó hasta las quebradas Chontaduro, Guamita, Tadocito, Irocito (trayectos con ida y retorno entre 6 y 10 horas). Al nororiente de Santa Rita el relieve se hace escarpado y el acceso por los drenajes exige excelentes condiciones físicas a pesar de existir en algunos tramos con camino.

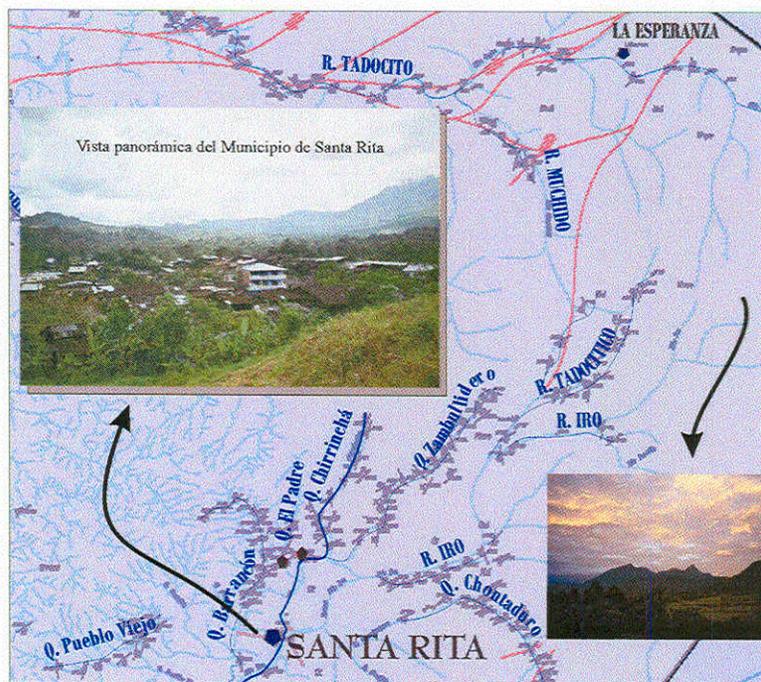


Figura 14. Transectas en alrededores a Santa Rita



4.1.5 Transecta Río Tadocito

La totalidad del Río Tadocito fue transitado en canoa de palanca, desde El Tapón hasta La Esperanza el recorrido tarda 2 días, de allí hacia el oriente, la travesía realizada igualmente desde el corregimiento de La Esperanza con 4 auxiliares de campo, recorriendo 3 horas en canoa de palanca hasta llegar aguas arriba al límite noreste del bloque en el Plutón de La Esperanza. La travesía comprendió todo el río hasta el corregimiento de El Tapón recorriendo todo el cauce hasta desembocar en el Río San Juan. Los afloramientos están en los dos márgenes del cauce, en la parte alta el desplazamiento es a pie (2 días) y desde La Esperanza hacia el suroeste el desplazamiento es fluvial.

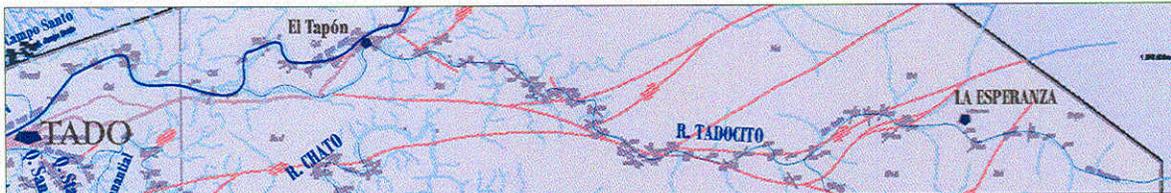


Figura 15. Transecta Río Tadocito

4.1.6 Transecta Río Chato – Q. La Larga

Desplazamiento de 1 hora en carro desde Tadó hasta el caserío de Manungará, en márgenes del Río Chato, desde donde se camina 1 hora hasta llegar aguas arriba a la Quebrada La Larga, sector de inicio de travesía caminando todo el tiempo por el cauce de la quebrada hasta retornar a Manungará. Recorridos diarios con base en Tadó, pues en ningún tramo del recorrido existe posibilidad de estadía o contratar alimentación.

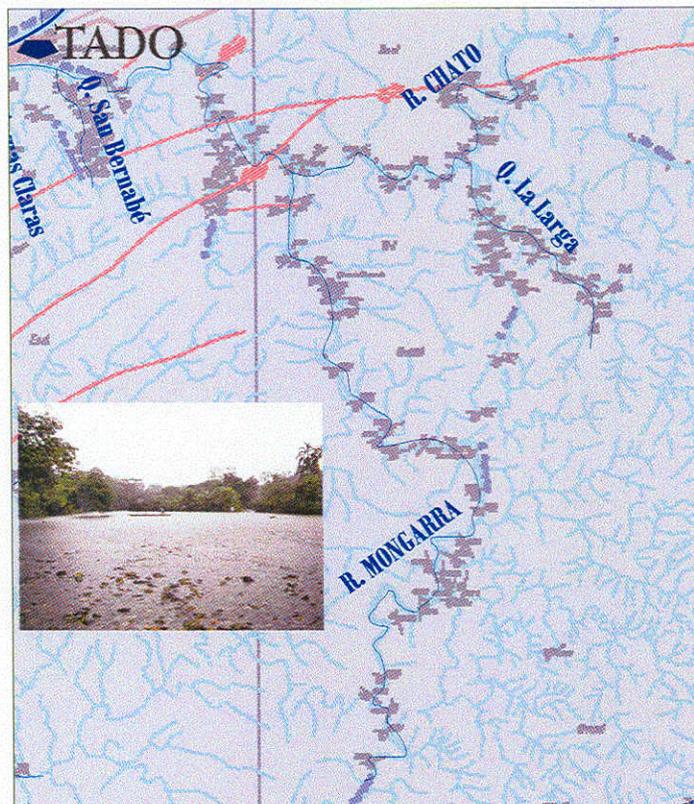


Figura 16. Transecta Río Chato – Quebrada La Larga



4.1.7 Transecta Río Mongarrá

Desplazamiento de 1 hora en carro desde Tadó hasta el caserío de Manungará, a partir de donde se camina 8 horas hasta llegar aguas arriba a la Escuela de Betania, caserío donde se pernoctó. En la siguiente jornada se camino por el Río Mongarrá hasta la confluencia con la Quebrada Papagayo hasta proximidades al nacimiento aguas arriba (8 horas). Desde el sector de inició (Quebrada Papagayo) hasta Tadó la travesa se realizó en canoa de palanca (8 horas); los afloramientos están en los dos márgenes de los cauces fluviales recorridos y controlados.

4.1.8 Transecta Quebradas Profundó & Colorado

Se parte en lancha de motor de Tadó por el Río San Juan hasta el caserío de Profundó (1 hora), desde allí con provisiones y logística, marcha de 1 día en canoa de palanca, aguas arriba hasta el nacimiento de la Quebrada Profundó, sector donde se debe acampar en carpa. Toda la travesa es vía fluvial y muchos tramos deben realizarse a pie por la quebrada en zonas de bajo caudal.

Igualmente se parte desde el caserío de Profundó con provisiones y logística, en marcha de 1 día en canoa de palanca y a pie, aguas arriba hasta el nacimiento de la Quebrada Colorado, sector donde se debe acampar. Toda la travesa es vía fluvial y muchos tramos deben realizarse a pie por la quebrada en zonas de bajo caudal, lo cual hace lentos y dificultosos los desplazamientos.

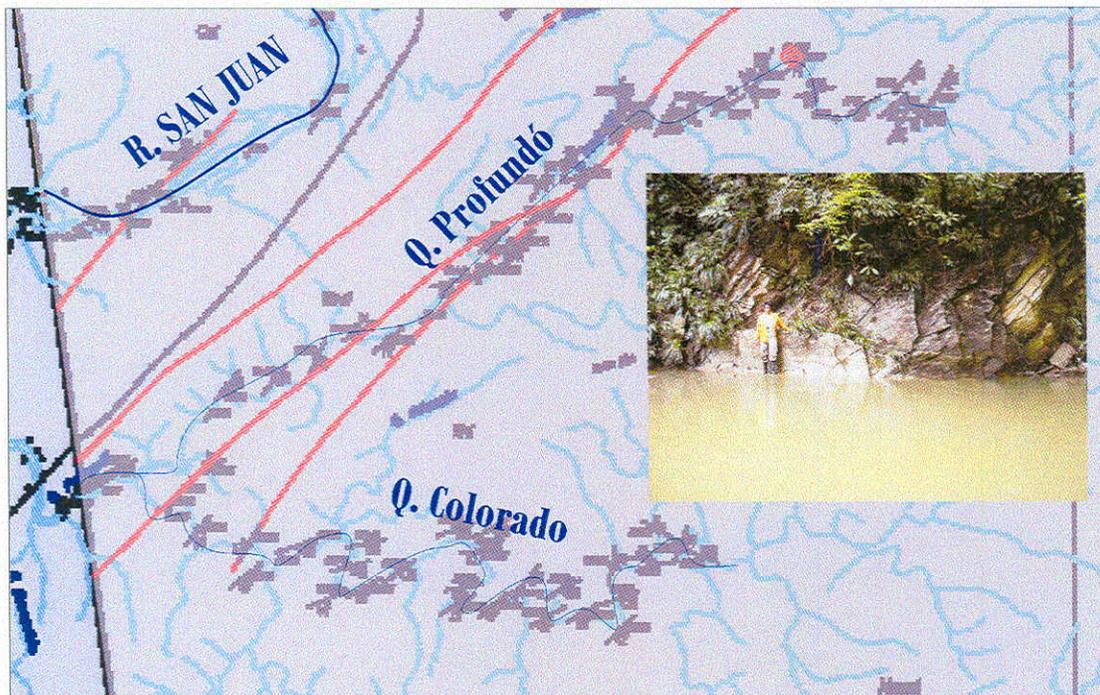


Figura 17. Transecta Quebradas Profundó

4.1.9 Transecta Río Condoto

El recorrido para adquisición de información cartográfica y estructural en el Río Condoto se hace a través de éste en canoa de motor partiendo desde el caserío de El Paso (del Municipio de Condoto) al SE del área de estudio hasta el oriente del caserío de La Muriña. En el río se presentan buenos aunque aislados afloramientos y es de fácil navegabilidad por personal experto. A un costado del río entre El Paso y La Muriña existen dos importantes inspecciones: Santa Ana y Acosó, que eventualmente pueden servir como sitios de alojamiento.



Para el recorrido de la Quebrada Angosturas caminando desde su confluencia con el Río Condoto hasta las cabeceras de ésta. El arribo a la desembocadura de la Quebrada Angostura se hace en bote por el Río Condoto desde el caserío de El Paso, sitio de base a unas tres horas en canoa de motor desde el Municipio de Condoto. La mayor parte de su cauce se encuentra encajonada en rocas muy resistentes a la erosión y según los nativos del área “tiene mal piso”, queriendo afirmar que los fragmentos sobre el lecho son subangulares, de gran variedad de tamaños y muy lisos.



Figura 18. Transecta Río Condoto

4.1.10 Transecta Quebrada Apartadó – Tirado

De forma similar a los otros afluentes del Río Condoto, el acceso a estas dos traversas debe hacerse desde el Caserío El Paso en bote por el Río Condoto hasta la desembocadura de la Quebrada Apartadó. El acceso aguas arriba de la Quebrada Apartadó debe hacerse caminando hasta la parte alta de ésta. A través de un afluente de esta quebrada llamado Quebrada Apartadocito y avanzando aguas arriba se encuentra un camino que conduce hacia la Quebrada Tirado, curso que drena hacia el noroccidente y constituye uno de los tributarios de la Quebrada Nápera. Esta zona se encuentra moderadamente habitada y se caracteriza por la producción de platino.

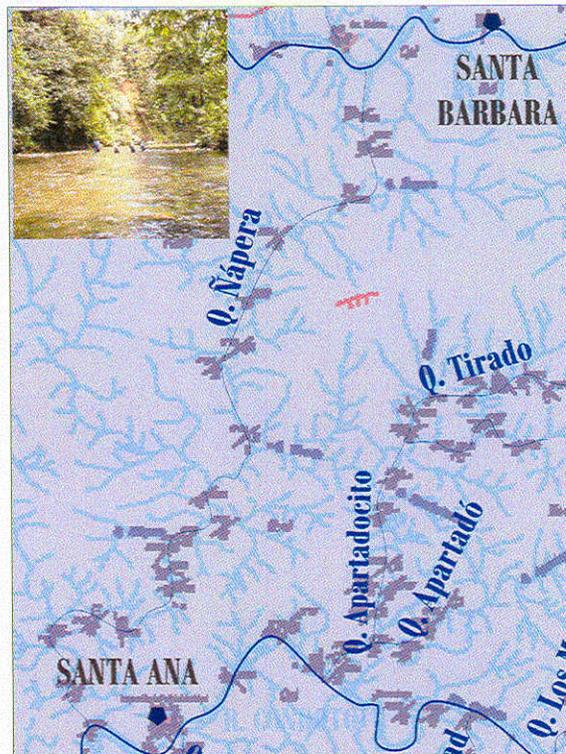


Figura 19. Transecta Quebrada Apartadó - Tirado



4.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO

El análisis cinemático consiste en la reconstrucción de los movimientos y distorsiones que ocurren en la roca durante la deformación. La deformación es el proceso mediante el cual las partículas de una roca se reorganizan de una posición inicial a una posición final posible de observar en la actualidad. Los componentes de deformación son esencialmente dos: deformación rígida y deformación no rígida. La deformación rígida comprende tanto rotación como translación. La deformación no rígida conocida también como strain, comprende la distorsión y dilatación (Allmendinger, 1999).

Con el objeto de reconstruir los movimientos y la orientación de los esfuerzos que dieron origen a las diferentes estructuras durante las etapas de deformación en el área de estudio, se colectó información estructural, la cual fue analizada con la ayuda de software y se hicieron las respectivas interpretaciones. Para tal fin durante la fase de campo se identificó y describió en campo el tipo de deformación presente en las rocas (frágil o dúctil) y se colectaron datos de orientación de ejes de pliegues, actitud, características e indicadores cinemáticos de desplazamiento en diaclasas y fallas.

Las fallas con indicadores cinemáticos de desplazamiento (**Tabla 3**) fueron analizadas por los métodos de Angelier (1979), Alexandrowski (1985) y Marrett & Almendieger (1990), con el objeto de obtener la orientación de los ejes principales de esfuerzos. Los datos fueron procesados mediante el programa StereoNett versión 2,46 para obtener una primera aproximación de la dirección de los ejes de esfuerzos principales mayores mediante la determinación de los planos de movimiento, y luego el proceso se repitió con el programa FaultKinWin 1.1 para Windows el cual integra las metodologías planteadas por los autores previamente citados. Los estereogramas se proyectaron en red equilateral, en el hemisferio inferior. Estos estereogramas muestran las fallas con sus indicadores cinemáticos, planos nodales y ejes de esfuerzos principales. Todos los estereogramas fueron integrados en el mapa estructural (ANEXO 5).

Con el fin de representar un estereograma representativo para el área de estudio se integraron en un sólo gráfico todos los estereogramas, el cual fue comparado con el resultante mediante técnicas estereográficas convencionales (planos de movimiento). Finalmente se elaboró la elipse de deformación con el propósito de resumir la orientación de los tres esfuerzos mayores principales σ_1 , σ_2 y σ_3 . En la **Tabla 3** se presentan las fallas con indicadores cinemáticos de desplazamiento registrados en el área de estudio (Total 50).

4.3 PLIEGUES

4.3.1 Anticlinal de La Cuelga

Estructura simétrica (Anexo 6, Corte geológico B-B) de 15 Km de longitud que se extiende desde la Quebrada Profundó al suroeste, hasta el Río Muchidó en el noreste del área de estudio. Presenta rumbo dominante N40E, en su parte media y luego se flexiona pasando a rumbo N80E en el norte. Está conformado en superficie por rocas de la Formación Iró y se encuentra limitado en la parte sur por la Falla de La Mojarra y en la parte norte por la Falla de Profundó.

El Anticlinal de La Cuelga se encuentra interrumpido por las fallas de la Mojarra y Tadocito, ésta última cubierta por rocas de la Formación Istmina. Se puede asignar de esta manera una edad anterior a la deposición de la Formación Istmina y posterior a la Falla de Tadocito la cual trunca el trazo de la estructura a la altura de la Quebrada Muchidó.



4.3.2 Anticlinal de Colorado

Pliegue de 7,2 Km. de extensión y rumbo N55E, ubicado en la parte media occidental del área de estudio, comprende superficialmente rocas de la Formación Iró desde La Quebrada Colorado (parte sur) hasta el Río Mongarrá (parte norte) y se encuentra tectónicamente asociado al bloque colgante de la Falla de La Mojarra, la cual lo limita en toda su extensión en el flanco noroeste. Este pliegue se encuentra cubierto por la Formación Istmina. (Anexo 6, Corte geológico C-C)

4.3.3 Anticlinal de Chirrinchá

Pliegue de 7,5 Km. de extensión y rumbo N30E, ubicado en la parte media noreste del área de estudio, su área en superficie comprende rocas de la Formación Iró desde La Quebrada Chirrinchá (parte suroeste) hasta el Río Muchidó (parte noreste), su prolongación termina en la Falla de Chato.

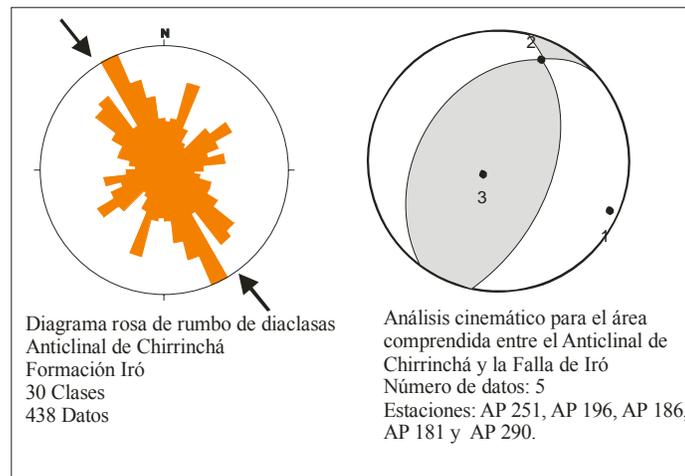


Figura 20. Diagrama rosa de fracturas y estereograma de datos cinemáticos (Anticlinal de Chirrinchá)

En el diagrama rosa se ilustran diaclasas (rumbo) de la Formación Iró en el área de influencia del Anticlinal de Chirrinchá y el Sinclinal de Zambullidero. El estereograma muestra sistemas de fallas con indicadores cinemáticos en la Falla de Iró muy próximos a las otras estructuras mencionadas. Tanto el diagrama rosa como el estereograma indican que el eje principal mayor σ_1 con orientación $160^\circ - 340^\circ$, es perpendicular al trazo de estas estructuras.

La diferencia en la orientación del eje principal mayor σ_1 en el diagrama rosa y el estereograma se debe a que las diaclasas en este sector se encuentran rotadas en sentido horario debido a una cizalla dextral evidenciada por las estrías de fricción medidas en la estación AP 290 y en la inclinación de eje de esfuerzo intermedio σ_2 .

4.3.4 Anticlinal de Ñápera

Este anticlinal junto con el Sinclinal de La Mojarra constituye dos de las estructuras más importantes en el área. Tiene una longitud de 16.5 Km. con rumbo promedio N75E, su trazo se extiende paralelo al margen sur del Río Iró desde la parte oriental de Viroviro, hasta cercanías del municipio de Santa Rita, en el norte. En su núcleo afloran rocas del Complejo Santa Cecilia - La Equis y hacia la periferia, la Formación Iró (parte sureste) y la Formación Istmina (flanco noroeste). Este pliegue se encuentra limitado en el costado noroeste por la Falla de Iró y en el sureste por el Río Condoto (ver cortes geológicos B-B y C-C).

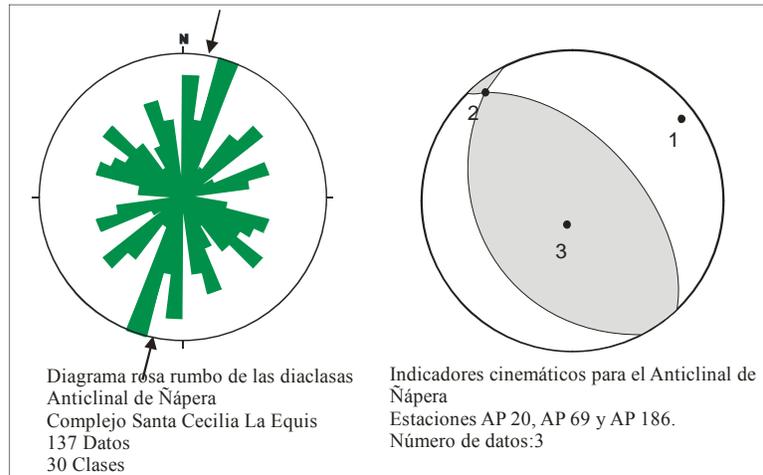


Figura 21. Diagrama rosa de fracturas y estereograma de datos cinemáticos (Anticlinal de Nápera)

La dirección del esfuerzo principal mayor σ_1 obtenido a partir del diagrama rosa de rumbo de las diaclasas es similar al obtenido a partir del estereograma correspondiente a las fallas con indicadores cinemáticos ($10^\circ - 100^\circ$). El esfuerzo ilustrado puede considerarse como el responsable del cabeceo de esta estructura, obtenido éste último de la proyección de ejes de pliegues menores asociados y de polos de estratificación para el anticlinal de Nápera ($223^\circ/27^\circ$).

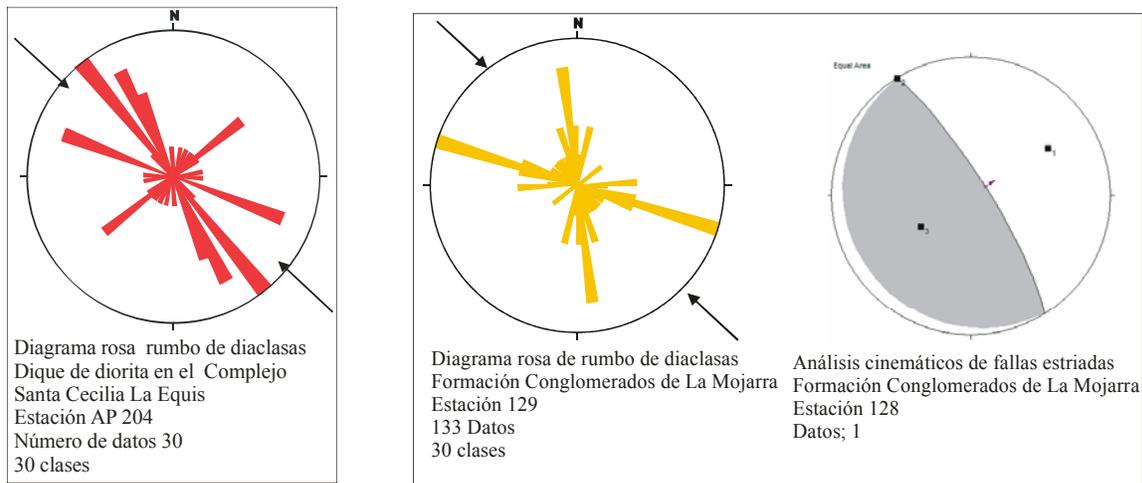


Figura 22. Diagrama rosa de fracturas en el Complejo Santa Cecilia La Equis (en rojo) y la Formación Conglomerados de la Mojarrá. Estereograma de datos cinemáticos (Formación Conglomerados de La Mojarrá)

Los datos de diaclasas obtenidos en el Anticlinal de Nápera en diques dioríticos son similares a los correspondientes al sector suroccidental de esta estructura en la Formación Conglomerados de La Mojarrá e indican que el esfuerzo principal mayor σ_1 tiene una dirección NW–SE y es perpendicular al eje del Anticlinal de Nápera. El estereograma de indicadores cinemáticos muestra un sistema de fracturas conjugadas con fallas normales perpendiculares a σ_1 .

4.3.5 Anticlinal El Paso

Pliegue suave de 3,5 Km. de extensión y rumbo N35E, ubicado en la esquina sureste de la zona de trabajo. Esta estructura en superficie involucra rocas de la Formación Conglomerados de La Mojarrá,



en inmediaciones del caserío El Paso, al sur del Río Condoto. Se prolonga en toda la unidad hasta el contacto con el Complejo Santa Cecilia – La Equis al sur de la Quebrada El Salitre.

4.3.6 Sinclinal de La Sierra

Sinclinal ubicado en la franja noroeste del área de estudio, con un eje de 10 Km. de extensión y rumbo dominante de N40E (mitad suroeste). En su parte media en el Río Mongarrá, está fallado y desplazado lateralmente, cambiando gradualmente a rumbo N80E (mitad noreste). En superficie comprende rocas de la Formación Iró, extendiéndose paralelamente a la Falla de Chato, contra la cual termina en inmediaciones del Río Tadocito.

4.3.7 Sinclinal de La Mojarra

El Sinclinal de La Mojarra (definido por Texaco, 1989) constituye la principal y más extensa estructura regional en el área cartografiada. Posee una extensión de 22 Km. y rumbo N60E, su eje se extiende en sentido suroeste-noreste, en la parte central del área desde la Quebrada Pacurundú (afluente al norte del Río Iró) hasta el Río Tadocito, cerca al caserío de La Esperanza.

Este sinclinal en superficie está desarrollado en las Formaciones Iró e Istmina y sepultado por la Formación Conglomerados de La Mojarra (que recubre de modo discordante a las unidades paleógenas). Su flanco noroeste se encuentra plegado y afectado tectónicamente por las fallas de La Mojarra y San Juan. El flanco sureste está afectado por la Falla de Iró, y cubierto localmente por depósitos aluviales del Río Iró.

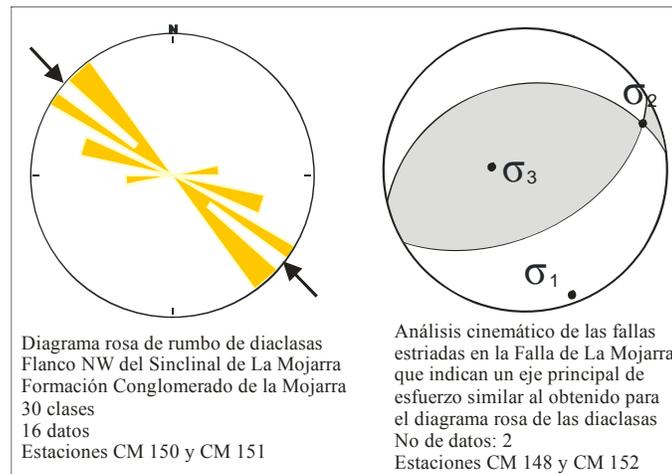


Figura 23. Diagrama rosa de fracturas y estereograma de indicadores cinemáticos (Sinclinal de La Mojarra)

El esfuerzo principal mayor (σ_1) determinado para esta estructura a partir del diagrama rosa de rumbo de diaclasas y del estereograma de indicadores cinemáticos es NW – SE es perpendicular al trazo de la estructura. Esta estructura tiene un cabeceo 230/20, calculado geométricamente a partir de la proyección de polos de estratificación.

4.3.8 Sinclinal de Zambullidero

Pliegue de 6,5 Km. de extensión y rumbo N25E, ubicado en la parte media noreste de la zona de trabajo, su área en superficie comprende rocas de la Formación Iró desde el norte del municipio de Santa Rita (parte suroeste del pliegue) hasta el Río Muchidó (parte noreste del pliegue) donde termina contra la Falla de Chato.



4.3.9 Sinclinal de La Trinidad

Estructura de 5,5 Km. de longitud con rumbo promedio de N50E, ubicado al sureste de la inspección de Santa Ana y cuyo eje se extiende entre los ríos Apotó y Condoto. Está conformado en superficie por la Formación Conglomerados de La Mojarra, terminando al noreste contra la discordancia que pone en contacto esta unidad con la Formación Iró y el Complejo Santa Cecilia - La Equis.

4.4 FALLAS Y LINEAMIENTOS

4.4.1 Falla de San Juan

Estructura de carácter inverso con fuerte componente transcurrente dextral. Se extiende en el área de estudio por 19 Km, con rumbo N50E y vergencia tectónica dominante hacia el noroeste. Hacia la parte media cambia abruptamente su rumbo a una dirección promedio E-W. Su trazo controla el cauce del Río San Juan y se extiende desde el caserío La Playita, sector occidental, hasta el noreste del caserío El Corcovado, límite norte del área (Anexo 6, Cortes geológicos).

Esta falla pone en contacto niveles inferiores de la Formación Iró en el bloque colgante, con niveles de la Formación Conglomerados de La Mojarra (bloque yacente) en inmediaciones de Tadó y El Tapón. En la parte norte presenta asociadas fallas menores que repiten niveles de las formaciones Istmina y Conglomerados de La Mojarra.

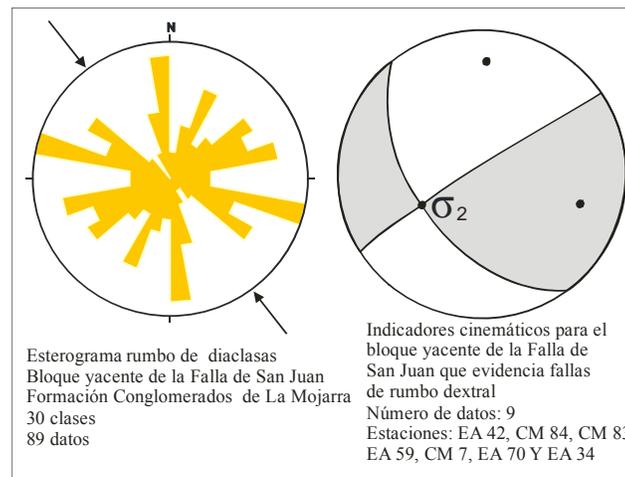


Figura 24. Diagrama rosa de fracturas y estereograma de indicadores cinemáticos (Falla de San Juan)

El estereograma de rumbo de diaclasas en el bloque yacente de la Falla de San Juan indica un eje de esfuerzo principal σ_1 con dirección NW – SE. Sin embargo el estereograma de indicadores cinemáticos para este sector evidencia un fallamiento de rumbo dextral con σ_1 casi vertical, por tal razón, se asume que esta falla presenta movimiento inverso y de rumbo.

4.4.2 Falla de Chato

Falla inversa con componente de desplazamiento lateral dextral, que se extiende por 18 Km. con rumbo promedio N60E y vergencia NW. Su trazo se extiende desde el caserío Toroma (sureste) hasta inmediaciones de los ríos Tadocito y Muchidó, al suroeste del caserío de La Esperanza, sector donde la falla se propaga en varias fallas menores hacia el Este del área de estudio.



En la mayor parte de su trazo esta falla afecta rocas de la Formación Iró y en menor proporción (sector noreste) pone en contacto niveles de la Formación Iró y la Formación Istmina, en inmediaciones del Río Tadocito. La trayectoria de esta falla es subparalela a la Falla del Río San Juan.

Esta falla se estudió en dos sectores: el primero entre las Quebradas Aguas Claras, San Bernabé y el Río Mongarrá y el segundo en la Quebrada Profundó. Tanto el diagrama rosa de rumbo de diaclasas en el bloque yacente (cuña de la Formación Istmina), como el estereograma de indicadores cinemáticos medidos en la Formación Istmina y en la Formación Iró indican una compresión con dirección aproximada 175° - 365° . Sin embargo, en el segundo sector en la Quebrada Profundó (estaciones EA 83 y EA 85), se presentan fallas con indicadores cinemáticos de rumbo dextral, lo cual permite concluir que la Falla de Chato tiene un comportamiento similar a la Falla de San Juan.

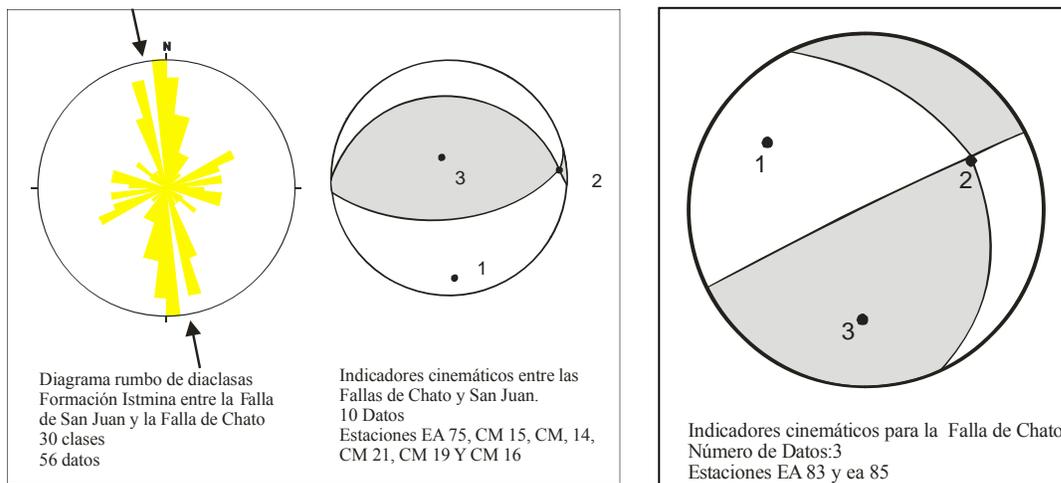


Figura 25. Diagrama rosa de fracturas y estereogramas de indicadores cinemáticos (Falla de Chato)

4.4.3 Falla de La Mojarra

El nombre de esta estructura definido por Texaco (1989) se emplea en este trabajo para definir una falla inversa que se extiende en la parte noreste de la zona de trabajo por 8 Km. con rumbo promedio N45E y vergencia dominante hacia el noroeste. Su trazo se extiende desde la Quebrada Colorado hasta el suroeste del caserío de Chacuante, en inmediaciones del Río Mongarrá; tanto al sur como al norte la falla termina contra la discordancia en la base de la Formación Istmina.

Esta falla enfrenta niveles antiguos con niveles de la parte superior de la Formación Iró, siendo los anticlinales de La Cuelga y Colorado estructuras asociadas tectónicamente y paralelas a su trazo. La prolongación sur se encuentra cubierta por rocas de la Formación Conglomerados de La Mojarra.

4.4.4 Falla de Iró

Es la falla más extensa en el área de estudio, presenta componente dominante inverso con vergencia noroeste, similar a la Falla de San Juan. Posee componente de desplazamiento lateral dextral y se extiende por 27 Km. (prácticamente por el cauce del Río Iró), con rumbo promedio N50E, desde la inspección de Viroviro (sureste) hasta inmediaciones del caserío La Esperanza. En este sector la falla termina en el contacto de la Formación Istmina con el Plutón de la Esperanza.

En la mayor parte de su trazo esta falla afecta rocas de la Formación Iró y en menor proporción (sector noreste) niveles de las Formaciones Istmina, en inmediaciones de los ríos Muchidó y Tadocito.



4.4.5 Falla de Tadocito

Esta falla controla el curso del Río Tadocito en el sector nororiental del área y corresponde a una estructura de carácter inverso con fuerte componente transcurrente dextral. Se extiende por 9 Km, con rumbo N-E y vergencia tectónica dominante hacia el norte desde el caserío del Tapón, sector occidental, hasta el noreste en el límite norte del área de estudio.

La dirección del esfuerzo principal mayor (σ_1) NE - SW obtenido a partir del diagrama rosa de rumbo de diaclasas es similar al ilustrado en el estereograma correspondiente a fallas con indicadores cinemáticos. Se puede interpretar como producto de la rotación de los elementos estructurales en sentido horario debido a una cizalla dextral, evidenciada en la inclinación de σ_1 y en la gran cantidad de fallas de rumbo presentes en el sector (ver mapa estructural).

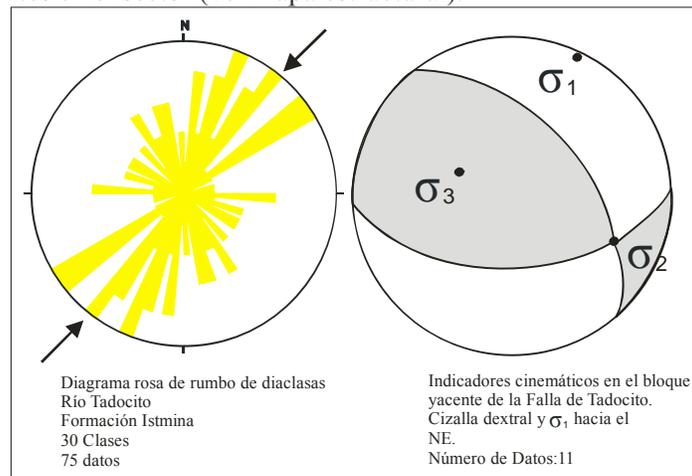


Figura 26. Diagrama rosa de fracturas y estereogramas de indicadores cinemáticos (Falla de Tadocito)

4.4.6 Lineamiento de Pacurundú

Elemento estructural regional definido con base en la interpretación fotogeológica y de imágenes de radar, con rumbo N62E, paralelo al eje del sinclinal de La Mojarrá y a las estructuras mayores del área. Se extiende con dirección SW-NE desde la Quebrada Pacurundú hasta el Río Muchidó.

4.4.7 Lineamiento El Convento

Elemento paralelo igualmente al eje del sinclinal de La Mojarrá y a las estructuras mayores del área, con rumbo N60E, su trazo se extiende desde la Quebrada El Convento, al noroeste del corregimiento Santa Bárbara, hasta la Quebrada Barrancón, al noroeste del municipio de Santa Rita.

4.5 ESTRUCTURAS MENORES

4.5.1 Fracturas

4.5.1.1 Complejo Santa Cecilia – La Equis

Las fracturas presentes en esta unidad se caracterizan por un patrón en general no sistemático debido no sólo a la variedad de litologías presentes sino a los múltiples eventos (deformación polifásica) desarrollados en ésta, lo cual está reflejado por la amplia dispersión de datos. En general en las diabasas se diferencian dos familias de fracturas sistemáticas de alto ángulo aproximadamente perpendiculares entre sí, una con tendencia N-S y otra E-W (AP-020 y AP-022) (Figura 27).



A pesar de que una de estas muestra indicadores cinemáticos (estrías de fricción) de desplazamiento, estas probablemente corresponden a fracturas de contracción por enfriamiento de magma, discontinuidades que favorecieron movimientos posteriores, principalmente de rumbo. Aunque los basaltos y lavas almohadilladas presentes en la unidad no presentan fracturas sistemáticas, algunos diques dioríticos que se encuentran intruyendo la unidad muestran tres familias bien desarrolladas. De estas, se presentan dos de alto ángulo las cuales se cortan en ángulo agudo (AP-024 y AP-026) (Figura 26) y presentan orientaciones diferentes en los dos sitios. Estas corresponden probablemente a fracturas de contracción y no presentan continuidad en las rocas intruidas por estos diques.

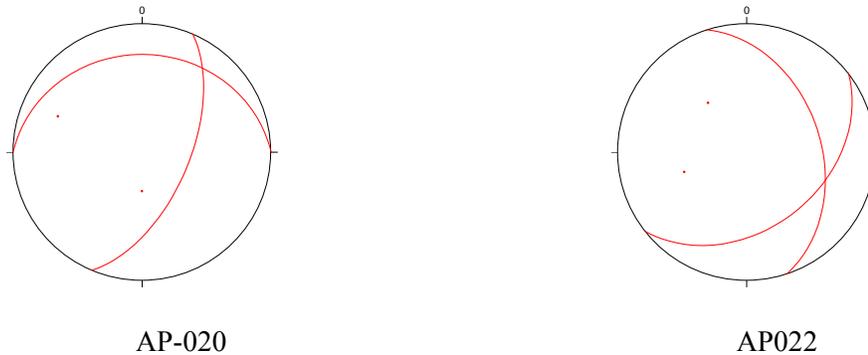


Figura 27. Proyección estereográfica de centroides y planos representativos de familias de fracturas en dioritas del Complejo Santa Cecilia – La Equis.

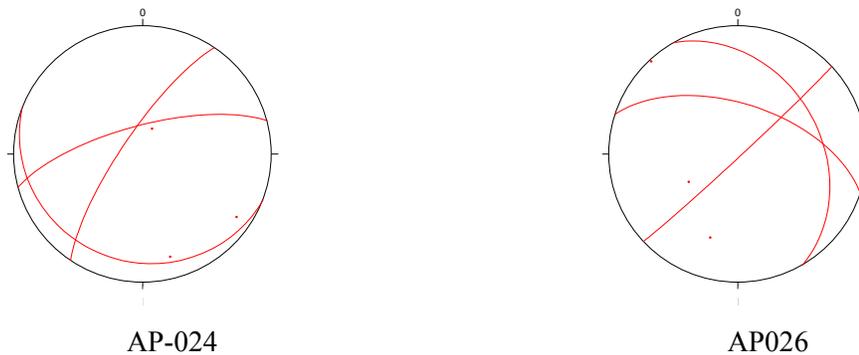


Figura 28. Proyección estereográfica de centroides y planos representativos de familias de fracturas en diques del Complejo Santa Cecilia – La Equis.

En las rocas sedimentarias intercaladas y rocas piroclásticas se presentan dos familias predominantes de alto ángulo, las cuales se cortan en un punto opuesto al azimut de buzamiento de la estratificación cerca al polo de ésta (AP-069, AP-164 y AP-185), (Figura 29). En un afloramiento de wackestone, limolitas y tobas se observa adicionalmente una familia de bajo ángulo con azimut opuesto a la estratificación (AP-185).

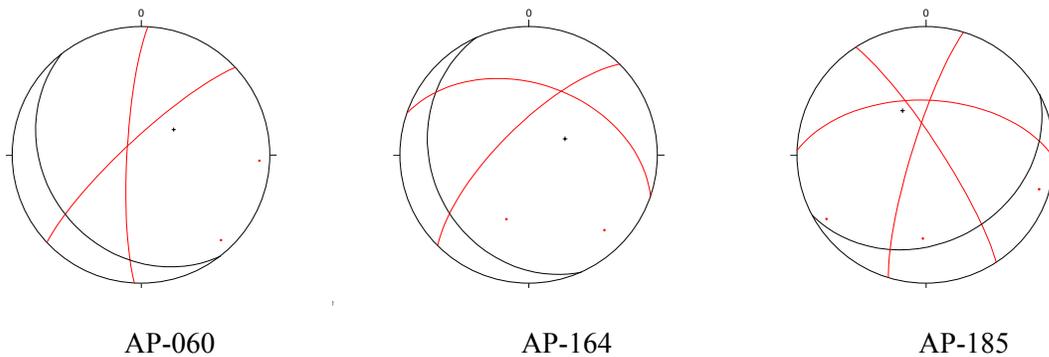


Figura 29. Proyección estereográfica de centroides y planos representativos de familias de fracturas en rocas sedimentarias y piroclásticas del Complejo Santa Cecilia – La Equis.

4.5.1.2 Formación Iró

En mudstones, wackestones y cherts de esta unidad se distinguen tres familias de fracturas sistemáticas, dos de alto ángulo aproximadamente normales a la estratificación y una de bajo ángulo con rumbo similar a la estratificación y azimuth de buzamiento generalmente opuesto a ésta. En algunos sectores sólo se diferencian dos familias de fracturas de ángulos de buzamiento alto y bajo. En la mayoría de casos las tres familias se interceptan en un punto común opuesto al azimuth de buzamiento de la estratificación muy cerca al polo de ésta (AP-240 y AP-241, proyección estereográfica de planos representativos de las tres familias de fracturas en rojo y estratificación en negro, Figura 31). Las fracturas se caracterizan por ser en general planas y lisas con alta persistencia, excepto la familia de bajo ángulo con continuidad a veces de 0.5 a 1 m.



Figura 30. familias de fracturas sistemáticas en wackestones y cherts de la Formación Iró

El relleno en las calizas es de calcita blanca con aperturas de 0,1 a 1 mm, eventualmente de hasta 2 cm y en los cherts de cuarzo blanco con aperturas similares a las anteriores. En algunos sectores es común la presencia de hidrocarburo seco relleno de fracturas. El espaciamiento de las dos familias de alto ángulo es similar, comprendido entre 0,1 cm a 5 cm máximo. El espaciamiento de la familia de bajo ángulo es mayor a las anteriores el cual varía entre 0,5 a 20 cm. En algunos sectores el espaciamiento de las tres familias es muy bajo originando una red muy densa de fracturas.

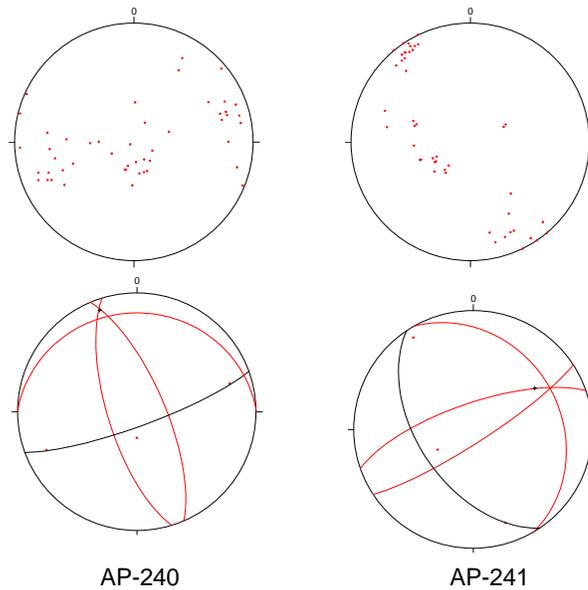


Figura 31. Proyección estereográfica de polos, centroides y planos de familias de fracturas en rocas de la Formación Iró

Las dos familias de alto ángulo se cortan por lo general en ángulo agudo y se interpretan como fracturas conjugadas tipo tensión en el sentido de Price & Cosgrove (1996) originadas por esfuerzos relacionados a cargas litostáticas. Estas fracturas localmente son de tipo híbrido (Price & Cosgrove, 1996) evidenciado por el desplazamiento directo de los estratos (CM-019). De esta manera el ángulo agudo estaría bisecado por el esfuerzo principal mayor σ_1 y el obtuso por el esfuerzo principal menor σ_3 .

4.5.1.3 Formación Istmina

Las arenitas de la Formación Istmina presentan dos a tres familias de fracturas sistemáticas de alto ángulo y disposición aproximadamente normal a la estratificación. Dos de estas son subparalelas y cortan oblicuamente a la estratificación, aunque en la estación AP-183 ubicada en la Quebrada Chontaduro (ANEXO 4, Mapa geológico) se presenta una adicional, aproximadamente perpendicular a la estratificación.

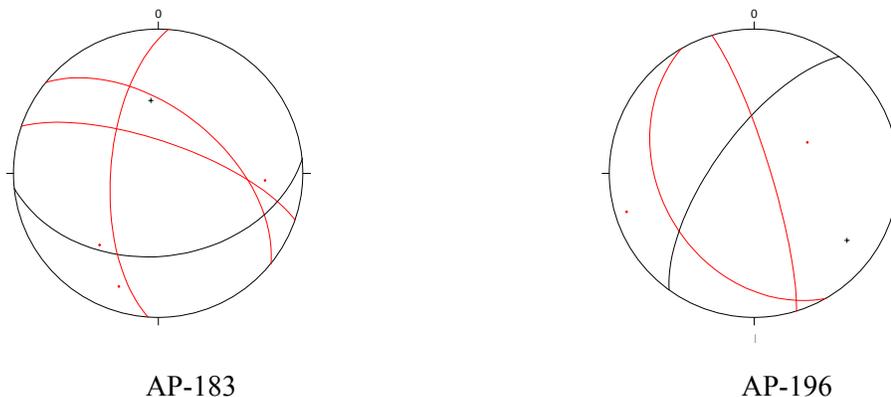


Figura 32. Proyección estereográfica de centroides y planos representativos de familias de fracturas en rocas de la Formación Istmina



4.5.1.4 Formación Conglomerados de La Mojarra

Las arenitas de esta unidad presentan dos familias de fracturas de alto ángulo normales a la estratificación con orientación N-S y E-W. En la Quebrada Sacacolao (ANEXO 4, Mapa geológico) se observa sólo una de éstas cortando perpendicularmente a la estratificación con un alto ángulo, espaciada cada 20 cm, desplazamiento directo y saltos de 1 cm (AP-128) (Figura 33).

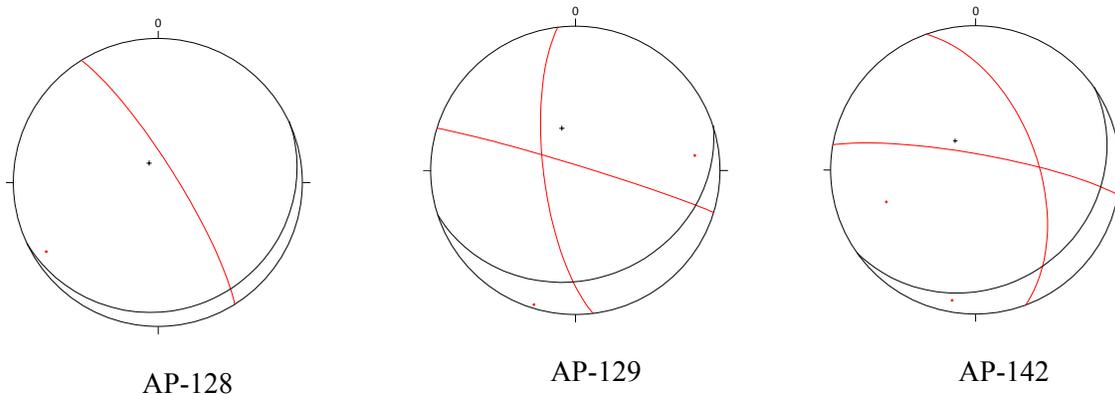


Figura 33. Proyección estereográfica de centroides y planos representativos de familias de fracturas en rocas de la Formación Conglomerados de La Mojarra

Ya que estas estructuras se encuentran desplazando estratos en la normal pueden interpretarse como fracturas de tensión originadas paralelamente al esfuerzo mayor principal y perpendicular al menor. Es probable que se hayan generado por carga litostática luego de la deposición.

4.5.2 Pliegues Menores

Las diferentes unidades estratigráficas del área muestran pliegues desde ligeramente abiertos y simétricos a apretados asimétricos. La Formación Iró presenta pliegues tanto en calizas como en cherts en su gran mayoría apretados tipo chevron, recumbentes y verticales (Fleuty, 1964, en: Price & Cosgrove, 1996). Muy localmente se aprecian algunos pliegues abiertos, simétricos con plano axial parado. En el Complejo Santa Cecilia – La Equis y la Formación Istmina se presentan también pliegues apretados con plano axial por lo general recumbente y vertical.

Estos pliegues se interpretan como estructuras contemporáneas con los dos pliegues regionales (Anticlinal de Náperra y Sinclinal de La Mojarra) y constituyen la respuesta dúctil de las unidades frente a los esfuerzos que dieron origen a estas dos estructuras.

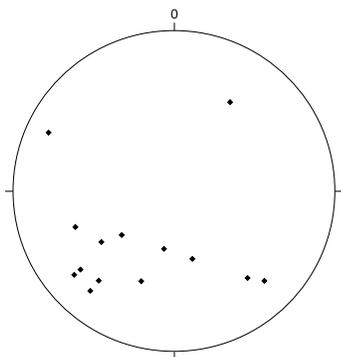
Los ejes de pliegues menores presentes en los flancos y núcleo del Anticlinal de Náperra en rocas de la Formación Iró, Complejo Santa Cecilia La Equis y algunos aislados en la Formación Istmina muestran una orientación predominante 223/27. Esta orientación es similar al eje de pliegue del Anticlinal de Náperra de 210/10 calculado geoméricamente a partir de los polos de estratificación. La amplia dispersión de polos respecto al plano normal al eje se debe al carácter no cilíndrico de las estructuras y probablemente la superposición de eventos desarrollados en el área.



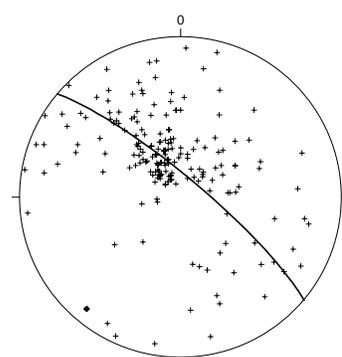
Figura 34. Pliegues chevron en la Formación Iró. A la izquierda, en wackestone gris verdoso (Río Mongarrá); a la derecha, en cherts rojos (Quebrada aguas Claras).



Figura 35. A la izquierda, pliegue simétrico abierto en chert gris de la Formación Iró (Quebrada La Cuelga). A la derecha, pliegue chevron en litoarenitas de la Formación Istmina (Quebrada San Bernabé).



Proyección estereográfica de ejes de pliegue menores. Anticlinal de Nápera

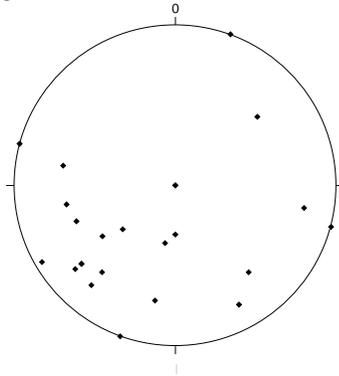


Proyección estereográfica de polos de estratificación en el Anticlinal de Nápera, plano normal al plano axial y eje de pliegue.

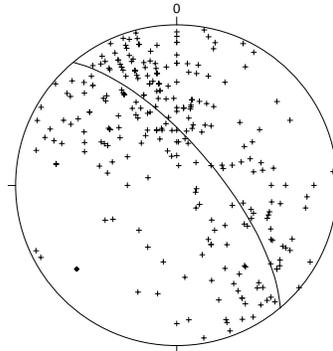
Figura 36. Proyección estereográfica de ejes de pliegues menores y polos de estratificación (Anticlinal de Nápera)



Se observa también similitud entre el eje de pliegue del Sinclinal de La Mojarra (230/20) obtenido geoméricamente con la proyección de planos de estratificación y la orientación predominante de los ejes de pliegue menores 223/27.



Proyección estereográfica de ejes de pliegue menores. Sinclinal de La Mojarra



Proyección estereográfica de polos de estratificación en el Sinclinal de La Mojarra, plano normal al plano axial y eje de pliegue.

Figura 37. Proyección estereográfica de ejes de pliegues menores y polos de estratificación (Sinclinal de La Mojarra)

Debido a la similitud en la orientación de los ejes de pliegue menores con los del Anticlinal de Ñápera y Sinclinal de La Mojarra, puede concluirse que estas estructuras fueron originadas simultáneamente en un mismo episodio de plegamiento regional.

4.5.3 Fallas

Predominan en las diferentes unidades fallas inversas de cabalgamiento en su gran mayoría, fallas de rumbo con componente inverso y fallas normales con desplazamientos menores. En el Complejo Santa Cecilia - La Equis, se presentan principalmente fallas inversas y de rumbo asociadas a deformaciones tanto anteriores como posteriores a la deposición de las unidades terciarias suprayacentes. En la Formación Iró, es característica la presencia de fracturas de cizalla y fallas con desplazamiento directo en estratos con alto grado de buzamiento probablemente resultado de un primer periodo distensivo experimentado en esta unidad. Son comunes en esta unidad también las fallas de cabalgamiento y de rumbo asociadas principalmente a la Falla de San Juan. Se observan también en rocas de la Formación Istmina, fallas de rumbo con componente inverso y fallas inversas, asociadas a la Falla de Iró en el río del mismo nombre y localmente fallas normales con desplazamientos menores en arenitas, comunes en también en arenitas de la Formación Conglomerados de La Mojarra.

La mayoría de fallas menores en la zona noroccidental del área de estudio se encuentran asociadas a la Falla de San Juan, predominantemente con orientación similar y otras con rumbo similar pero azimut de buzamiento opuesto a la traza principal de ésta (conjugada). La Falla de Iró al sur del área de estudio presenta fallas menores de rumbo e inversas de alto ángulo, las primeras con un desplazamiento dextral importante.

4.5.4 Determinación de los ejes de esfuerzo principales

4.5.4.1 Planos de movimiento M (Alexandrowski, 1985)

Estas superficies se determinan usando el procedimiento estereográfico descrito por Alexandrowski (1985) en el que se determinan planos de movimiento imaginarios que contienen el vector de



desplazamiento de las fallas proyectando estereográficamente los polos de las mismas. Los planos de movimiento M para la población de fallas con indicadores cinemáticos registradas en el área de estudio son consignados en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Indicadores cinemáticos y planos de movimiento de fallas del área de estudio

ESTACIÓN	PLANO DE FALLA	PLANO DE MOVIMIENTO	SENTIDO DEL INDICADOR			
CM-014	155	87	266	9	244/8	Inverso sinistral
CM-015	240	74	150	89	240/74	Normal
CM-015	2	19	92	90	2/19	Inversa
CM-016	15	35	271	80	355/33	Inversa sinistral
CM-019	315	30	87	68	6/21	Inversa sinistral
CM-021	196	67	77	41	120/32	Inversa dextral
CM-041	120	84	305	6	30/0	Dextral
CM-044	250	85	160	89	250/85	Inversa
CM-046	65	82	247	8	335/0	Dextral
CM-060	350	29	243	83	330/21	330/21 dextral inversa
CM-064	10	28	166	65	80/11	80- dextral
CM-070	160	55	278	57	220/40	40- inversa
CM-073	295	40	111	50	25/4	Dextral
CM-074	340	36	240	90	340/36	Inversa
CM-083	322	41	52	89	322/41	Sinistral inversa
CM-084	280	39	190	89	280/39	Normal
CM-149	10	44	100	89	10/44	Inversa
CM-152	300	27	30	89	300/27	Inversa
EA-001	335	28	245	89	335/28	180- inversa
EA-021	165	28	75	89	165/28	Normal
EA-028	325	56	135	34	50/4	Sinistral
EA-030	350	58	162	32	76/4	Sinistral
EA-033	305	61	119	31	35/3	Sinistral
EA-034	220	45	109	69	180/37	180- inversa dextral
EA-042	90	53	180	90	90/53	Normal
EA-049	129	90	49	6	40/5	Dextral
EA-054	40	34	130	89	40/34	Inversa
EA-055	5	30	94	88	5/30	Inversa
EA-059	38	80	196	11	127/5	Dextral
EA-059	32	48	148	65	78/38	Inversa sinistral
EA-070	85	60	175	88	85/60	Normal
EA-070	10	71	100	88	10/71	Inversa
EA-075	125	80	341	11	38/6	Dextral
EA-083	310	45	120	46	35/6	Dextral
EA-085	190	35	21	55	108/5	Dextral
EA-132	30	51	295	85	30/51	Inverso
EA-141	208	90	107	4	118/5	Dextral
AP-020	72	42	317	70	32/34	32- dextral
AP-021	50	82	140	90	50/82	Normal
AP-054	14	82	203	9	104/0	Dextral
AP-069	292	28	107	63	18/3	18/3 dextral
AP.128	58	80	148	90	58/80	Normal
AP-181	73	65	344	88	68/65	60/50 hacia 247
AP-186	150	40	60	89	150/40	150/40 inversa
AP-196	330	24	60	90	330/24	Hacia 330 normal
AP-251	340	53	70	89	340/53	Inversa
AP-268	112	50	210	81	130/48	Inversa
AP-268	200	80	110	89	290/5	Dextral
AP-277	180	58	14	32	94/5	Dextral
AP-290	200	10	65	82	155/4	Dextral normal

El análisis de la distribución estereográfica de dichos planos muestra que estos son en su mayoría verticales a horizontales, predominando los primeros (Figura 38), la mayoría de polos se distribuyen en



las regiones central, este y oeste del estereograma (Figura 39). Estas concentraciones pueden ser unidas por un círculo mayor que contiene los ejes de esfuerzo intermedio σ_2 y menor σ_3 .

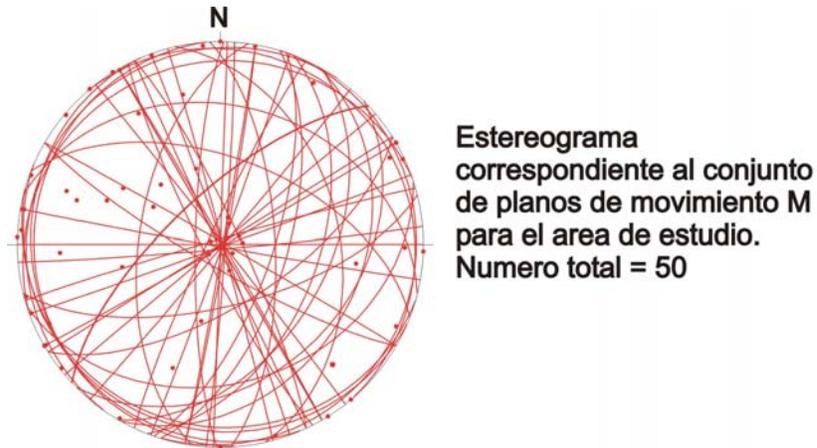


Figura 38. Proyección estereográfica de planos de movimiento (M)

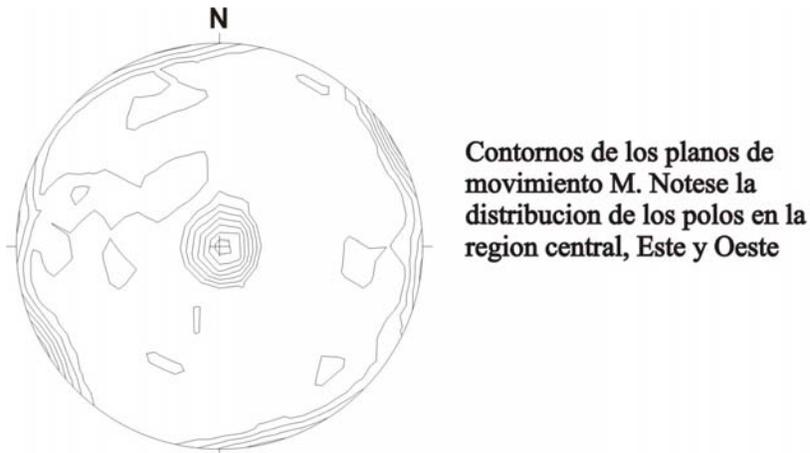


Figura 39. Contornos de densidad de polos de los planos de movimiento

Los planos de movimiento se pueden agrupar en dos familias, la primera con rumbo N23E y la segunda con rumbo N24W (Figura 40). La dirección de esfuerzo principal se determinó calculando la bisectriz del ángulo agudo entre las dos familias de los planos de movimiento M, el cual para el área en este caso es N – S.

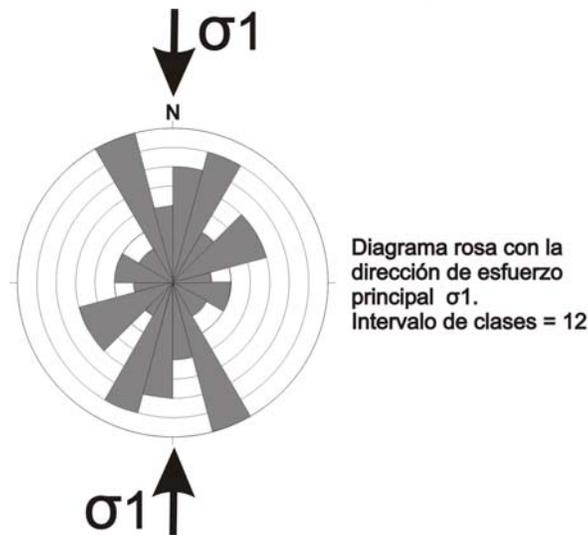


Figura 40. Diagrama rosa con dirección del esfuerzo principal mayor

4.5.4.2 Análisis por el método gráfico y numérico (Angelier, 1979, Marrett & Almendieger, 1990)

Las fallas con indicadores cinemáticos de desplazamiento se analizaron por los métodos de Angelier (1979) y Marrett & Almendieger (1990), (Figura 41), empleando el programa FaultKinWin 1.1 para Windows el cual integra las metodologías planteadas. Los resultados son consignados en la **Tabla 4** en la que se aparecen los esfuerzos principales P (presión) y T (tensión) para cada falla con indicador cinemático medido en campo.

Al comparar los resultados obtenidos a partir del método de planos de movimiento (Alexandrowski, 1985) con el método gráfico y numérico planteado por Angelier (1979) y Marrett & Almendieger (1990) se observa que la diferencia en la dirección de los esfuerzos principales mayores (σ_1) es de aproximadamente de 3° (Ver Figura 41).

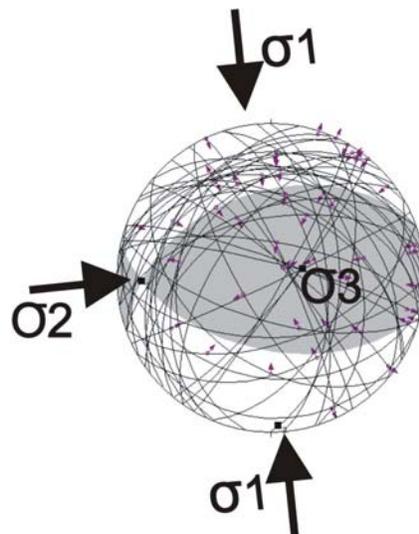


Figura 41. Proyección estereográfica de planos estriados con dirección de esfuerzos principal mayor e intermedio (método de Angelier, 1979; Marrett & Almendieger, 1990)



Tabla 4. Resultados análisis por método gráfico y numérico

Estación	Fault	(RHR)	Striae	(T&P)	Sense	P-axis	(T&P)	T-axis	(T&P)
AP-020	342	42	32	35	TR	229.9	6.9	337.5	68.1
AP-021	320	82	50	82	NL	230	53	50	37
AP-054	284	82	103	10	NR	148.7	12.7	58.3	1.4
AP-069	202	28	18	2	NR	43.8	40.5	173.6	36.8
AP.128	328	80	58	80	NR	238	55	58	35
AP-181	343	65	67	65	TR	71.1	20	258.2	69.8
AP-186	60	40	150	40	TL	330	5	150	85
AP-196	240	24	330	24	NL	330	69	150	21
AP-251	250	53	330	53	TR	335.7	8	186.9	80.6
AP-268	22	50	130	49	TL	120.3	4.6	237	80
AP-268	290	80	291	5	TR	155.2	3.5	245.8	10.6
AP-277	90	58	93	5	TR	312.1	18.3	51.3	25.8
AP-290	110	10	155	7	NL	147	51.6	341.3	37.6
CM-014	65	87	243	28	TL	195.6	17.1	292.6	21.7
CM-015	150	73	240	73	NR	60	62	240	28
CM-015	272	19	2	19	TL	182	26	2	64
CM-016	285	35	355	33	TR	183.1	11.2	321.8	75.3
CM-019	225	30	3	21	TL	166.7	21	34.8	60.1
CM-021	106	67	151	59	TR	180.2	19.3	49.2	61.9
CM-041	106	67	106	0	TR	328.6	16	63.4	16
CM-044	30	84	30	0	TR	254.8	4.2	345.2	4.2
CM-046	335	80	335	0	TR	199.6	7.1	290.4	7.1
CM-060	260	29	330	28	TR	157.1	16.7	308.8	71.2
CM-064	280	28	80	10	NR	108.2	48.5	238.9	30
CM-070	70	55	220	36	TL	189.8	0.6	280.6	55
CM-073	205	40	25	0	NR	57.7	32.8	172.3	32.8
CM-074	250	36	340	36	NL	340	81	160	9
CM-083	232	41	322	41	TL	142	4	322	86
CM-084	190	39	280	39	NL	280	84	100	6
CM-149	280	44	10	44	TR	190	1	10	89
CM-152	210	27	300	27	TR	120	18	300	72
EA-021	106	67	121	32	TR	160.3	5.7	65.4	40.5
EA-028	235	56	52	4	TL	193.5	20.2	92.9	26.5
EA-030	260	58	77	4	TL	217.9	18.9	118.6	25.2
EA-033	215	61	33	3	TL	172.7	17.8	75.1	22.4
EA-034	130	45	180	37	TR	18.7	4.3	119.5	68.3
EA-042	0	53	90	53	NL	270	82	90	8
EA-049	39	80	39	0	TR	263.6	7.1	354.4	7.1
EA-054	310	34	40	34	TL	220	11	40	79
EA-055	273	30	5	30	TL	184.3	15	7.7	75
EA-059	308	80	127	5	NR	172.2	10.6	262.8	3.5
EA-059	302	48	78	38	TL	235.7	2.2	141.1	65
EA-070	355	60	85	60	NL	265	75	85	15
EA-070	280	71	10	71	TR	10	26	190	64
EA-075	35	80	36	6	NL	350.8	11.3	260.2	2.8
EA-083	220	45	35	5	NR	72	34.2	181.3	26
EA-085	100	35	108	6	TR	315.9	30.5	76.2	40.6
EA-132	300	51	30	51	TL	30	6	210	84

Resultados	
σ_1	177/4
σ_2	268/17
σ_3	74/72

4.5.5 Elipse de deformación y estilo estructural

La naturaleza compresiva y transcurrente de las estructuras permite asignar un estilo estructural de carácter transpresivo para el área de estudio. Las fallas regionales y estriadas menores asociadas a La Falla de San Juan poseen evidencias de un evento que involucra la ocurrencia simultánea de



fallamiento de rumbo y compresión. Los pliegues regionales (Anticlinal de La Cuelga, sinclinal de la Mojarra y el Anticlinal de Nápera) con ejes subparalelos a las fallas mayores, son el resultado al parecer de eventos compresivos con dirección de acortamiento NNW-SSE (Figura 42).

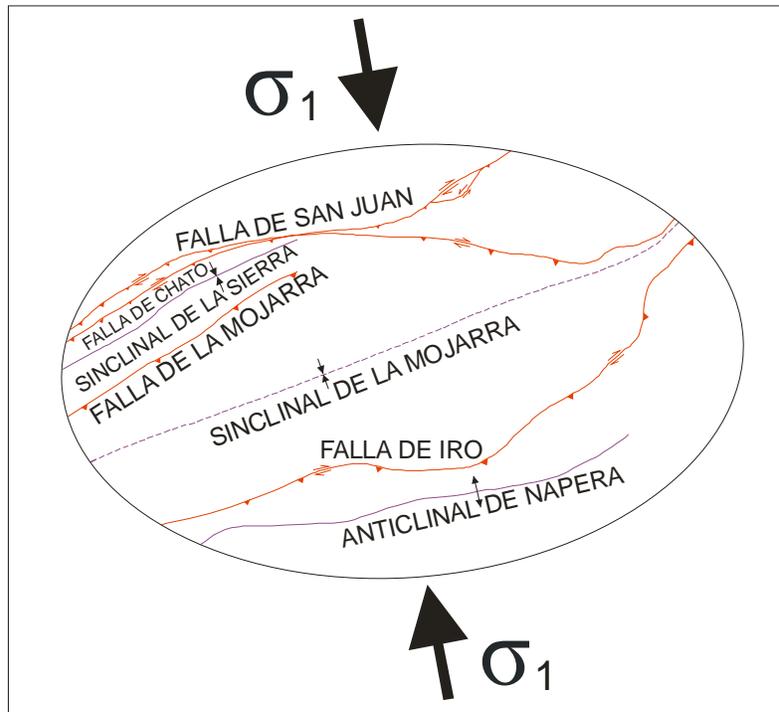


Figura 42. Elipse de deformación resultante para el área de estudio. Se indica la dirección del esfuerzo principal mayor.

La orientación del eje longitudinal corresponde aproximadamente al rumbo general de las estructuras mayores, Falla de San Juan, Falla de Tadocito, Falla de Chato, Falla de la Mojarra, Falla de Iró, Sinclinal de La Sierra, Sinclinal de la Mojarra y Anticlinal de Nápera. El área ha experimentado múltiples eventos de variable naturaleza afectados por una fase transpresiva más reciente, evidenciada por los indicadores cinemáticos encontrados en las fallas de San Juan, Chato e Iró.

Con base en los análisis cinemáticos se elaboró una elipse de deformación en la que se resume la orientación y la naturaleza de las estructuras presentes en el área de estudio, cuyo eje transversal corresponde a la orientación calculada para σ_1 177 – 357 y su eje longitudinal corresponde a σ_2 88 – 188 (Ver Figura 42).



5 ESTRATIGRAFÍA

5.1 SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS DE CAMPO

En esta campaña de campo se midieron 8 secciones estratigráficas referidas en este informe de la siguiente manera:

- Sección Estratigráfica Quebrada San Bernabé (Anexo 7.1)
- Secciones Estratigráficas Quebrada Santa Catalina (Anexos 7.2 & 7.3)
- Sección Estratigráfica Quebrada Manantial (Anexo 7.4)
- Sección Estratigráfica Quebrada La Cuelga (Anexo 7.5)
- Sección Estratigráfica Quebrada La Larga (Anexo 7.6)
- Sección Estratigráfica Quebrada Manungará (Anexo 7.7) y
- Sección Estratigráfica Río San Juan (Anexo 7.8).

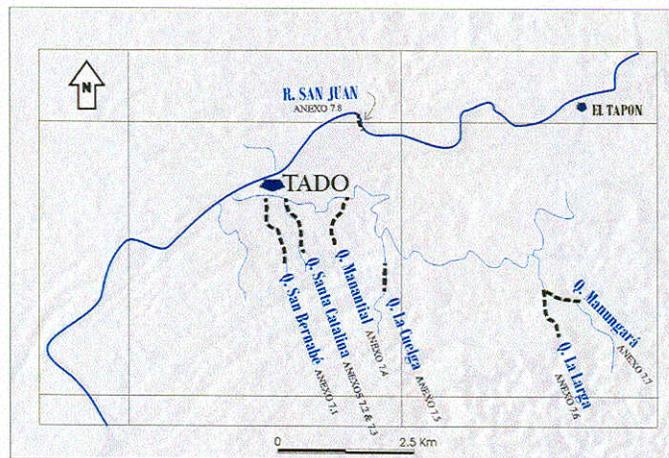


Figura 43. Localización de las secciones estratigráficas levantadas

Además en el encabezado de cada sección estratigráfica (Ver Anexos 7.1 a 7.8) se muestran respectivamente los mapas geológicos y las poligonales de los sitios donde se midieron las secciones referidas. A continuación se describen de manera sucinta las secciones estratigráficas.

5.1.1 Sección Estratigráfica Quebrada San Bernabé (Anexo 7.1)

Acceso. Desde el cementerio de Tadó se toma el camino de herradura hasta llegar a la quebrada San Bernabé. La base de la sección se encuentra en la parte baja y el techo en la parte alta de la quebrada.

Posición Estructural. La sección estratigráfica esta ubicada entre las fallas de San Juan y Chato. Estructuralmente se encuentra en el bloque colgante de la Falla de San Juan y en el bloque yacente de la falla de Chato.

Unidades litoestratigráficas. En esta sección se midió el tramo medio y superior de la Formación Iró y la base de la Formación Istmina.



De la Formación Iró se midieron 612.3m., de los cuales 451.1m., corresponden con intervalos cubiertos y 442m de la Formación Istmina siendo 293.35m., intervalos cubiertos. Como se puede ver en la siguiente figura.

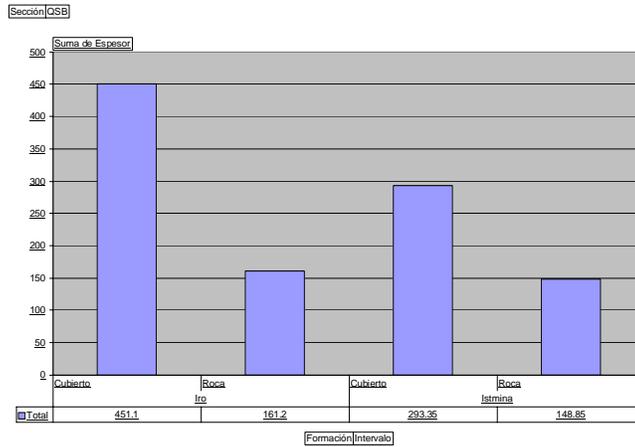


Figura 44. Espesor levantado de las formaciones Iró e Istmina en la Quebrada San Bernabé

Litología. Formación Iró. Comienza con 380.5 (de los cuales 307.2m., son intervalos cubiertos) de arcillolitas y limolitas con ocasionales intercalaciones de concreciones de mudstone y arenitas; luego 51.9m (de los cuales 24.3m son cubiertos) de intercalaciones de chert con calizas tipo mudstone y wackestone de foraminíferos, encima 98.1m, (86.1m., son cubiertos) de intercalaciones de limolitas con arenitas y finalmente 62m (de los cuales 21.2m, son cubiertos) de silos gabros, arenitas, limolitas y chert. Formación Istmina. 442.2 m., de arenitas con intercalaciones de limolitas y arcillolitas.

Facies. En esta sección de la Formación Iró se identificaron 6 facies (Al, Fll, Fal, CH, M y Wf) y en la Formación Istmina 5 facies (Al, Ar, Abl, Fll, Fal) como lo muestra la siguiente figura. La descripción detallada se puede leer en el Anexo 7.1.

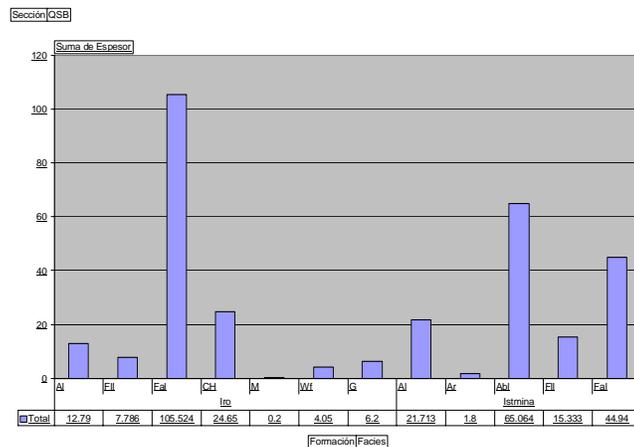


Figura 45. Espesor de facies medidas de las formaciones Iró e Istmina en la Quebrada San Bernabé

Contactos. El contacto entre la Formación Istmina y la Formación Iró se traza debajo capas subtabulares medianas y gruesas de arenitas (sublitoarenitas a litoarenitas) moderadamente bioturbadas con relictos de laminación plana a ligeramente ondulada, puntualmente ondulitas de corriente, y encima de la sucesión de arcillolitas con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela en el metro 612.3.



Muestras. 49 arcillolitas, 45 arenitas, 3 cherts, 3 gabros y 1 caliza. Ver Anexo 11.

5.1.2 Sección Estratigráfica Quebrada Santa Catalina 1 (Anexo 7.2)

Acceso. Desde el municipio de Tado se asciende por la orilla del río Mongarrá hasta llegar a la desembocadura de la quebrada Santa Catalina. En la parte baja de la quebrada se midió esta sección estratigráfica.

Posición Estructural. Esta se encuentra entre las fallas de San Juan y Chato, estructuralmente el sector donde se midió la sección corresponde con el bloque colgante de la Falla de San Juan y el bloque yacente de la falla de Chato.

Unidades litoestratigráficas. Se midió 87m., (con 51.8m., de intervalos cubiertos) de chert de la Formación Iró con el fin de evaluar un posible yacimiento naturalmente fracturado.

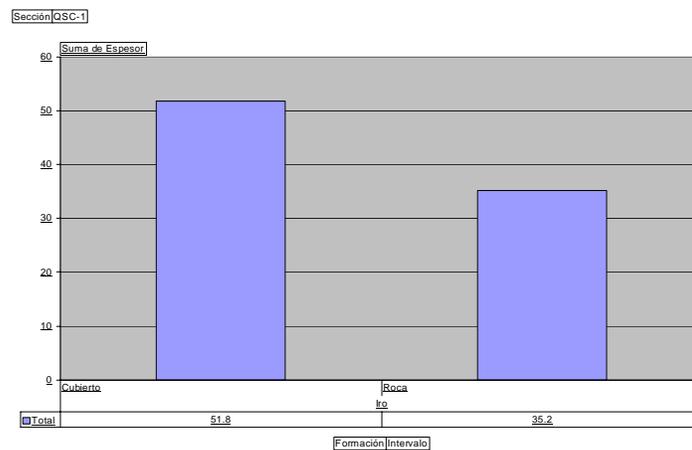


Figura 46. Espesor levantado de la Formación Iró en la sección Santa Catalina 1

Litología. Formación Iró. Son 87m., (de los cuales 35.2m., son intervalos cubiertos) de chert.

Facies. En esta sección únicamente aflora la facies CH de la Formación Iró. La descripción detallada se puede leer en el Anexo 7.2.

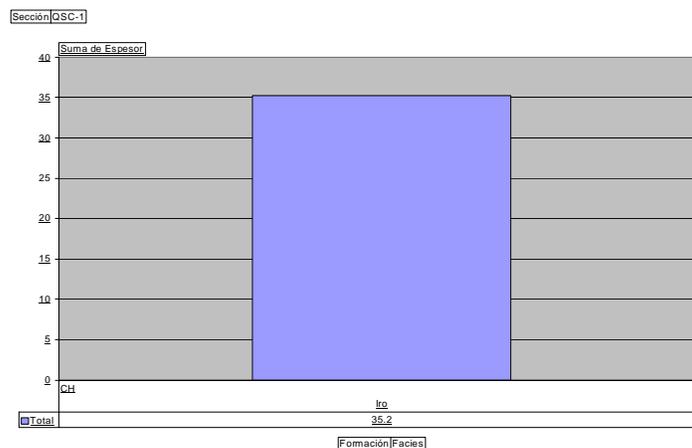


Figura 47. Espesor de facies medidas de la Formación Iró en la sección Santa Catalina 1



Muestras. 4 cherts. Ver Anexo 11

5.1.3 Sección Estratigráfica Quebrada Santa Catalina 2 (Anexo 7.3)

Acceso. Desde el municipio de Tado se asciende por la orilla del río Mongarrá hasta llegar a la desembocadura de la quebrada Santa Catalina. En la parte alta de la quebrada se midió esta sección.

Posición Estructural. La sección estratigráfica de se encuentra en entre las fallas de San Juan y Chato, estructuralmente hace parte del bloque colgante de la Falla de San Juan y del bloque yacente de la falla de Chato.

Unidades litoestratigráficas. En esta sección se midieron 279.55m (con 137 m., de intervalos cubiertos) de la Formación Istmina.

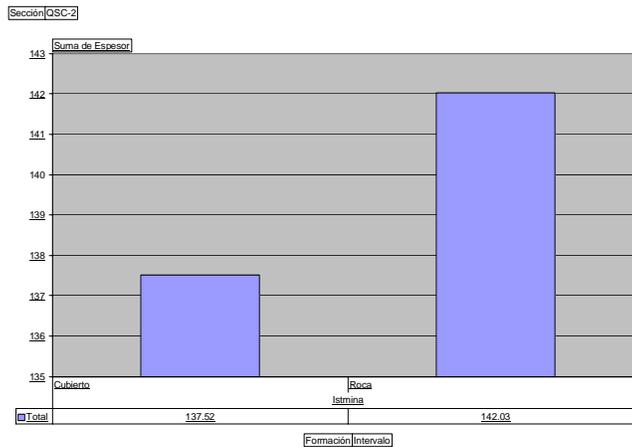


Figura 48. Espesor levantado de la Formación Istmina en la sección Santa Catalina 2

Litología. Formación Istmina. 279.55 m., de arenitas con intercalaciones de limolitas, arcillolitas y mudstone.

Facies. En esta sección se identificaron 6 facies (Al, Ar, Abl, Fll, Fal y M) de la Formación Istmina como lo muestra la siguiente figura. La descripción detallada se puede leer en el Anexo 7.3.

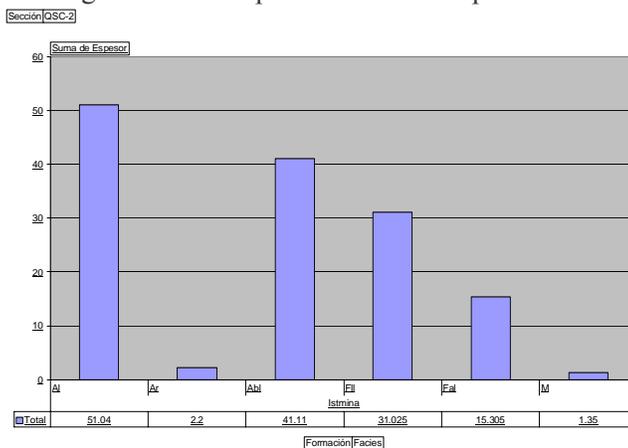


Figura 49. Espesor de facies medidas de la Formación Istmina en la sección Santa Catalina 2

Muestras. 44 arenitas y 19 arcillolitas. Ver Anexo 11.



5.1.4 Sección Estratigráfica Quebrada Manantial (Anexo 7.4)

Acceso. Desde el municipio de Tado se asciende por el río Mongarrá hasta llegar a la desembocadura de la quebrada Manantial. Esta sección se midió con el fin de tomar muestras en los respaldos del gabro.

Posición Estructural. La sección estratigráfica de se encuentra en entre las fallas de San Juan y Chato; estructuralmente pertenece al bloque colgante de la Falla de San Juan y al bloque yacente de la falla de Chato.

Unidades litoestratigráficas. Se midieron 255.6 m., (con 137.6m., de intervalos cubiertos) de la Formación Iro.

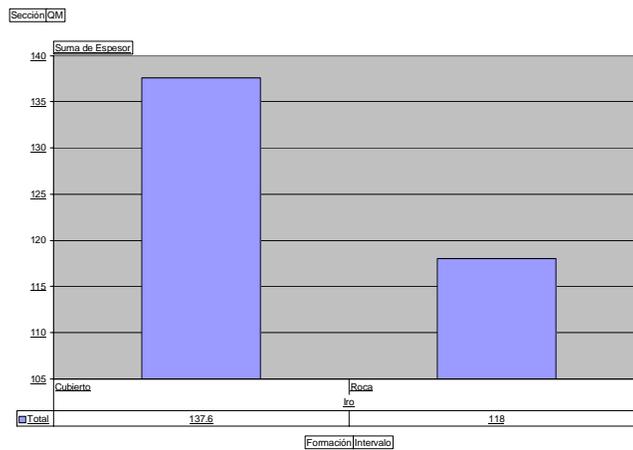


Figura 50. Espesor levantado de la Formación Iro en la Quebrada Manantial

Litología. Formación Iro. Comienza con 33 m., (de los cuales 2.25 m., son intervalos cubiertos) de chert, luego 141 m., (103m., son cubiertos) de limolitas y arcillolitas con intercalaciones de arenitas. Luego un silo de gabro, y finalmente 60m (con 32m., de cubiertos) de chert.

Facies. En esta sección se identificaron las siguientes facies Al, Fll, Fal, CH, M y G. como lo muestra la siguiente figura.

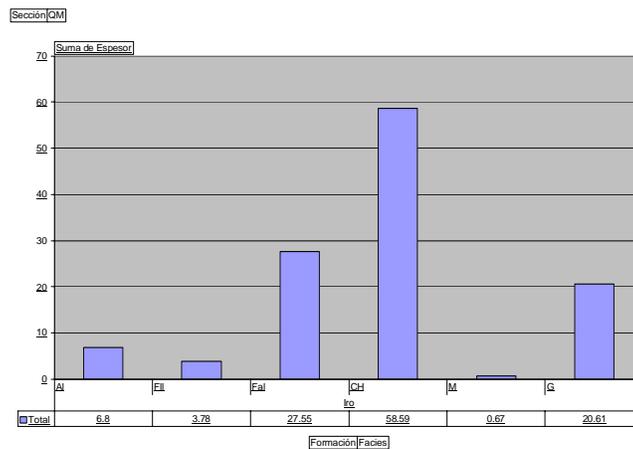


Figura 51. Espesor de facies medidas de la Formación Iro en la Quebrada Manantial

Muestras. 7 arcillolitas, 7 cherts, 2 gabros y 1 arenita. Ver Anexo 11



5.1.5 Sección Estratigráfica Quebrada La Cuelga (Anexo 7.5)

Acceso. Desde el municipio de Tado se asciende por el río Mongarrá 1 hora aproximadamente hasta llegar a la desembocadura de la quebrada La Cuelga.

Posición Estructural. Esta sección se ubica estructuralmente en el bloque colgante de la falla de Chato y en el flanco occidental del anticlinal de la Cuelga.

Unidades litoestratigráficas. Se midieron 155.24 m., de la Formación Iró de los cuales 68.94 m., son intervalos cubiertos.

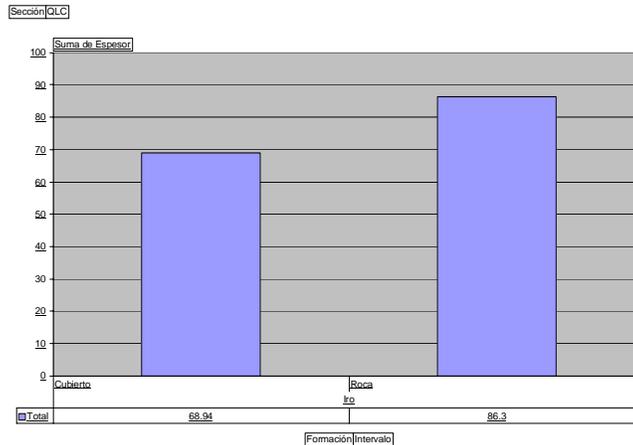


Figura 52. Espesor levantado de la Formación Iró en la Quebrada La Cuelga

Litología. Formación Iró. 17.34 m., (con 5.79m de intervalos cubiertos), de chert con intercalaciones de calizas tipo mudstone, wackestone packstone de foraminíferos; luego 42.16m., (con 19m., de cubiertos) de limolitas y finalmente 95m., (44m., de cubierto) de intercalaciones de chert con calizas tipo wackestone/packstone de foraminíferos.

Facies. Las facies observadas en esta sección son Fil, CH, M, Wf, W/Pf, Pf y se representan en la siguiente figura.

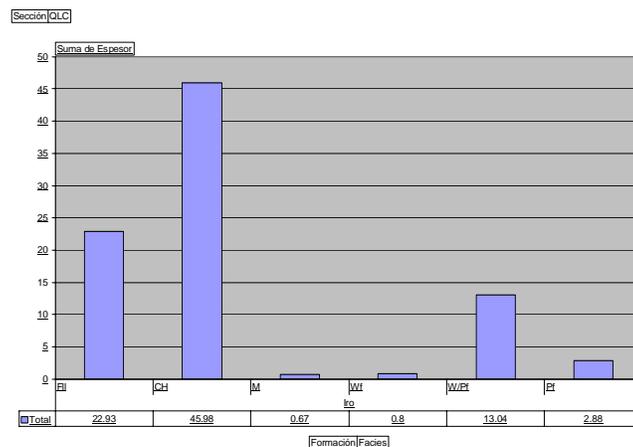


Figura 53. Espesor de facies medidas de la Formación Iró en la Quebrada La Cuelga

Muestras. 7 cherts, 7 calizas y 5 limolitas.



5.1.6 Sección Estratigráfica Quebrada La Larga (Anexo 7.6)

Acceso. Desde el caserío de Manungará se toma aguas arriba inicialmente por el río Chato y luego por la quebrada Manungará hasta llegar a la quebrada La Larga.

Posición Estructural. Flanco occidental del sinclinal de la Mojarra.

Unidades litoestratigráficas. En esta sección se midió el tramo superior de la Formación Iro (1.57 m.), la Formación Istmina (446m., con 197m., cubiertos) y 197m., (con 100m., de intervalos cubiertos) de la base de la Formación Conglomerados de La Mojarra.

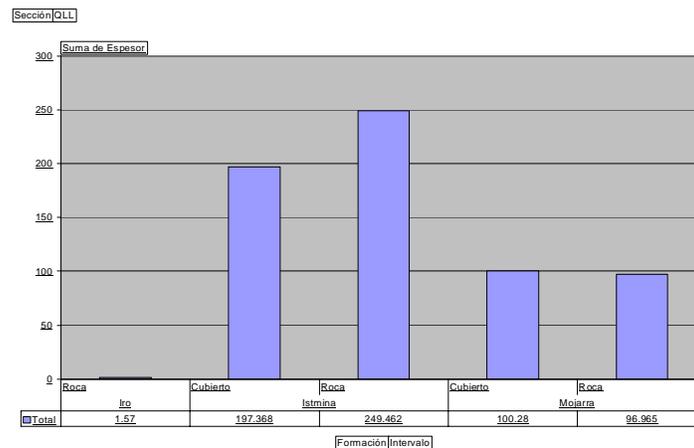


Figura 54. Espesor levantado de las formaciones Iró, Istmina y Conglomerados de La Mojarra en la Quebrada La Larga

Litología. Formación Iró. Únicamente se midieron 1.57m., de intercalaciones de calizas tipo mudstone/wackestone de foraminíferos con chert. Formación Istmina. Comienza con 2 brechas de chert y calizas (clastos resedimentados de la Formación Iro), separadas por un cubierto de 30.7m; encima, una sucesión de 75.27m., (con 15.75m., de cubiertos) de arcillolitas con eventuales intercalaciones de arenitas, luego 207 m., (con 58m., de cubiertos) de intercalaciones de arenitas, limolitas y arcillolitas, encima del cual ocurren 92m (con 66m., de cubiertos) de arenitas. Finalmente afloran 7.47m., de arcillolitas y limolitas (con 47.24m. de intervalos cubiertos). Formación Conglomerados de La Mojarra 176m (con 100m de intervalos cubiertos) de intercalaciones de conglomerados y arenitas conglomeráticas.

Facies. La facies identificadas en la Formación Iró son CH y M/Wf, las facies en la Formación Istmina B, Ad, Al, Ar, Abl, Fll, Fal, M y las facies en la Formación Conglomerados de La Mojarra son Cms, Sc, Fll como lo muestra la siguiente figura.

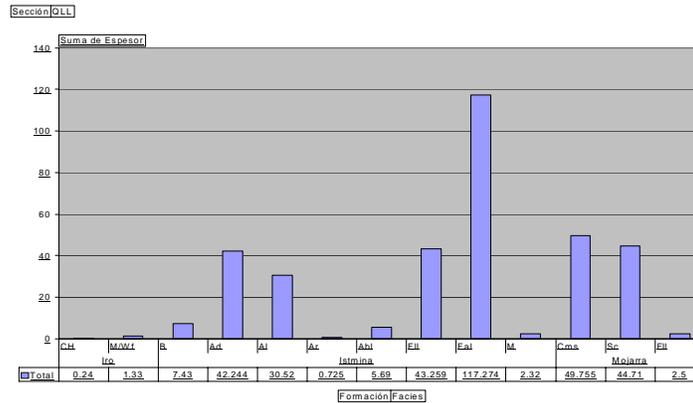


Figura 55. Espesor de facies medidas de las formaciones Iró, Istmina y Conglomerados de La Mojarra en la Quebrada La Larga

Contactos. Los contactos de la Formación Istmina son discordantes.

Muestras. 37 arcillolitas, 18 arenitas, 12 conglomerados, 1 chert y 1 caliza.

5.1.7 Sección Estratigráfica Quebrada Manungará (Anexo 7.7)

Acceso. Desde el caserío de Manungará se toma aguas arriba inicialmente por el río Chato y luego por la quebrada Manungará.

Posición Estructural. Flanco occidental del sinclinal de la Mojarra.

Unidades litoestratigráficas. Tramo superior muy corto (de 3.3 m.) de la Formación Iro y (27.9 m., con 6m., de intervalos cubiertos) del intervalo inferior de la Formación Istmina. Esta sección se midió con el objetivo de complementar el tramo inferior de la sección estratigráfica medida en la quebrada La Larga.

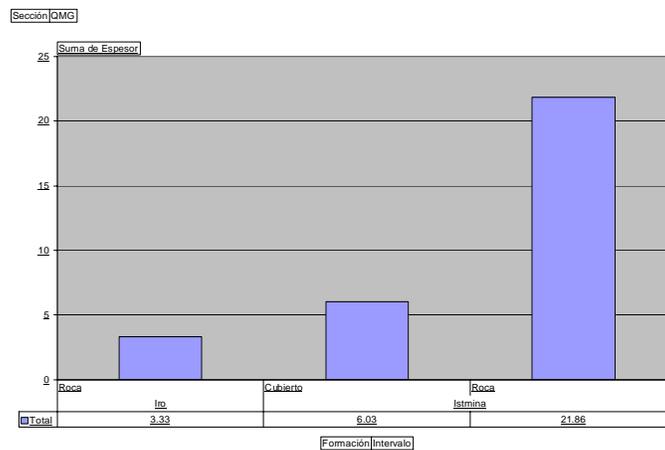


Figura 56. Espesor levantado de las formaciones Iró e Istmina en la Quebrada Manungará

Litología. Formación Iró. 3.3m de chert. Formación Istmina. 3m de brecha, luego 24m (con 6 m., de cubiertos) de intercalaciones de arcillolitas con arenitas.

Facies. De la Formación Iro se identifico 1 facies (CH) y de la Formación Istmina 4 facies que son B, Ad, Fil y Fal, como lo muestra la figura

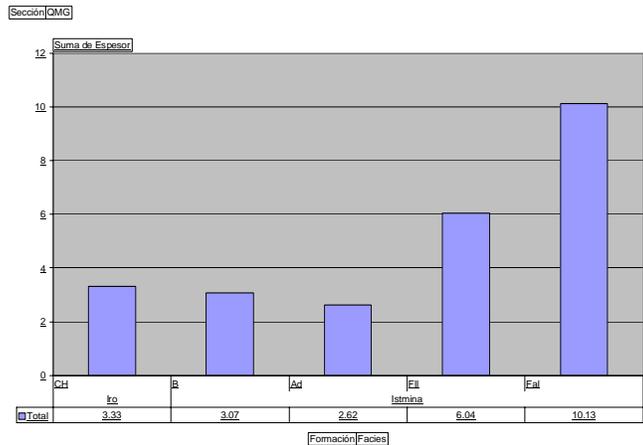


Figura 57. Espesor de facies medidas de las formaciones Iró e Istmina en la Quebrada Manungará
Contactos. El contacto entre las Formaciones Istmina e Iró se trata de una discordancia angular.
Muestras. 1 chert, 1 brecha, 3 arenitas y 7 arcillolitas. Ver Anexo 11.

5.1.8 Sección Estratigráfica Río San Juan (Anexo 7.8).

Acceso. Desde Tado se asciende aguas arriba por el río San Juan hasta aproximadamente 2Km. La sección se midió en la margen sur.

Posición Estructural. Bloque yacente de la falla de San Juan.

Unidades litoestratigráficas. 50m., de la Formación Conglomerados de La Mojarra.

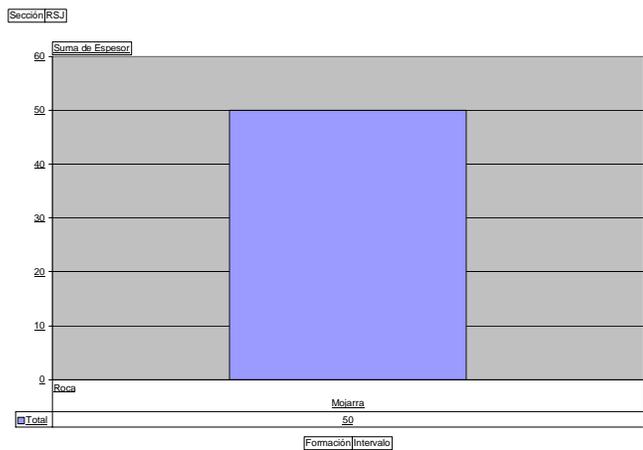


Figura 58. Espesor levantado de la Formación Conglomerados de la Mojarra en el Río San Juan

Litología. Formación Conglomerados de La Mojarra. 50m de intercalaciones de limolitas, arenitas, arenitas conglomeráticas y conglomerados.

Facies. Las facies identificadas en esta sección son Cms, Sc, A-LAd y FlI.

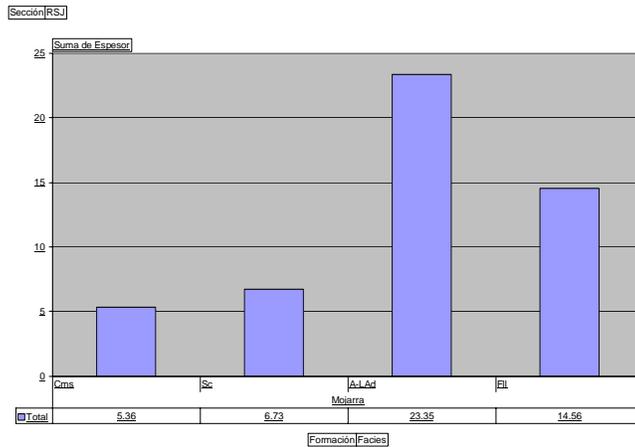


Figura 59. Espesor de facies medidas de la Formación Conglomerados de la Mojarra en el Río San Juan

Muestras. 3 limolitas, 2 arenitas y 1 arenita conglomerática.

5.2 FORMACIÓN IRÓ

La Formación Iró se midió en las quebradas San Bernabé, Manantial, La Cuelga, Santa Catalina, Manungará y La Larga.

5.2.1 Facies

Las facies identificadas en cada sección se muestran en la siguiente figura.

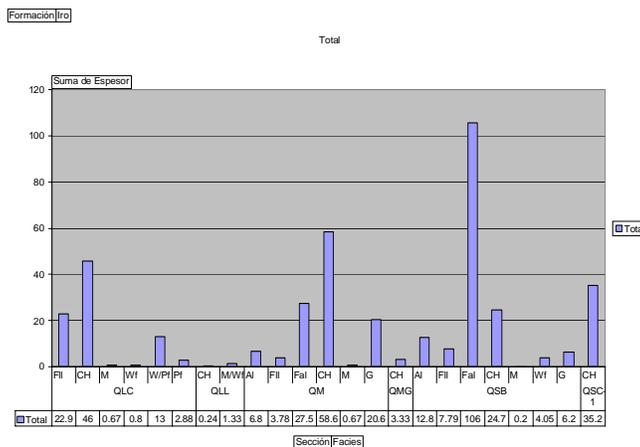


Figura 60. Espesor de facies medidas de la Formación Iró en las secciones levantadas

5.2.1.1 Facies AI. Arenitas laminadas

Ocurrencia: Aflora en la quebrada San Bernabé y Manantial.

Descripción: Capas muy delgadas, delgadas y ocasionalmente medianas, con geometría lenticular y subtabular de arenitas (sublitoarenitas a litoarenitas), de grano fino y muy fino, moderadamente seleccionadas con partículas subangulares y subredondeadas.



Las estructuras sedimentarias predominantes en esta facies son la laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela; ocasionalmente ondulitas de corriente, en algunos intervalos ligera a moderadamente bioturbadas. Como accesorios se encuentran restos vegetales carbonizados.



Figura 61. Geometría subtabular de las arenitas (F-QSB-1.5)

Contactos: En la quebradas San Bernabé y Manantial esta facies se encuentra asociada con las facies Fal y FII con contactos netos planos a ligeramente ondulados.

5.2.1.2 Facies M Mudstone con foraminíferos

Ocurrencia: Aflora en las secciones estratigráficas medidas en las quebradas San Bernabé, Manantial y la Cuelga.

Descripción: Capas tabulares y subtabulares muy delgadas, delgadas y medianas de mudstone con moldes y vestigios de foraminíferos de color gris verdoso oscuro (5GY4/1), y meteorizado rojo grisáceo (10R4/2), con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela.

Contactos: Los contactos entre las capas son planos ligeramente ondulados continuos y paralelos.

Comentarios: Las calizas mencionadas cambian diagenéticamente a chert. En todas las secciones descritas esta facies se aprecia fracturada, e incluso con desarrollo de fracturas tipo “hair lines”.

5.2.1.3 Facies M/Wf Mudstone/Wackestone de foraminíferos

Ocurrencia: Aflora únicamente en la quebrada La Larga.

Descripción: Capas tabulares delgadas de mudstone/wackestone de foraminíferos de color púrpura rojizo grisáceo (5RP4/2) con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela.

Contactos: Los contactos entre las capas son planos ligeramente ondulados continuos y paralelos.

Comentarios: Esta facies se aprecia fracturada, e incluso con desarrollo de fracturas tipo “hair lines”.

5.2.1.4 Facies Wf Wackestone de foraminíferos

Ocurrencia: Aflora en las quebradas San Bernabé y La Cuelga.

Descripción: Capas tabulares delgadas y medianas de wackestone de color gris oliva (5Y4/1), de foraminíferos con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela.

Contactos: Los contactos entre las capas son planos ligeramente ondulados continuos y paralelos.



Comentarios: Esta facies se aprecia fracturada, e incluso con desarrollo de fracturas tipo “hair lines”.

5.2.1.5 Facies W/Pf Wackestone/Packstone de foraminíferos

Ocurrencia: Aflora únicamente en la quebrada La Cuelga.

Descripción: Capas tabulares medianas y gruesas de wackestone/packstone de foraminíferos de color gris oliva gris verdoso oscuro (5GY4/1), de foraminíferos con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela. Puntualmente se esta facies se aprecia ligeramente bioturbada con madrigueras de *Zoophicus*.



Figura 62. Geometría de las capas de calizas tipo wackestone/packstone de foraminíferos. Facies W/Pf. Sección Quebrada La Cuelga. F-QLC-115.4

Contactos: Los contactos entre las capas son planos ligeramente ondulados continuos y paralelos.

Comentarios: Las calizas mencionadas cambian diagenéticamente a chert. En todas las secciones descritas esta facies se aprecia fracturada, e incluso con desarrollo de fracturas tipo “hair lines”.

5.2.1.6 Facies Pf Packstone de foraminíferos

Ocurrencia: Aflora únicamente en la quebrada La Cuelga.

Descripción: Capas tabulares delgadas, medianas y gruesas de packstone de foraminíferos de color gris oliva (5Y4/1), con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela.

Contactos: Los contactos entre las capas son planos ligeramente ondulados continuos y paralelos.

Comentarios: Esta facies se aprecia fracturada, e incluso con desarrollo de fracturas tipo “hair lines”.

5.2.1.7 Facies Ch. Chert

Ocurrencia: Aflora en las quebradas San Bernabé, Santa Catalina-1, Manantial, La Cuelga, La Larga y Manungará.

Descripción: Capas tabulares y subtabulares muy delgadas, delgadas y ocasionalmente medianas de chert de color gris oliva (5Y4/1), y de color marrón amarillento moderado (10YR5/4), metereorizadas, en los que se aprecian moldes y vestigios de foraminíferos.

La laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela es la estructura sedimentaria predominante.

Contactos: Los contactos entre las capas son planos a ligeramente ondulados, continuos, paralelos.



Comentarios: En todas las secciones descritas esta facies se aprecia fracturada, e incluso con desarrollo de fracturas tipo “hair lines”.



Figura 63. Capas subtabulares de chert. Facies Ch. Sección Quebrada La Cuelga. F-QLC-99.2

5.2.1.8 Gabro

Ocurrencia: Aflora en las quebradas San Bernabé y Manantial.

Descripción: Silos de gabro Gabro serpentizado en la quebrada San Bernabé se encuentra el contacto intrusivo con chert.

5.2.1.9 Facies FII. Limolita laminada

Ocurrencia. Aflora en las quebradas La Cuelga, San Bernabé y Manantial.

Descripción. Sucesiones tabulares medianas, gruesas y muy gruesas de limolitas 5YR4/1 con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela. Con ocasionales intercalaciones de capas muy delgadas y láminas con geometría lenticular de arenitas (sublitoarenitas a litoarenitas), de grano muy fino.

5.2.1.10 Facies Fal. Arcillolita laminada

Ocurrencia. Aflora en las quebradas San Bernabé y Manantial.

Descripción. Sucesiones tabulares medianas, gruesas, muy gruesas y extremadamente gruesas de arcillolitas 5YR4/1 con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela. Los análisis de micropaleontología reportan la presencia de foraminíferos arenáceos, bentónicos calcáreos y planctónicos, diatomeas, radiolarios y dientes de peces.

5.2.2 Ambiente

De las facies **Fal** y **FII**, se puede inferir que el sedimento tamaño arcilla y limo se acumula por suspensión en aquellos fondos de aguas tranquilas que no están afectadas corrientes. Por otra parte la laminación observada sugiere una pobre colonización de organismos en el fondo, durante acumulación, (Jones & Desrochers 1992). Con respecto a la presencia de foraminíferos arenáceos, foraminíferos bentónicos calcáreos, foraminíferos planctónicos, radiolarios, dientes de pez y diatomeas (ver **Capítulo 6. Microestratigrafía**), se puede inferir un fondo de acumulación marina posiblemente de plataforma.

El contacto inferior neto de las arenitas sugiere un cambio en las condiciones de acumulación y la disminución en el tamaño de grano de base a techo indica un restablecimiento de las condiciones iniciales de sedimentación. De acuerdo con Lowe (1982), las arenitas lodosas granodecrecientes se forman por fluidos de turbiedad y según Walker & Plint (1992), corresponden con depósitos de



tormentas.

En general las rocas mudstone, wackestone y packstone de foraminíferos fueron antiguos fondos donde se estaba acumulando lodo calcáreo en una columna de agua pelágica contenía fauna planctónica. Con respecto al chert, en la geología de superficie se puede notar como las facies de calizas de foraminíferos cambian diagenéticamente a chert.

Se interpretan las facies **Ch**, **M/Wf**, **Wf**, **W/Pf**, y **Pf**; como antiguos fondos que se encontraban por debajo del nivel de acción de tormentas (*Storm wave base*), en una plataforma externa. Por otra parte la asociación de facies **Fal**, **Fil**, y **A** se acumularon en una plataforma media por encima del nivel de tormentas. Read (1985), Jones & Desrochers (1992).

En la **Tabla 5** se presenta el resumen de las facies y en la **Tabla 6** la asociación y el ambiente de depósito postulado para la Formación Iró.

Tabla 5. Facies de la Formación Iró

Facies	Descripción	Mecanismo de acumulación
M, M/Wf, Wf, W/Pf, Pf	Mudstone, mudstone/wackestone, wackestone, wackestone/packstone y packstone de foraminíferos; con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela. Muy puntualmente se encuentra bioturbación con madrigueras paralelas a la estratificación. <i>Zoophicus</i> .	Acumulación de lodo calcáreo por suspensión
CH	Chert con vestigios de foraminíferos. La estructura sedimentaria predominante es la laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela.	En la quebrada San Bernabé y en otros sitios se nota como las calizas tipo M, M/Wf, Wf, W/Pf, Pf cambia lateralmente de a chert.
Fal	Arcillolitas con laminación plana a ligeramente ondulada continua. Ocasionalmente ocurren intercalaciones de concreciones de mudstone.	Acumulación de arcilla y limo por suspensión
Fil	Limolitas con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela.	Acumulación de arcilla y limo por suspensión
Al	Arenitas de grano fino y muy fino. Las estructuras sedimentarias predominantes en esta facies son la laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela; ocasionalmente ondulitas de corriente, en algunos intervalos ligera a moderadamente bioturbadas. Como accesorios se encuentran restos vegetales carbonizados	Acumulación intempestiva de arena en fondos de baja energía.

Tabla 6. Asociación de facies y ambiente de depósito de la Formación Iró

Asociación de Facies	Ambiente de depósito
M, M/Wf, Wf, W/Pf, Pf	Plataforma externa
CH	Plataforma externa
Fal, Fil	Plataforma externa
Fal, Fil, Al	Plataforma media con depósitos de tormentas



5.3 FORMACIÓN ISTMINA

La sección más completa descrita de la Formación Istmina fue la medida en la quebrada La Larga, además se midieron otros intervalos de esta unidad en las quebradas San Bernabé, Santa Catalina y Manungará.

5.3.1 Facies

Las facies idénticas en cada una de las secciones medidas se muestra en la siguiente figura.

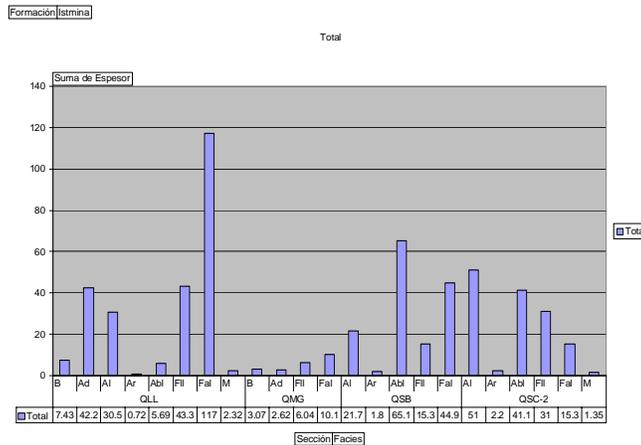


Figura 64. Espesor de facies medidas de la Formación Istmina en las secciones levantadas

5.3.1.1 Facies B. Brecha oligomítica.

Ocurrencia: Aflora en las quebradas La Larga y Manungará.

Descripción: Capas subtabulares muy gruesas y gruesas de brechas clasto soportadas de chert y calizas tipo mudstone y wackestone de foraminíferos. Los clastos alcanzan los 30 cm., de diámetro y se encuentran desordenados. Los clastos son fragmentos resedimentados de la Formación Iro.



Figura 65. Brecha oligomítica. Nótese la angularidad de los clastos de chert y calizas en la brecha. Sección Quebrada Manungará (QMG-BRECHASED)

Contactos: El contacto inferior es neto irregular en las quebradas La Larga y Manungará.

Comentarios: El contacto inferior de esta facies se trata de una discordancia angular que pone en contacto las brechas de chert y calizas de la Formación Istmina sobre las sucesiones muy gruesas de



capas delgadas y medianas de chert de la Formación Iró.

5.3.1.2 Facies Al. Arenitas laminadas

Ocurrencia: Aflora en las quebradas San Bernabé, Santa Catalina-2 y La Larga.

Descripción: Capas subtabulares delgadas, medianas y ocasionalmente gruesas de arenitas (sublitoarenitas a litoarenitas), de color gris mediano (N5) a gris pardusco (5YR4/1), de grano fino, moderado calibrado; con laminación ondulada continua paralela; ocasionalmente estructuras de reptación (sliding structures).

Como accesorios se encuentran fragmentos milimétricos de restos vegetales carbonizados (especialmente tallos) e intraclastos de arcillolitas.



Figura 66. Laminación en la capa gruesa de arena (F-QLL-150.0)

Contactos: Los contactos son netos con la facies **FII, Fal.**

Comentarios: Esta facies presenta una porosidad pobre a moderada.

5.3.1.3 Facies Abl. Arenitas bioturbadas con relictos de laminación

Ocurrencia: Aflora en las quebradas San Bernabé, Santa Catalina-2 y La Larga

Descripción: Capas medianas y gruesas con geometría subtabular y en menor proporción lenticular de arenitas (sublitoarenitas a litoarenitas), de grano fino (ocasionalmente de grano medio), de color gris mediano (N5) a gris pardusco (5YR4/1), moderado a buen calibrado; partículas subangulares y subredondeadas.

Es notoria la presencia de fragmentos milimétricos de restos vegetales carbonizados (especialmente tallos) e intraclastos de arcillolitas.

Estas arenitas se encuentran moderadamente a completamente bioturbadas con relictos de laminación ondulada discontinua.

Contactos: Los contactos son netos con la facies **FII, Fal.**

Comentarios: Esta facies presenta una porosidad pobre a moderada.



Figura 67. Intervalos bioturbados en arenitas laminadas. Sección Quebrada San Bernabé (F-QSB-937.0)

5.3.1.4 Facies Ar. Arenitas con ondulitas de corriente

Ocurrencia: Aflora en las quebradas San Bernabé, Santa Catalina y La Larga.



Figura 68. Ondulitas de corriente moderadamente bioturbadas. Sección Quebrada San Bernabé (F-QSB-615.3A)

Descripción: Capas subtabulares delgadas, medianas y ocasionalmente gruesas de arenitas (sublitoarenitas a litoarenitas), de color gris mediano (N5) a gris pardusco (5YR4/1), de grano fino, de buen calibre; con ondulitas de corriente (*currents ripples*). Como accesorios se encuentran fragmentos milimétricos de restos vegetales carbonizados (especialmente tallos) e intraclastos de arcillolitas.

Contactos: Los contactos son netos con la facies **FII**, **Fal**.

Comentarios: Esta facies presenta una porosidad pobre a moderada.

5.3.1.5 Facies Ad. Arenitas decrecientes

Ocurrencia: Aflora en las quebradas La Larga y Manungará

Descripción: Capas muy delgadas, delgadas, medianas, gruesas, y ocasionalmente muy gruesas de arenitas (sublitoarenitas a litoarenitas), de grano medio a fino (con guijarros de chert hasta de 2cm hacia la base) granodecrecientes pobremente a moderadamente calibradas con partículas subangulares y subredondeadas. En algunos intervalos el porcentaje de matriz arcillosa alcanza el 5%.

Como accesorios se encuentran restos vegetales carbonizados e intraclastos de arcillolitas.

Contactos: Esta facies se encuentra asociada con las facies **Fal** y **FII**. Los contactos algunas veces son netos ondulados paralelos, en otros intervalos se observa de base a techo que la facies **Ad** cambia



gradualmente a la facies **FII** y esta a su vez cambia gradualmente a la facies **Fal**.

5.3.1.6 Facies FII. Limolita laminada

Ocurrencia: Aflora en la quebrada San Bernabé, La Larga, Santa Catalina-2 y Manungará.

Descripción: Sucesiones tabulares medianas, gruesas, muy gruesas y extremadamente gruesas de limolitas gris pardusco (5YR4/1), con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela. Con ocasionales intercalaciones de capas muy delgadas y láminas con geometría lenticular de arenitas (sublitoarenitas a litoarenitas), de grano muy fino.

Contactos: Los contactos son netos con la facies **AI**, **AI**, **Ar**.

Comentarios: Esta facies presenta una porosidad pobre a moderada.

5.3.1.7 Facies Fal. Arcillolita laminada

Ocurrencia: Aflora en la quebrada San Bernabé

Descripción: Sucesiones tabulares medianas, gruesas, muy gruesas y extremadamente gruesas de arcillolitas de color gris pardusco (5YR4/1), con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela. Los análisis de micropaleontología reportan la presencia de foraminíferos arenáceos, bentónicos calcáreos y planctónicos, diatomeas, radiolarios y dientes de peces.

Contactos: Los contactos son netos con la facies **AI**, **AI**, **Ar**.



Figura 69. Sucesión de capas muy delgadas de arcillolitas. Sección Quebrada La Larga (F-QLL-70.1)

5.3.1.8 Facies M. Mudstone

Ocurrencia: Aflora en la quebrada La Larga

Descripción: Capas tabulares y subtabulares medianas y delgadas de mudstone de color negro grisáceo (N2), con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela.



Figura 70. Capas delgadas de mudstone (F-QLL-187.0)

Contactos: Los contactos con la facies **FII** y **A** son netos continuos paralelos.

5.3.2 Ambiente

Con respecto al ambiente de depósito de las arenitas de la Formación Istmina postulamos las siguientes hipótesis:

Las arenitas se acumulan como el resultado del transporte de arena por corrientes de tracción (traction currents), carga de fondo (bed load) y saltación (saltation). La gradación normal corresponde con depósitos de canales; mientras que las arenitas con gradación inversa corresponden con depósitos progradantes.

De los intraclastos observados en las arenitas se puede deducir, una excavación por la corriente en fondos blandos y una rápida acumulación subsiguiente (scour and fill).

Con respecto a los restos vegetales observados en las arenitas; se puede decir, que en algún instante del pasado geológico fueron disgregados de una cobertera vegetal, transportados y finalmente acumulados.

De acuerdo con Brenchley & Harper (1998), para la fosilización de hojas vegetales se requiere de las siguientes condiciones: poco transporte, un rápido enterramiento en fondos de baja energía y poca influencia bacteriana. Por estos aspectos tafonómicos se considera que los hallazgos de hojas fósiles se encuentran a menos de 50 m., de su área fuente. Sin embargo, los fragmentos de madera como tallos y ramas pueden viajar durante varios años y recorrer grandes distancias e incluso llegar hasta fondos marinos profundos.

En general la ausencia de hojas vegetales fósiles y el predominio de fragmentos milimétricos de tallos en las facies antedichas indican que los fragmentos vegetales recorrieron una distancia considerable antes de acumularse.

De acuerdo con Coleman & Prior (1982), en los fondos proximales y distales a las desembocaduras de los canales distributarios de los deltas se acumulan considerables cantidades de fragmentos de madera, y algunos vegetales forman laminaciones orgánicas como las que se mencionan en las facies **Al**, **Abl**, y **Ad**.

Las estructuras de reptación (sliding), donde las capas de arenitas se encuentran con plegamiento sinsedimentario, se desarrollan en sedimentos no cohesivos de arena en fondos inclinados y se producen principalmente por la fuerza de gravedad (Kuenen 1953 y Allen 1977).

En la naturaleza existen varios ambientes sedimentarios con fondos inclinados desde continentales como abanico aluvial, hasta marinos como el talud de un delta o el talud de una plataforma. Pero al unir las evidencias, podemos decir que las arenitas con estructuras de reptación (sliding), se formaron



en un antiguo talud de un delta.

Con respecto al grado de bioturbación moderado a intenso con relictos de laminación se puede decir que las arenas constituían un paleofondo oxigenado posiblemente rico en alimento que permitió la colonización de organismos.

Los ambientes depositarios distales de las desembocaduras de los canales distributarios constituyen fondos firmes, con una hidrografía uniforme (incluso mejor que muchas playas), ideales para de vida de muchos de organismos. En estos ambientes la relación laminación/bioturbación depende del incremento del aporte sedimentario, si la acumulación es lenta habrá más bioturbación, pero si es rápida se generará laminación. Scruton (1976).

Las facies donde predominan las limolitas y las arcillolitas se interpretan como acumulación de arcilla y limo por suspensión en aquellos fondos de aguas tranquilas que no están afectadas corrientes. Por otra parte la laminación observada sugiere una pobre colonización de organismos en el fondo, durante acumulación, (Jones & Desrochers 1992). Con respecto a la presencia de foraminíferos arenáceos, foraminíferos bentónicos calcáreos, foraminíferos planctónicos, radiolarios, dientes de pez y diatomeas (ver **Capítulo 6. Microestratigrafía**), se puede inferir un fondo de acumulación marino posiblemente plataforma media a externa o fondo de prodelta.

Respecto a las intercalaciones de arenitas granodecrecientes en las facies **Fal** y **FII** se infiere un cambio en las condiciones de acumulación, la disminución del tamaño de grano hacia el techo de las arenitas indica un restablecimiento de las condiciones iniciales de sedimentación. De acuerdo con Lowe (1982), las arenitas granodecrecientes se forman por fluidos de turbiedad y según Walker & Plint (1992), corresponden con depósitos de tormentas.

De la ocurrencia de ondulitas asimétricas se puede inferir la migración unidireccional de ondulas en arenas (Miall 1977, Reineck & Sink 1980). El lodo calcáreo (facies **M**) se forma por la desintegración de esqueletos calcáreos y se acumula en aquellos fondos que están por debajo del nivel de acción del oleaje del mar en calma (below fairweather wave base) con bajo aporte del material terrígeno (Jones & Desrochers, 1992).

En la **Tabla 7** se presenta el resumen de las facies y en la **Tabla 8** la asociación de facies y el ambiente de depósito postulado para la Formación Istmina.



Tabla 7. Facies y ambiente de depósito de la Formación Istmina

Asociación de facies	Descripción	Mecanismo de acumulación	Ambiente de depósito
B	Brecha clasto soportada con fragmentos angulares de chert y calizas tipo mudstone, wackestone y packstone de foraminíferos	Flujo de escombros. Debris flow	Lag deposit
Al	Arenitas con laminación ondulada continua paralela; ocasionalmente estructuras de reptación (sliding structures). Como accesorios se encuentran fragmentos milimétricos de restos vegetales carbonizados (especialmente tallos) e intraclastos de arcillolitas	Corrientes de tracción, carga de fondo y saltación	Barras de canales distributarios
Abl	Arenitas moderadamente a completamente bioturbadas con relictos de laminación ondulada. Es notoria la presencia de fragmentos milimétricos de restos vegetales carbonizados (especialmente tallos) e intraclastos de arcillolitas.	Corrientes de tracción, carga de fondo y saltación	Barras de canales distributarios
Ar	Arenitas con ondulitas de corriente (currents ripples). Como accesorios se encuentran fragmentos milimétricos de restos vegetales carbonizados (especialmente tallos) e intraclastos de arcillolitas	Corrientes de tracción	Barras de canales distributarios
Ad	Arenitas de grano medio a fino (con guijarros de chert hasta de 2cm hacia la base) granodecrecientes. Como accesorios se encuentran restos vegetales carbonizados e intraclastos de arcillolitas.	Corrientes turbiditicas.	Depósitos de tormentas
Fll	Limolitas con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela. Con ocasionales intercalaciones de capas muy delgadas y láminas con geometría lenticular de arenitas de grano muy fino.	Acumulación de limo por suspensión	Prodelta
Fal	Arcillolitas con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela. Los análisis de micropaleontología reportan la presencia de foraminíferos arenáceos, bentónicos calcáreos y planctónicos, diatomeas, radiolarios y dientes de peces.	Acumulación de arcilla por suspensión	Prodelta a offshore.
M	Mudstone con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela	Acumulación de lodo calcáreo por suspensión	Prodelta

Tabla 8. Asociación de Facies y ambiente de depósito de la Formación Istmina

Comentarios	Asociación de facies	Ambiente de depósito
Predominan de arenitas sobre las arcillolitas y limolitas.	Al, Abl, Ar, Fll, Fal	Barras de canales distributarios
Predominan las arcillolitas y limolitas sobre las arenitas.	Fll, Fal, Ad, Ar, Abl, Al	Prodelta proximal
Predominan las arcillolitas y limolitas. Eventuales intercalaciones de arenitas.	Fll, Fal, Ad	Prodelta distal
Arcillolitas y limolitas.	Fal, Fll	Offshore



5.4 FORMACIÓN CONGLOMERADOS DE LA MOJARRA

Las secciones fueron medidas en la Quebrada La Larga y en el Río San Juan.

5.4.1 Facies

El espesor de las facies de cada sección se representa en la siguiente figura.

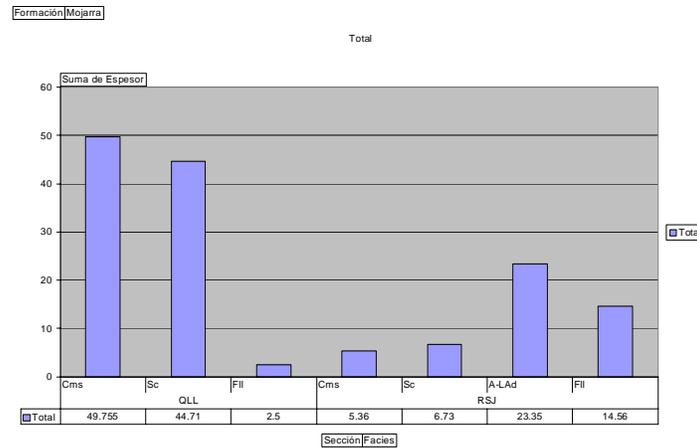


Figura 71. Espesor de facies medidas de la Formación Conglomerados de La Mojarra en las secciones levantadas

5.4.1.1 Facies Cms. Conglomerados matriz soportados

Ocurrencia: Esta facies aflora en la quebrada La Larga y en el Río San Juan.

Descripción: Capas subtabulares extremadamente gruesas y en menor proporción muy gruesas y gruesas de conglomerados matriz soportados de color meteorizado marrón claro (5YR5/6).

La matriz de los conglomerados consiste en sublitoarenitas a litoarenitas de grano fino a medio, moderadamente a pobremente calibradas con partículas subangulares y subredondeados. Los clastos varían de 2-30cm., son de chert, litoarenitas e ígneos intermedios (dioritas, granodioritas), eventualmente basaltos, pórfidos andesíticos.



Figura 72. Aspecto de los conglomerados matriz soportados (F-QLL-490.0)

Contactos: En general son graduales con la facies Sc, pero en algunos intervalos se observan netos ondulados.



Comentarios: En la sección medida en la Quebrada La Larga el tramo inferior de la facies **Cms** predominan los clastos de chert; mientras que hacia la parte alta del intervalo antedicho predominan los clastos de litoarenitas.

5.4.1.2 Facies Sc. Arenitas conglomeráticas

Ocurrencia: Esta facies aflora en la Quebrada La Larga y en el Río San Juan.



Figura 73. Aspecto de las arenitas conglomeráticas (F-QLL-521.0)

Descripción: Capas subtabulares muy gruesas de arenitas conglomeráticas. La fracción tamaño arena se trata de sublitoarenitas a litoarenitas de grano muy grueso pobremente calibradas con partículas subangulares y subredondeadas. La fracción conglomerática alcanza los 5 cm., y esencialmente consisten en litoarenitas, chert y trazas de basaltos.

Contactos: En general son graduales con la facies **Cms**, pero en algunos intervalos se observan netos ondulados.

5.4.1.3 Facies A-LAd. Arenitas lenticulares

Ocurrencia: Esta facies aflora en el Río San Juan únicamente.



Figura 74. Nótese las interposiciones de arenitas subtabulares a lenticulares (F-RSJ-31.5)

Descripción: Capas subtabulares medianas, delgadas y muy delgadas de arenitas (sublitoarenitas a litoarenitas) de grano fino moderadamente calibradas, localmente con cemento calcáreo, puntualmente se encuentran fragmentos milimétricos de conchas delgadas de bivalvos y macroforaminíferos *Nummulites sp.*, con intercalaciones de capas subtabulares a lenticulares muy gruesas, gruesas y medianas, arenitas (sublitoarenitas a litoarenitas) de grano muy grueso a medio con gradación normal y en menor proporción inversa, pobremente calibradas, con cemento calcáreo.



Contactos: Neto con las facies **FII** y gradual con la facies **Sc**.

5.4.1.4 Facies **FII**. Limolitas laminadas

Ocurrencia: Esta facies aflora en la Quebrada La Larga y en el Río San Juan.

Descripción: Sucesiones tabulares muy gruesas, gruesas y medianas de limolitas de color gris pardusco (5YR4/1) con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela, moderadamente a altamente bioturbadas.

Contactos: Esta facies se encuentra en contacto neto con las facies **Cms**, **Sc**. En general son graduales con la facies **Sc**, pero en algunos intervalos se observan netos ondulados.

Comentarios: Esta facies en la Quebrada La Larga en algunos intervalos se encuentra moderadamente a altamente bioturbada.

5.4.2 Ambiente

Los conglomerados matriz soportados posiblemente se formaron por flujos subacuosos o subaéreos plásticos de detritos. La ausencia de erosión en el contacto inferior indica que los componentes se transportaron por presión dispersiva, donde el sedimento es soportado por la atracción de las partículas durante el recorrido del fluido (matrix strength), presión dispersiva (dispersive pressure), y la flotación por diferencia de densidad (bouyant lift).

Las capas de arenitas conglomeráticas con contactos netos ondulados continuos, que contienen partículas arcillosas, son interpretados por Shanmugan & Miola (1995) como depósitos producidos por flujos de detritos de arena y grava (Gravel and sand debris flow). Según Jones & Desrochers (1992) el limo se acumula por suspensión en aquellos fondos de aguas tranquilas que no están afectadas por corrientes. La laminación sugiere una pobre colonización de organismos en el fondo, durante acumulación del mismo. La ausencia de imbricación indica un flujo laminar no turbulento.

En las **Tablas 10** y **11** se presenta el resumen de la asociación de facies y el ambiente de depósito postulado para la Formación Conglomerados de La Mojarra.

Tabla 9. Facies de la Formación Conglomerados de La Mojarra

Facies	Descripción	Mecanismo de acumulación	Ambiente de depósito
Cms,	Conglomerados matriz soportados. La matriz consiste en arenitas de grano fino a medio. Los clastos varían de 2-30cm., son de chert, litoarenitas e ígneos intermedios (dioritas, granodioritas), eventualmente basaltos, pórfidos andesíticos	Flujos subacuosos o subaéreos plásticos de detritos	Abanicos deltáicos
Sc	Arenitas conglomeráticas. La fracción tamaño arena se trata de sublitoarenitas a litoarenitas de grano muy grueso pobremente calibradas con partículas subangulares y subredondeadas. La fracción conglomerática alcanza los 5 cm., y esencialmente consisten en litoarenitas, chert y trazas de basaltos.	Depósitos producidos por flujos de detritos de arena y grava	Barras de arena en frentes deltáicos
A-LAd	Arenitas de grano fino, puntualmente se encuentran fragmentos milimétricos de conchas delgadas de bivalvos y macroforaminíferos Nummulites sp., con intercalaciones de capas subtabulares a lenticulares muy gruesas, gruesas y medianas, arenitas de grano muy grueso a medio con gradación normal y en menor proporción inversa, pobremente calibradas, con cemento calcáreo.	Depósitos producidos por flujos de detritos de arena y grava	Barras de arena distales a los abanicos aluviales
FII	Limolitas con laminación plana a ligeramente ondulada continua paralela, moderadamente a altamente bioturbadas.	Acumulación por suspensión. Colonización de organismos en el fondo de depósito	Prodelta



Tabla 10. Asociación de facies y ambiente de depósito de la Formación Conglomerados de La Mojarra

Asociación de Facies	Ambiente de depósito
Cms,	Abanicos deltáicos
Cms, Sc	Barras de arena en frentes deltáicos
Sc, A-LAd	Barras de arena distales a los abanicos aluviales
Fll	Prodelta



6 MICROESTRATIGRAFÍA

Por: **Hermann Duque Caro**, Geólogo MA, Ph.D.

Se estudiaron un total de 25 muestras de superficie provenientes del área de Istmina-Tadó, Departamento del Chocó. 8 muestras, las identificadas con las siglas CM-76, CM-126, CM-158, QSB-55, QSB-58, QLL-17, QLL-46, QLL-56, resultaron insuficientes para hacer alguna determinación diagnóstica.

Las 17 muestras restantes presentaron evidencias microfaunísticas que permitieron colocarlas dentro del intervalo Mioceno medio a Mioceno medio alto (muestras CM-86, CM-140, CM-157, CM-30, EA-32 y EA-60) y dentro del intervalo Paleoceno tardío a Eoceno medio (muestras QSB-2, QSB-4, QSB-20, QSB-26, QSB-31, QSB-40, QSB-49, QSB-60, QSB-64, y QLL-4 y QLL-2, esta última la más antigua y datada como Paleoceno tardío a Eoceno temprano más bajo).

6.1 MUESTRA #: 1-CM-76

FAUNA ABUND. PRESERV.: Ausencia

AMBIENTE: No diagnóstico

LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas negras arenosas finas y carbonosas

MISCELÁNEA: Ausencia

ZONA: No diagnóstica

EDAD: No diagnóstica

MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica

COMENTARIOS: Ausencia de evidencias diagnósticas

6.2 MUESTRA #: 2-CM-86

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Arenáceos indet.</i>		6
<i>Bulimina socialis Bornemann</i>		12
<i>Cibicidoides matanzasensis (Hadley)</i>		3
<i>Globigerina venezuelana Hedberg</i>		6
<i>Globigerínidos indet.</i>		30
<i>Globigerinoides immatura (LeRoy)</i>		12
<i>Globigerinoides rubra (d'Orbigny)</i>		6
<i>Globoquadrina altispira (Cushman & Jarvis)</i>		3
<i>Globorotalia mayeri Cushman & Ellisor</i>		3
<i>Gyroidina campester</i>		1
<i>Martinottiella communis (d'Orbigny)</i>		3
<i>Martinottiella pallida (Cushman)</i>		1
<i>Nodosaria spp. (frags)</i>		6
<i>Orbulina suturalis Bronnimann</i>		5
<i>Oridorsalis umbonatus (Reuss)</i>		3
<i>Siphogenerina basispinata Cushman & Jarvis</i>		7
<i>Sphaeroidina bulloides d'Orbigny</i>		3
<i>Trochammina pacifica Cushman</i>		3
<i>Uvigerina isidroensis Cushman & Renz</i>		3
<i>Uvigerina rustica Cushman & Edwards</i>		4

FAUNA ABUND. PRESERV.: Abundante, preservación regular

AMBIENTE: Talud superior

LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas grises arenosas finas cuarzosas



MISCELÁNEA: Ausencia
 ZONA: No diagnóstica
 EDAD: Mioceno medio alto
 MICROESTRATIGRAFÍA: Napipi
 COMENTARIOS: Abundante y ocurrencia de *Siph. basispinata* no mas joven ni mas antigua que el Mioceno medio

6.3 MUESTRA #: 3-CM-126

FAUNA ABUND. PRESERV.: Ausencia
 AMBIENTE: No diagnóstico
 LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas grises
 MISCELÁNEA: Ausencia
 ZONA: No diagnóstica
 EDAD: No diagnóstica
 MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
 COMENTARIOS: Ausencia de evidencias diagnósticas

6.4 MUESTRA #: 4-CM-140

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Arenáceos indet.</i>		6
<i>Bulimina mexicana (Cushman)</i>		1
<i>Bulimina ovata D'Orbigny</i>		2
<i>Bulimina socialis Bornemann</i>		6
<i>Cibicidoides floridana (Cushman)</i>		3
<i>Cibicidoides matanzasensis (Hadley)</i>		14
<i>Clavulinoides havanensis Cushman & Bermudez</i>		1
<i>Fosfatos (pellets)</i>		3
<i>Globigerina venezolana Hedberg</i>		3
<i>Karreriella mexicana (Nuttall)</i>		7
<i>Lenticulina americana (Cushman)</i>		6
<i>Martinottiella communis (d'Orbigny)</i>		3
<i>Martinottiella cyclostomata (Galloway & Morrey)</i>		7
<i>Orbulina suturalis Bronnimann</i>		3
<i>Recurvoides sp.</i>		3
<i>Siphogenerina multicostata Cushman & Jarvis</i>		1
<i>Sphaeroidina bulloides d'Orbigny</i>		2
<i>Sphaeroidina variabilis Reuss</i>		2
<i>Trochammina pacifica Cushman</i>		2

FAUNA ABUND. PRESERV.: Abundante, preservación regular a mala
 AMBIENTE: Talud superior
 LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas grises arenosas finas cuarzosas
 MISCELÁNEA: Fosfatos (pellets)
 ZONA: No diagnóstica
 EDAD: Mioceno medio alto
 MICROESTRATIGRAFÍA: Napipi
 COMENTARIOS: Abundante y ocurrencia de *Siphogenerina multicostata* y *Orbulina* que coloca esta dentro del Mioceno medio

6.5 MUESTRA #: 5-CM-158

FAUNA ABUND. PRESERV.: Ausencia



AMBIENTE: No diagnóstico
LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas grises arenosas finas cuarzosas
MISCELÁNEA: Óxidos de hierro
ZONA: No diagnóstica
EDAD: No diagnóstica
MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
COMENTARIOS: Ausencia de evidencias diagnósticas

6.6 MUESTRA #: 6-CM-157

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Globigerinoides immatura (LeRoy)</i>		1

FAUNA ABUND. PRESERV.: Pobre, mala preservación
AMBIENTE: Plataforma externa?
LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas cuarzosas, lodosas grises
MISCELÁNEA: Pellets negros
ZONA: No diagnóstica
EDAD: No mas antigua que el Mioceno
MICROESTRATIGRAFÍA: Napipi?
COMENTARIOS: Muy pobre con la ocurrencia de un solo espécimen de Globigerinoides no mas antiguo que el Mioceno

6.7 MUESTRA #: 7-CM-30

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Bolivina floridana Cushman</i>		1
<i>Globigerínidos indet.</i>		1
<i>Globigerinoides immatura (LeRoy)</i>		1
<i>Globorotalia peripheroacuta Blow & Banner</i>		1
<i>Gyroidina soldanii d'Orbigny</i>		1
<i>Lenticulina americana (Cushman)</i>		1
<i>Uvigerina isidroensis Cushman & Renz</i>		1

FAUNA ABUND. PRESERV.: Pobre, preservación regular
AMBIENTE: Talud superior
LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas cuarzosas, lodosas grises
MISCELÁNEA: Dientes de pez
ZONA: N.9 a N.10
EDAD: Mioceno medio
MICROESTRATIGRAFÍA: Napipi
COMENTARIOS: Pobre con la ocurrencia de un solo espécimen de Globorotalia peripheroacuta marcador del Mioceno medio, zonas N.9 a N.10

6.8 MUESTRA #: 8-QSB-2

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
Arenáceos indet.		12
Diatomeas piritizadas		3
<i>Globigerínidos indet. VER REF # 1</i>		10
<i>Globorotalia bolivariana (Petters)</i>		2
Pirita (barras)		5
Pirita (microesferas)		3



REF # 1: mala preservación
 FAUNA ABUND. PRESERV.: Pobre, mala preservación
 AMBIENTE: Talud superior
 LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas cuarzosas, compactas, lodosas grises
 MISCELÁNEA: Pirita, diatomeas
 ZONA: Globorotalia bolivariana
 EDAD: Eoceno medio a temprano alto
 MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
 COMENTARIOS: Pobre con la ocurrencia de 2 especímenes de Globorotalia bolivariana marcador del Eoceno medio a temprano alto (P.8 a P.12)

6.9 MUESTRA #: 9-QSB-4

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Arenáceos indet.</i>		50
<i>Buliminidos indet.</i>	piritizados	2
<i>Diatomeas piritizadas</i>		8
<i>Globigerínidos indet.</i>	VER REF # 1	13
<i>Globorotalia bolivariana (Petters)</i>		2
<i>Haplophragmoides spp.</i>		3
<i>Microgasteropodos</i>	piritizado	1
<i>Peces (restos)</i>	dientes	2
<i>Pirita (microesferas)</i>		8
<i>Radiolarios indet.</i>		16

REF # 1: mala preservación
 FAUNA ABUND. PRESERV.: Abundante, preservación regular
 AMBIENTE: Talud superior
 LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas cuarzosas, óxidos de hierro (oxidación)
 MISCELÁNEA: Radiolarios, pirita, diatomeas, micromoluscos
 ZONA: Globorotalia bolivariana
 EDAD: Eoceno medio a temprano alto
 MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
 COMENTARIOS: Abundante con predominio de la microfauna arenacea, presencia de radiolarios y Globorotalia bolivariana que coloca esta muestra dentro del intervalo Eoceno temprano alto a Eoceno medio (P.8 a P.12)

6.10 MUESTRA #: 10-QSB-20

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Bathysiphon sp.</i>		3
<i>Pirita (barras)</i>		3
<i>Pirita (microesferas)</i>	radiolarios	4

FAUNA ABUND. PRESERV.: Pobre, mala preservación
 AMBIENTE: Talud superior
 LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas cuarzosas, óxidos de hierro (oxidación)
 MISCELÁNEA: Radiolarios, pirita
 ZONA: Globorotalia bolivariana?
 EDAD: Eoceno medio a temprano alto?
 MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
 COMENTARIOS: Pobre con la ocurrencia de microesfera de pirita que parecen radiolarios y que aparentan estar relacionados a las muestras anteriores en su posición estratigráfica, Eoceno temprano alto a Eoceno medio (P.8 a P.12)

**6.11 MUESTRA #: 11-QSB-26**

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
Arenáceos indet.		3
Óxidos de hierro		1

FAUNA ABUND. PRESERV.: Pobre, mala preservación

AMBIENTE: Talud superior?

LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas, algunos oxidos de hierro (oxidacion)

MISCELÁNEA: Óxidos de hoerro

ZONA: Globorotalia bolivariana?

EDAD: Eoceno medio a temprano alto?

MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica

COMENTARIOS: Pobre con la ocurrencia de algunos Arenáceos indet. no diagnósticos Eoceno temprano alto a Eoceno medio?

6.12 MUESTRA #: 12-QSB-31

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
Arenáceos indet.		36
Óxidos de hierro		2

FAUNA ABUND. PRESERV.: Relativamente pobre, mala preservación

AMBIENTE: Talud superior?

LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas grises

MISCELÁNEA: Ausencia

ZONA: Globorotalia bolivariana?

EDAD: Eoceno medio a temprano alto?

MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica

COMENTARIOS: Pobre con la ocurrencia de algunos Arenáceos indet. no diagnósticos Eoceno temprano alto a Eoceno medio?

6.13 MUESTRA #: 13-QSB-40

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Arenáceos indet.</i>		2
<i>Bathysiphon sp.</i>		1
<i>Haplophragmoides spp.</i>		1
<i>Pirita (barras)</i>		2

FAUNA ABUND. PRESERV.: Pobre, mala preservación

AMBIENTE: Talud superior?

LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas grises

MISCELÁNEA: Pirita

ZONA: Globorotalia bolivariana?

EDAD: Eoceno medio a temprano alto?

MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica

COMENTARIOS: Pobre con la ocurrencia de algunos Arenáceos indet. no diagnósticos Eoceno temprano alto a Eoceno medio?

**6.14 MUESTRA #: 14-QSB-49**

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Arenáceos indet.</i>		2
<i>Karriella mexicana (Nuttall)</i>		1
<i>Pirita (barras)</i>		3
<i>Pirita (microesferas)</i>		1

FAUNA ABUND. PRESERV.: Pobre, mala preservación

AMBIENTE: Talud superior?

LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas grises

MISCELÁNEA: Pirita

ZONA: Globorotalia bolivariana?

EDAD: Eoceno medio a temprano alto?

MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica

COMENTARIOS: Pobre con la ocurrencia de algunos Arenáceos indet. no diagnósticos Eoceno temprano alto a Eoceno medio?

6.15 MUESTRA #: 15-QSB-55

FAUNA ABUND. PRESERV.: Ausencia

AMBIENTE: No diagnóstico

LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas grises, micáceas

MISCELÁNEA: Ausencia

ZONA: No diagnóstica

EDAD: No diagnóstica

MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica

COMENTARIOS: Ausencia de evidencias diagnósticas

6.16 MUESTRA #: 16-QSB-58

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Pirita (barras)</i>		20
<i>Pirita (granos)</i>		2
<i>Pirita (microesferas)</i>		2

FAUNA ABUND. PRESERV.: Ausencia

AMBIENTE: No diagnóstico

LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas grises, micáceas

MISCELÁNEA: Pirita

ZONA: No diagnóstica

EDAD: No diagnóstica

MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica

COMENTARIOS: Ausencia de evidencias diagnósticas

6.17 MUESTRA #: 17-QSB-60

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Arenáceos indet.</i>		2
<i>Bathysiphon sp.</i>		2
<i>Pirita (barras)</i>		1

FAUNA ABUND. PRESERV.: Pobre, mala preservación



AMBIENTE: Talud superior
LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas grises
MISCELÁNEA: Pirita
ZONA: No diagnóstica
EDAD: Eoceno medio?
MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
COMENTARIOS: Ocurrencia de unos pocos especímenes de *Bathysiphon* sp. que recuerdan a niveles del Eoceno medio del Cinturón de San Jacinto

6.18 MUESTRA #: 18-QSB-64

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Bathysiphon</i> sp.		2
<i>Diatomeas piritizadas</i>		20
Pirita (barras)		7
Pirita (granos)		3

FAUNA ABUND. PRESERV.: Pobre, mala preservación
AMBIENTE: Talud superior
LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas grises y arenitas finas
MISCELÁNEA: Pirita, diatomeas
ZONA: No diagnóstica
EDAD: Eoceno medio
MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
COMENTARIOS: Ocurrencia de unos pocos especímenes de *Bathysiphon* sp. y diatomeas piritizadas que son comunes dentro del Eoceno medio del Cinturón de San Jacinto

6.19 MUESTRA #: 19-QLL-2

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Arenáceos indet.</i>		5
<i>Diatomeas</i>		3
<i>Haplophragmoides</i> spp.		4
<i>Peces (restos)</i>	dientes	32
<i>Rzehakina epigona minima</i> Cushman & Renz		4
<i>Spiroplectammina grzybowskii</i> Frizzell		4

FAUNA ABUND. PRESERV.: Relativamente abundante, preservación regular
AMBIENTE: Talud superior
LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas grises oscuras
MISCELÁNEA: Diatomeas
ZONA: *Rzehakina epigona*
EDAD: Paleoceno tardío-Eoceno temprano
MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
COMENTARIOS: La ocurrencia de *Rzehakina epigona minima* y *Spiroplectammina grzybowskii* sugieren una edad de Paleoceno tardío-Eoceno temprano basal

6.20 MUESTRA #: 20-QLL-4

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Diatomeas</i>		3
<i>Globigerínidos indet.</i>	VER REF # 1	3
Pirita (granos)		3
<i>Radiolarios indet.</i>		96



REF # 1: mala preservación
 FAUNA ABUND. PRESERV.: Abundante, preservación regular
 AMBIENTE: Talud superior
 LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas grises
 MISCELÁNEA: Pirita, diatomeas, radiolarios
 ZONA: No diagnóstica
 EDAD: Eoceno medio a Eoceno temprano
 MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
 COMENTARIOS: Ocurrencia abundante de radiolarios y algunas diatomeas que son comunes dentro del Eoceno medio al Eoceno temprano del Cinturón de San Jacinto

6.21 MUESTRA #: 21-QLL-17

FAUNA ABUND. PRESERV.: Ausencia
 AMBIENTE: No diagnóstico
 LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas cuarzosas y óxidos de hierro
 MISCELÁNEA: Óxidos de hierro (6)
 ZONA: No diagnóstica
 EDAD: No diagnóstica
 MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
 COMENTARIOS: Ausencia de evidencias diagnósticas

6.22 MUESTRA #: 22-QLL-46

FAUNA ABUND. PRESERV.: Ausencia
 AMBIENTE: No diagnóstico
 LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas cuarzosas y micaceas
 MISCELÁNEA: Ausencia
 ZONA: No diagnóstica
 EDAD: No diagnóstica
 MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
 COMENTARIOS: Ausencia de evidencias diagnósticas

6.23 MUESTRA #: 23-QLL-56

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Globigerínidos indet.</i>	VER REF # 1	1
<i>Pirita (granos)</i>		4

REF # 1: mala preservación
 FAUNA ABUND. PRESERV.: Muy pobre, mala preservación
 AMBIENTE: Talud superior
 LITOLOGÍA RESIDUAL: Arenitas finas cuarzosas y lodolitas grises
 MISCELÁNEA: Ausencia
 ZONA: No diagnóstica
 EDAD: No diagnóstica
 MICROESTRATIGRAFÍA: No diagnóstica
 COMENTARIOS: Ausencia de evidencias diagnósticas

**6.24 MUESTRA #: 24-EA-32**

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Bolivina floridana Cushman</i>		1
<i>Globigerina venezolana Hedberg</i>		8
<i>Globigerínidos indet.</i>		86
<i>Globigerinoides immatura (LeRoy)</i>		6
<i>Globorotalia fohsi Cushman & Ellisor</i>		2
<i>Globorotalia mayeri Cushman & Ellisor</i>		3
<i>Globorotalia peripheroronda Blow & Banner</i>		2
<i>Nodosaria spp. (frags)</i>		2
<i>Uvigerina gallowayi Cushman</i>		3
<i>Uvigerina isidroensis Cushman & Renz</i>		3
<i>Uvigerina mantaensis Cushman & Edwards</i>		2

FAUNA ABUND. PRESERV.: Abundante, preservación mala a regular

AMBIENTE: Talud superior

LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas grises arenosas cuarzosas finas

MISCELÁNEA: Ausencia

ZONA: N.9 a N.10

EDAD: Mioceno medio

MICROESTRATIGRAFÍA: Napipi

COMENTARIOS: Predominio de los planctónicos con la ocurrencia de *Gr. fohsi* y *Gr. peripheroronda* marcadores del Mioceno medio (Zonas N.9 a N.10)

6.25 MUESTRA #: 25-EA-60

DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	ABUND
<i>Arenáceos indet.</i>		5
<i>Cyclammina cancellata Brady</i>		2
<i>Haplophragmoides spp.</i>		2

FAUNA ABUND. PRESERV.: Pobre, preservación regular

AMBIENTE: Talud superior

LITOLOGÍA RESIDUAL: Lodolitas grises arenosas cuarzosas finas

MISCELÁNEA: Ausencia

ZONA: N.9 a N.10?

EDAD: Mioceno medio?

MICROESTRATIGRAFÍA: Napipi?

COMENTARIOS: Ocurrencia de algunas formas arenaceas no suficientemente diagnósticas aunque son comunes dentro del Mioceno medio (Zonas N.9 a N.10)



7 CORRELACION (ANEXO 8)

La correlación regional NW-SE se realizó con base en información de superficie (columnas estratigráficas) y de información de subsuelo obtenida de las bases de datos del EPIS. La información de superficie corresponde a ocho (8) columnas estratigráficas levantadas en el presente trabajo en las secciones de las quebradas San Bernabé, Santa Catalina, La Larga, Manantial, Santa Catalina, Manungará y Río San Juan. La información de subsuelo consiste en un registro gráfico compuesto del Pozo Urodó-1, el más cercano al área de estudio (puesto que dentro de la misma no hay información de pozos ni de sísmica), a unos 45 Km del sector de interés y un estudio bioestratigráfico (Muñoz y Cogollo, 2000) que reporta 11 dataciones de muestras del pozo con intervalos de muestreo comprendidos entre los 3190 y 13800 pies. El pozo tiene una profundidad total de 15000 pies y fue perforado por la Compañía Superior en 1973.

La datación de muestras del Pozo Urodó-1 reporta edades que comprenden desde Mioceno temprano a Mioceno medio y permite correlacionar cronoestratigráficamente este intervalo con las formaciones Istmina (Mioceno temprano) y Conglomerados de la Mojarra (Mioceno temprano a medio) pertenecientes al Grupo San Juan y aflorantes en la zona de estudio. Se deduce la variación lateral de facies de estas dos unidades con depósitos siliciclásticos arenosos a conglomeráticos en el sureste del área de correlación (zona del trabajo con depósitos proximales) cambiando gradualmente hacia el noroeste a depósitos siliciclásticos más finos con interposición de ocasionales niveles calcáreos (depósitos distales).

El intervalo correlacionado presenta un importante aumento de espesor en dirección noroeste, reflejando posiblemente el sector más profundo de la cuenca de depósito (depocentro) en el área circundante al Pozo Urodó-1.



8 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA ÁREA DE ESTUDIO

La siguiente secuencia de eventos tectónicos y episodios de deformación es deducida de las observaciones de campo consignadas en el mapa geológico (ANEXO 4), así también como del análisis cronológico de los eventos de fallamiento y plegamiento, marcadores cinemáticos y secciones estructurales elaboradas con datos de superficie.

Este marco tectónico regional de referencia permite de acuerdo con el mapa geológico del presente informe, reconstruir la siguiente secuencia de eventos geológicos:

1. Acumulación a finales del Cretácico del Complejo Santa Cecilia La Equis: lavas, piroclastos y shales en fondos oceánicos como resultado del ascenso de magma a través de fisuras en la corteza oceánica.
2. En el Paleoceno y comienzos del Eoceno se efectuó la sedimentación de la Formación Iró (sobre rocas del Complejo Santa Cecilia La Equis) en cuencas aisladas de materiales terrígenos, que permitieron el desarrollo de laminación plana paralela y la formación de capas medias, onduladas, discontinuas de calizas y cherts ligeramente bioturbados.
3. Un avance de los abanicos deltaicos queda registrado con la Formación Istmina acumulada en el Mioceno temprano, en donde la deformación de las unidades cretácicas y paleógenas logró el retrabajamiento de las mismas y la acumulación sincrónica de terrígenos en ambientes adyacentes a la zona de playa. Estos eventos ocurren en el período de transición hacia una fase compresional de la cuenca.
4. Pliegues que deforman continuamente las unidades acumuladas en el pre-Mioceno temprano. Emplazamiento del Plutón de La Esperanza, evidenciado por aureola de metamorfismo de contacto con la Formación Istmina. Actividad tectónica de fallamiento inverso (p.e. Falla de La Mojarra) y transcurrente.
5. En el Mioceno temprano y medio, ya sobre un fondo de acumulación plegado, fallado y parcialmente erosionado toma posición en el área de estudio un importante sistema de abanico deltaico (incorporado en la Formación Conglomerados de La Mojarra), que acumuló desde guijarros hasta bloques del Plutón de la Esperanza, al igual que fragmentos de tobas y lavas del Complejo Santa Cecilia La Equis, inmersos en una matriz lítica - arenosa con guijarros de la Formación Iró. Esta etapa corresponde a un rápido levantamiento de las áreas fuente, en la actual Cordillera Occidental.
6. La geología de superficie evidencia una fase de desarrollo de fallamiento con desplazamiento lateral dextral (Falla de San Juan), que representa el más reciente episodio tectónico del área.
7. Retrabajamiento fluvial de todas las formaciones aflorantes en el área de estudio depositando la sucesión sedimentaria más joven de depósitos aluviales cuaternarios no consolidados. En términos generales, las zonas que drenan el Complejo Santa Cecilia La Equis aportan en sus depósitos aluviales platino (p.e. valle de la Quebrada Ñapera), mientras las que drenan las rocas del Plutón de la Esperanza contienen importantes cantidades de oro (p.e. valle del Río Apotó).

Referencias generales de la Evolución Geológica: Los eventos magmáticos están representados por dos períodos de volcanismo: uno de ambiente de arco magmático generado por la subducción de la Placa Farallones bajo el bloque Panamá - Baudó (Toussaint & Restrepo, 1989, en Zapata y Cossio, 1999) que origina las rocas volcánicas del Complejo Santa Cecilia - La Equis, la intrusión del Batolito de Mandé y rocas porfiríticas que intruyen al Batolito de Mandé con edades entre 55 Ma (Paleoceno) y 34 Ma (Eoceno); el otro episodio, de edad miocena, se produjo por la continuación del proceso de subducción, la ruptura de la Placa Farallones y la formación de la Placa Nazca, provocando el



levantamiento de la Cordillera Occidental, iniciando una nueva actividad magmática en el flanco occidental de la cordillera; el plutonismo está señalado por la intrusión de los plutones de Tatamá y El Pital (unidades al oriente, fuera de la zona de estudio). El emplazamiento del cuerpo ultramáfico zonado del Alto Condoto (unidad al oriente, fuera de la zona de estudio) es favorecido por fallamiento, que permitió el ascenso de magma ultramáfico rompiendo el basamento oceánico (Salinas et al., 1994).



9 GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO

9.1 ROCA GENERADORA

La cartografía geológica llevada a cabo permitió identificar niveles estratigráficos de arcillolitas, shales y calizas de la Formación Iró como principales rocas fuente para generación de hidrocarburos. Estos niveles se encuentran aflorando dentro del área de estudio en el Río Muchidó, Río Tadocito, Quebrada San Bernabé, Quebrada Santa Catalina, Quebrada Aguas Claras, Quebrada Profundó, Quebrada Colorado, Quebrada El Padre y Río Iró (Santa Rita), de acuerdo con lo cual la distribución y espesor estratigráfico de esta roca es continua en toda el área de estudio, confirmando un gran potencial volumétrico generador, con miras a futuros prospectos.

Estos niveles fueron debidamente muestreados para su evaluación y caracterización geoquímica en laboratorio de acuerdo con los términos de referencia de la ANH. En este aspecto existen antecedentes en la Subcuenca Atrato – San Juan de análisis geoquímicos para niveles de la Formación Iró (Petrobras, 2002) en los que se reportan resultados de porcentaje de TOC que varían entre 5,84 y 13,94%.

El aspecto más relevante de la revisión de campo es la comprobación de la actual generación y migración de hidrocarburo a través de zonas de falla (Santa Rita, Quebrada El Padre y Río Iró) que permiten al hidrocarburo fluir a superficie en el área cartografiada.

En los estudios efectuados durante la “Evaluación y Modelamiento Geoquímico de la Formación Iró - Subcuenca San Juan (Chocó)” elaborada por el ICP (2001) se llegó a las siguientes conclusiones:

- Para la **Formación Iró**, resultó un promedio en %COT de 4,77-7,55%, que indica un contenido excelente de materia orgánica. El potencial petrolífero (S1+S2) promedio de 23 a 39 mg. HC/gr. de roca, confirma un potencial excelente. El índice de hidrógeno promedio es de 332 - 405 mg HC/g COT, indicando el predominio de kerógeno tipo II. Dos intervalos de sucesión tienen excelente contenido de materia orgánica y excelente potencial generador, con predominio de kerógeno tipo II.
- La **Formación Istmina** se tiene como un nivel muy bueno en contenido de materia orgánica. El potencial petrolífero (S1+S2) promedio, obtenido es bueno con un valor de 9,35 mg. HC/gr de roca. El índice de hidrógeno (IH), promedio es de 201 mg HC/g COT, predominando el kerógeno del tipo III. En esta unidad sobresale un intervalo con contenido de materia orgánica y potencial generador excelentes y predominio de kerógeno tipo II.
- “Bitúmenes extraídos de rocas de la Formación Iró, colectadas en las Quebradas El Padre y Mongarrá e interpretados por Giraldo & Rangel (2000, en: ICP, 2001) indican que fueron generados en las etapas tempranas de madurez de estas rocas, sugiriendo también bajos grados de madurez en las rocas madre de la cuenca. De igual forma el crudo de los rezumaderos presenta predominio de la fracción de resinas y asfaltenos similares a las de los extractos, esta composición se deben en gran parte a la baja madurez de las muestras y a perturbaciones por biodegradación”.

9.2 ROCA RESERVORIO

Normalmente afloran asociados a los niveles de roca generadora en los sitios arriba señalados y se encuentran distribuidos a nivel regional en la zona de estudio, como reservorio primario de acuerdo a las observaciones de campo están los niveles arenosos de la Formación Istmina y las calizas



(fracturadas) de la Formación Iró; y como reservorio secundario los niveles siliciclásticos de la Formación Conglomerados de La Mojarra.

Análisis petrofísicos de muestreo de niveles siliciclásticos fracturados de la Formación Iró en sectores del área de estudio anteriormente realizados por Petrobras (2002) reportan valores de porosidad que varían entre 4 y 16% y para niveles calcáreos porosidad entre 1 y 13%. Igualmente para litoarenitas de la Formación Conglomerados de La Mojarra se reporta porosidad total que varía entre 0.2 % y 15 %.

9.3 ROCA SELLO

La sucesión terciaria de la Formación Iró y del Grupo San Juan, aflorantes en el área de estudio, presenta importantes intervalos de arcillolitas con amplia distribución geográfica, que por sus características petrofísicas sirven de sello potencial de yacimientos tanto para trampas estructurales como trampas estratigráficas, teniendo en cuenta la serie de discordancias que afectaron la deposición de la sucesión sedimentaria del área de estudio.

9.4 REZUMADEROS ÁREA DE ESTUDIO

De varios rezumaderos reportados en el Subcuenca Atrato – San Juan, en la zona de estudio fueron ubicados cuatro de éstos, dos de hidrocarburo líquido y dos de roca impregnada. En su gran mayoría están ubicados en la Formación Iró (tres) y uno en las rocas del Complejo Santa Cecilia - La Equis (Río Iró). Los rezumaderos encontrados en la Formación Iró están ubicados en paquetes de mudstone gris oscuro presentes tanto en la parte superior (Quebrada Santa Rosa) como inferior (Quebrada El Padre) de la unidad.

Los rezumaderos de aceite fueron ubicados en la Quebrada El Padre, un kilómetro al nororiente del área urbana del municipio de Santa Rita (ANEXO 4, Mapa Geológico). El acceso a este sitio se hace desde Santa Rita caminando por la rivera del Río Iró, hasta la confluencia de éste con la Quebrada El Padre. A partir de este punto se avanza unos 700 m aguas arriba de la quebrada hasta afloramientos de calizas biomicríticas de color gris oscuro altamente fracturadas de la Formación Iró (Estación AP-159), donde se encuentra el primer rezumadero, ubicado en el lecho de la quebrada al costado occidental del cuerpo de agua (Foto AP-159A & B). En el sitio afloran wackestones de color gris oscuro con delgadas intercalaciones de shale negro, el ángulo de buzamiento de las capas es alto y las superficies de estratificación muestran evidencias de desplazamiento. El otro rezumadero se encuentra a unos 60 m del anterior punto aguas arriba por la quebrada, al costado oriental de ésta. En el sitio afloran también calizas biomicríticas de color gris oscuro en capas medias aunque menos fracturadas que las anteriores. En general el hidrocarburo colectado en estos sitios se caracteriza por ser denso y viscoso

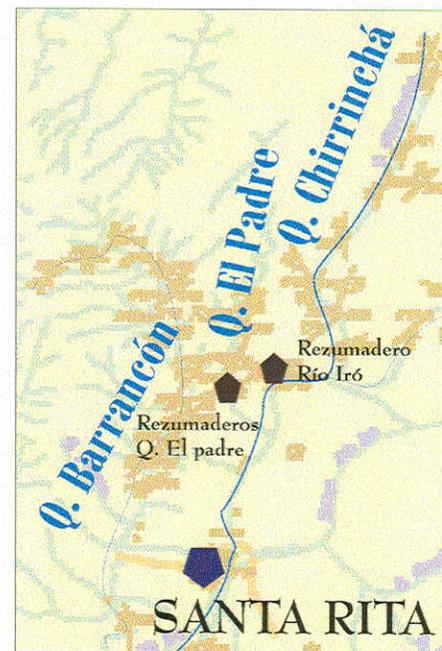
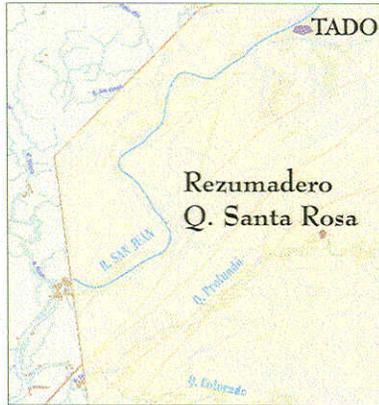


Figura 75. Rezumaderos Q. El Padre

Por el Río Iró en rocas del Complejo Santa Cecilia La Equis se encontró también manifestación de roca impregnada e hidrocarburo líquido. El sitio está localizado en el Río Iró, al nororiente de Santa Rita a 1.2 Km. aproximadamente. El acceso al punto se hace desde Santa Rita caminando aguas arriba por el



Río Iró hasta el sitio (Foto AP-289, ANEXO 4, Mapa Geológico). Se encuentra localizado en el costado norte del río entre las desembocaduras de las quebradas El Padre y Chirrinchá, en éste afloran basaltos intercalados con shale gris oscuro altamente fracturados y cizallados. La roca se encuentra localmente impregnada, y a través de las fracturas emana una pequeña cantidad de hidrocarburo denso y pesado.



Se encuentra otro rezumadero (roca impregnada) en la Quebrada Santa Rosa, afluente de la Quebrada Profundó, a la cual se tiene acceso desde Tadó mediante lancha con motor, hasta el caserío Profundó y desde allí en canoa de palanca por la Quebrada Profundó aguas arriba (6 horas) hasta el punto. En el sitio afloran niveles de la Formación Iró de mudstone gris clara, en capas lenticulares, medias, con interposiciones de chert gris oscuro a negro, presentando fuerte olor a hidrocarburo y niveles altamente bituminosos, la muestra de roca tomada corresponde a la estación EA-107 y los detalles de los estratos muestreados se pueden observar en la fotografía EA-107, en capas de chert bituminoso entre capas medias de calizas altamente bituminosas muestreadas para análisis geoquímicos.

Figura 76. Rezumadero Q. Santa Rosa



AP-159A



AP-159B



AP-107

Figura 77. Detalle de los sitios de rezumadero. Quebrada El Padre (AP-159A y AP-159B) y Quebrada Santa Rosa (AP-107)



10 CONCLUSIONES

1. El control geológico realizado permitió establecer que en el área de estudio aflora una secuencia tecto-sedimentaria que registra un rango de eventos que comprende desde el Cretácico superior (Complejo Santa Cecilia – La Equis) hasta Mioceno inferior (Formación Istmina y Conglomerados de La Mojarra).
2. Las evidencias de campo permiten establecer dos discordancias en la sucesión estratigráfica que controlaron los ciclos de sedimentación de la subcuenca así:
 - La primera de edad Eoceno superior – Mioceno inferior, registrada entre la Formación Iró y la Formación Istmina.
 - La segunda Mioceno inferior – Mioceno medio que pone en contacto las formaciones Istmina y Conglomerados de La Mojarra.
3. Las condiciones geológicas del área demuestran que existe roca generadora (shales de Fm. Iró), roca almacenadora (calizas y siliciclásticas Fm Iró) y niveles terciarios de roca sello para posibles yacimientos de hidrocarburos en el área de interés. A lo anterior se suma la evidencia de campo de actual generación y migración de petróleo fresco comprobados por los rezumaderos de Santa Rita y la Quebrada El Padre.
4. Las estructuras en el área de estudio tienen una orientación predominante N50E. Se distinguen tres estructurales regionales en la zona: la Falla de San Juan, Sinclinal de La Mojarra y Anticlinal de Nápera. Los cabeceos de los dos pliegues regionales, obtenido geoméricamente varían entre 210° y 230° con inclinación de 27° y entre 10° y 20° para los pliegues mesoscópicos medidos en afloramiento
5. La zona consiste en una serie de cuñas con vergencia al noroccidente resultado de episodios de fallamiento y deformación ocurridos antes de la deposición de la Formación Conglomerados de La Mojarra y un último evento transpresivo dextral evidenciado por los diferentes indicadores cinemáticos medidos a lo largo de las fallas de San Juan y Tadocito. Los principales componentes de esfuerzos para el área son aproximadamente N-S resultantes de los últimos eventos compresivos y de rumbo ocurridos de forma simultánea en el área.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLMENDINGER, R. (1999). Introduction to structural geology. Cornell University Press. N.Y.
- BRENCHLEY, P. & HARPER, H. (1998). Palaeoecology Ecosystems, environments and evolution. Chapman & Hall ed.
- CASE, J., DURAN, L., LOPEZ, A and MOORE, W. (1971). Tectonic investigations in western Colombia and Eastern Panama. Geological Society of America Bulletin. Vol. 82, No. 10, p. 2685-2712.
- COLEMAN, J. & PRIOR, D. (1982). Deltaic environments of deposition. In Sandstone. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 31, 139-178.
- COSSIO, U. (1993). Mapa geológico generalizado del departamento del Chocó, escala 1:600.000, Memoria Explicativa. INGEOMINAS, Bogotá.
- COSSIO, U. (2002). Mapa geológico de la Plancha 203, Istmina, escala 1:100.000. INGEOMINAS, Medellín.
- DOTT, R. (1964). Wacke, graywacke, and matrix-what approach to immature sandstones classification?. Journal of Sedimentary Petrology, Vol 34, p. 625-632.
- DUNHAM, R. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional textures. The American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, p. 108-121.
- DUQUE_CARO, H. (1989). El Arco de Dabeiba: Nuevas aportaciones al conocimiento del noroccidente de la Cordillera Occidental. V Congreso Colombiano de geología, Memorias, Tomo 1, p. 108-126. Bucaramanga.
- ____ (1990a). Neogene Stratigraphy, Paleooceanography and Paleobiogeography in NW South America and Evolution of Panama Seaway. Palaeogeography, palaeoclimatology, and Palaeoecology. – Elsevier Science Publishers B., Vol. 77, p 203-234, Amsterdam.
- ____ (1990b). The Choco Block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphic, and paleogeographic implications. Journal of South American Earth Sciences, Vol 3, No 1, p. 71-84, Great Britain.
- ETAYO, F., et. al. (1986). Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales del INGEOMINAS, No 14: 235p. INGEOMINAS, Bogotá.
- FIGUEROA, Y. Y NÚÑEZ A. (1990). Cartografía geológica de un área en las cabeceras del Río San Juan (Chocó). Trabajo de grado en Geología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- FOLK, R. (1974). The petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co., 182 p. Austin, Texas.
- INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO -ICP- (2001). Evaluación y modelamiento geoquímico de la Formación Iró - Subcuenca San Juan (Chocó).
- JONES, B. & DESROCHERS A. (1992). Shallow Platform Carbonates, In: Walker, R., & James N. (Eds) Facies Models response to sea level change, p. 277-301.



- HAFFER, J. (1967). On the geology of the Urabá and northern Chocó regions, northwestern Colombia. Informe 809. ISN 431 (EPIS).
- MARRETT, R. and ALLMENDINGER (1990). Kinematic analysis of fault-slip data. Journal of structural geology, Vol. 12, No 8, p. 973-986. Great Britain.
- McCOURT, W., ASPDEN, J. & BROOK, M. (1984). New geological and geochronological data from the colombian Andes: continental growth by multiple accretion. Journal of the Geological Society, Vol. 141: 835-841, London.
- MERA, M. Y PIRAGUA, A. (2000). Correlación estratigráfica de las rocas del intervalo Paleoceno - Oligoceno, Subcuenca de San Juan (Chocó). Trabajo de grado en Geología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- MERA, M. Y PIRAGUA, A. (2001). Sección estratigráfica de la Quebrada Suruco: análisis estructural de fracturas. Área del Río San Juan, Chocó. Asesorías técnicas (ATG) para PETROBRÁS, Bogotá.
- NYGREN, W. (1950). The Bolivar geosyncline in northwestern South America. –Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, Vol. 34, No. 10, p. 1998-2006, Tulsa.
- PEREZ, G. (1980). Evolución geológica de la cuenca Pacífica (Geosinclinal Bolívar), sector noroccidental de Suramérica. Boletín de Geología Vol. 14, No 28 p. 25-44, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- PETROBRAS-ECOPETROL (2002). Regional evaluation analysis central Pacific Project (onshore-offshore portion).
- POWERS, M. (1953). A new roundness scale for sedimentary particles. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 23, p. 118.
- RESTREPO, J. & TOUSSAINT, J. (1988). Terranes and continental accretion in the colombian Andes.- Episodes, Vol. 11, No. 3, p. 189-193.
- PRICE, N. & COSGROVE, J. (1996). Analysis of geological structures. Cambridge University press, 502 p. New York.
- SCRUTON, P., (1976). Delta building and the Delta Sequence, in Moder Deltas selected papers reprinted from recent sediments, Northwest Gulf of Mexico: AAPG Bulletin; and geometry of sandstone bodies. P. 82-102.
- SCHMIDT-THOME, M. FELDHAUS, L. SALAZAR, G. & MUÑOZ, R. (1992). Mapa Geológico, escala 1:250.000, del flanco oeste de la Cordillera Occidental entre los ríos Andágueda y Murindó, departamentos de Antioquia y Chocó. INGEOMINAS, Bogotá.
- SCHUCHERT, C. (1934). Historical geology of the Antillean Caribbean Region. John Wiley & Sons, Inc., p. 403-427.
- SHANMUGAN, G. (1996). High-density currents: are debris flow?: Journal of Sedimentary Research, v.66, p.2-10.
- SHANMUGAN, G., & MIOLA R. (1995). Reinterpretation of Depositional Processes in a clastic Flysch Sequence (Pennsylvanian Jackfork Group), Ouachita Mountains, Arkansas and Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.79, p.672-695.
- SHANMUGAN, G. & MIOLA R. (1998). Submarine Fans: Characteristic, Models, Classification and Reservoir Potential: Earth Science reviews, v.24, p.383-428.



- SUAREZ, M. (1990). Estado actual del conocimiento geológico de la Provincia del Pacífico. Informe 2325. ISN 12698 (EPIS).
- TOUSSAINT, J., (1993). Evolución geológica de Colombia, Precámbrico-Paleozóico. Publicaciones Universidad Nacional de Colombia. 229 p. Medellín.
- TEXAS PETROLEUM COMPANY (1989). Informe Geológico: Área de asociación Istmina, Texaco. Informe 2352. ISN 12901 (EPIS).
- ZAPATA, G. Y COSSIO, U. (1999). Geología de la plancha 204, Pueblo Rico, escala 1:100.000, Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá.
- WENTWORTH, C. (1922). A Scale of grade and class terms for clastic sediments. The Journal of Geology, Vol. 30, p. 377-392. Chicago.



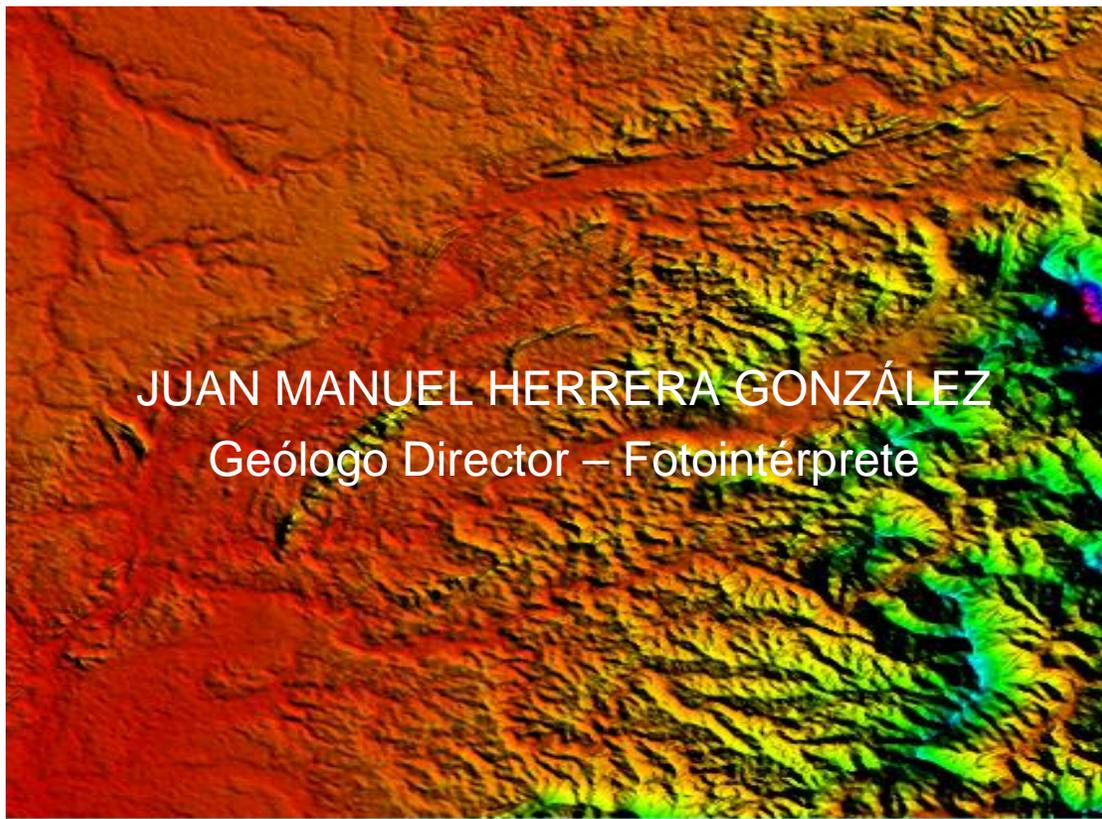
Agencia Nacional de Hidrocarburos
República de Colombia

ANEXO 1 INFORME FINAL DE LA FASE 1
(Tabla compilación de correlación estratigráfica)



DUNIA CONSULTORES LTDA

Fotogeología del área de la Cartografía Geológica de la Subcuenca Atrato – San Juan



DUNIA CONSULTORES LTDA

24 de Febrero de 2006



TABLA DE CONTENIDO

1	OBJETIVOS	3
2	METODOLOGÍA	4
3	UNIDADES FOTO GEOLÓGICAS	8
3.1	Sucesión volcano - sedimentaria (K2Evol).....	8
3.2	Formación Iró (Ei)	8
3.3	Formación Sierra (E3s).....	9
3.4	Grupo San Juan (N1sj)	9
3.5	Rocas ultrabásicas (N2ult)	9
3.6	Pleistoceno del San Juan (Q1)	9
3.7	Terrazas y depósitos aluviales cuaternarios (Qt1, Qt2)	10
4	ESTRUCTURAS	11
4.1	Fallas Río San Juan – Río Iró	11
4.2	Falla / Anticlinal de Profundó	11
4.3	Sinclinal de La Mojarra.....	12
4.4	Sinclinales de Iró y Apoto.....	12
4.5	Anticlinal de Viriviro.....	12
	CONCLUSIONES.....	13



INTRODUCCIÓN

El siguiente informe es el resultado de las observaciones en detalle de fotografías aéreas a escalas que varían entre 1:45.000 y 1:50.000, con año de toma entre 1968 y 1969, las cuales cobijan apenas el 75% del área de la Cartografía Geológica de la Subcuenca Atrato – San Juan, dejando de cubrir su sector oriental. Aunque las fotografías aéreas se encuentran sin nubes, su calidad no es la mejor, algunas presentan fuertes variaciones de escala y baja resolución, que sumado a la abundancia de bosques y a la atenuada variación topográfica dificultan la labor de fotointerpretación y de transferencia al mapa topográfico.

El área de la Cartografía Geológica de la Subcuenca Atrato – San Juan se encuentra dentro de la Zona Deformada de Istmina y se caracteriza por tener hacia su parte central un pliegue sinclinal nucleado en ruditas del Grupo San Juan y en los flancos se presenta la Formación Iró con sus estratos verticalizados. Según Ingeominas (2003) *La evolución geológica de la cuenca comienza con la deposición a principios del Cretácico tardío de la Formación Penderisco, miembros Urrao y Nutibara, sobre un basamento oceánico, representado en los Basaltos del Baudó y la Formación Barroso. En el Oligoceno se presenta una trasgresión marina y como resultado de una subsidencia rápida, comienza la deposición de la formaciones Uva y Istmina, en condiciones de mar profundo y abierto, seguida de un levantamiento rápido de la Cordillera Occidental que produjo una fuerte erosión que dio origen a los Conglomerados de La Mojarra. El límite Mioceno inferior – Mioceno medio corresponde a un hiato (NH2) relacionado con perturbaciones tectónicas que causaron el levantamiento inicial del Istmo de Panamá que afectó el área costera pacífica y caribeña del noroccidente suramericano. En el Mioceno medio se depositaron las formaciones Napipí, Condoto, Nóvita y parte de la Formación Sierra en condiciones de mar profundo y abierto a profundidades batiales y someras, respectivamente. Al finalizar el Mioceno, la actividad tectónica trajo como consecuencia el desarrollo del plegamiento y fallamiento que afectó la cuenca.*



1 OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto es el de efectuar la cartografía geológica a escala 1:25.000 con control estructural, toma de muestras de roca y fluido y el levantamiento de columnas estratigráficas, de las unidades potencialmente generadoras y almacenadoras de la subcuenca Atrato-San Juan en el Departamento de Chocó.

Objetivos Específicos de la fotointerpretación

- Realizar la interpretación de geología de superficie a partir de fotografías aéreas y de sensores remotos de un área de 540 Km².
- Efectuar el control fotogeológico en sectores de mayor interés tectónico.
- Definir la continuidad de las unidades de roca.
- Localizar los principales rasgos tectónicos y neotectónicos en el área, que permitan correlacionarse a rasgos estructurales regionales y de subsuelo.
- Realizar la integración de la información geológica disponible y de la obtenida por este estudio sobre un mapa a escala 1:50.000.
- Sobre este mapa fotogeológico se plantearán las transectas estructurales que cubran la zona y el levantamiento de las columnas estratigráficas.



2 METODOLOGÍA

La fase inicial de la labor fotogeológica consistió en una visita al IGAC para examinar los recursos de sensores remotos que allí proveen. Se adquirieron 27 fotografías aéreas a escala entre 1:45.000 y 1:50.000, tomadas en los años 1968 y 1969. Estas fotografías son las únicas que tiene el IGAC a disposición, al igual que los cuadrángulos de las planchas topográficas 203 y 204 a escala 1:25.000. Otro producto con el que cuenta el IGAC, útil para la cartografía geológica, son las imágenes de Radar Intera 203 y 204 a escala 1:100.000, de las cuales Dunia Consultores cuenta con una copia de cada una en papel.

La consecución de imágenes de satélite de óptima calidad fue imposible (*Figura 1*), mientras que se adquirieron imágenes Standard SRTM-3 DEM 90 m y Standard RadarSat 25 m, 8 bit Geotiff (*Figura 2*). De ambos tipos de imágenes se obtuvo importante información regional en el trazo de los pliegues y fallas, lo mismo que de la continuidad de las unidades de roca. Así entonces, para complementar la labor de fotogeología, se efectuó en Erdas Image 8.5, Autocad 2000 y Global Mapper v7.01 la interpretación geológica de una Imagen Standard RadarSat 25 m, 8 bit Geotiff en formato digital y de una imagen DEM. Las imágenes Landsat no fueron tenidas en cuenta debido a su abundante nubosidad, que impide la aproximación a la superficie del terreno, que sumado a la exuberante vegetación y al poco contraste en el relieve las hace inoperables.

Las fotografías aéreas interpretadas (*Figura 3*) corresponden a los siguientes vuelos y sobres ubicados en el IGAC:

SOBRE	VUELO	ESCALA	AÑO	FOTOS
S-23791	C-1224	1:45.000	1968	905 - 911
S-23878	C-1228	1:45.000	1968	463 - 465
S-23767	C-1224	1:45.000	1968	535 - 538
S-23768	C-1224	1:50.000	1968	555 - 561
S-24614	C-1278	1:49.000	1969	074 - 079

La información de la fotogeología revisada por el interventor de la ANH, fue transferida a un mapa a escala 1:50.000, el cual contiene las curvas de nivel del IGAC, y drenajes hasta de segundo orden; es de anotar que cerca del 25 % de las planchas 1:25.000 del IGAC carecen de topografía, la que fue completada con la proveniente de una imagen DEM, de la que se extrajeron curvas de nivel cada 25 metros (*Figura 4*).

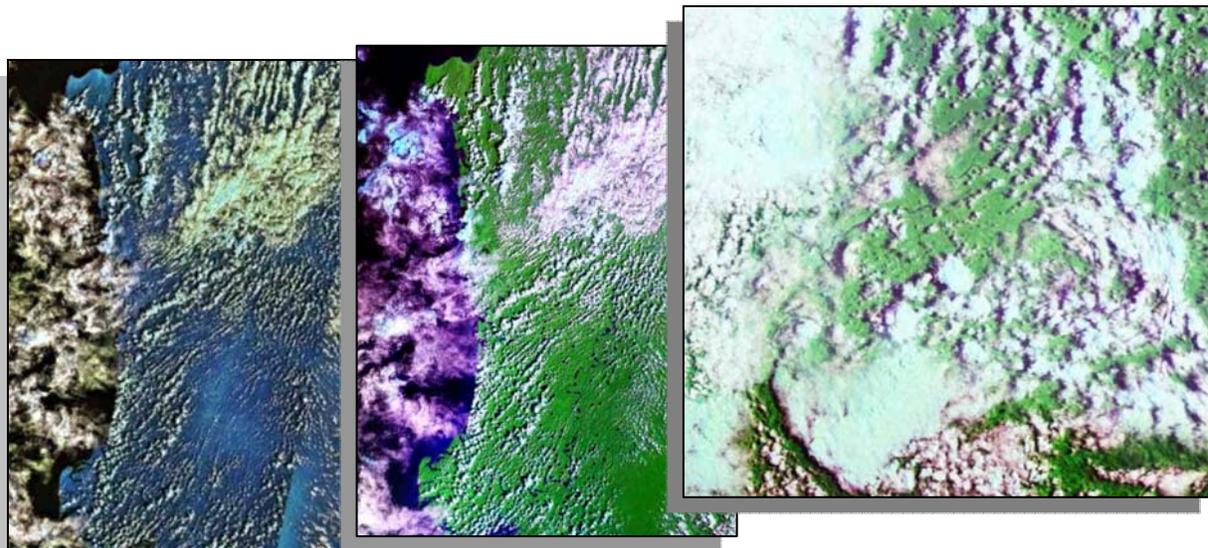


Figura 1. De izquierda a derecha: Imagen Landsat 7 pseudo color, Geocover 2000 y detalle en Geocover 1990.

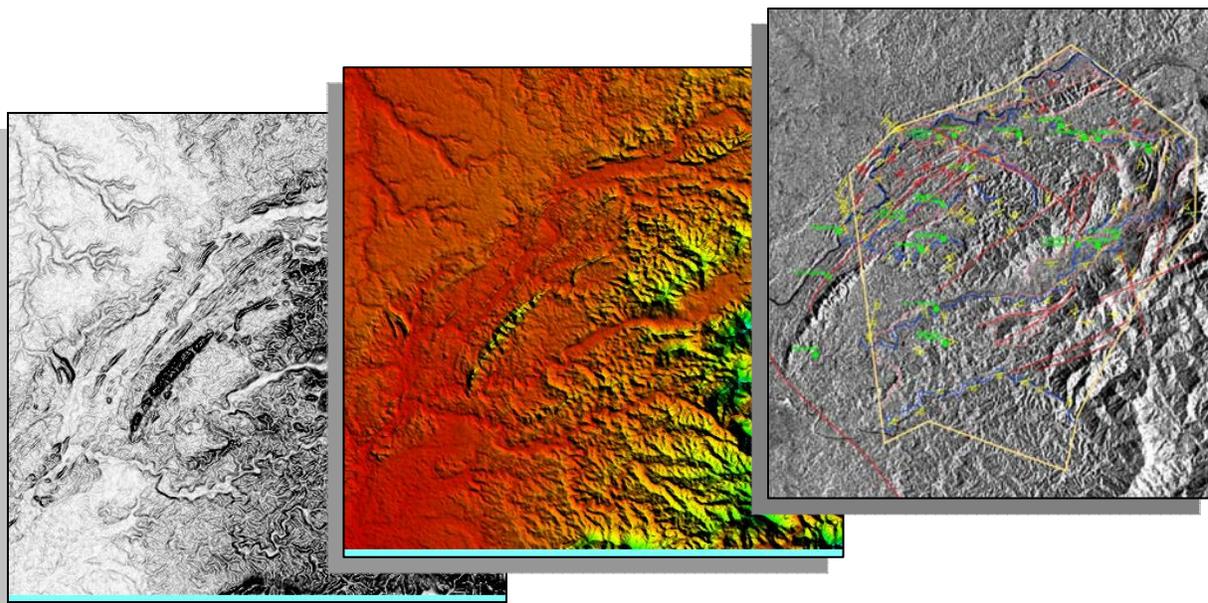


Figura 2. Imagen Standard SRTM-3 DEM 90 m, 16 bit en formato digital: Slope Shader (izquierda), HSV Shader (centro) y Standard RadarSat 25 m, 8 bit Geotiff con avance en interpretación digital (derecha).

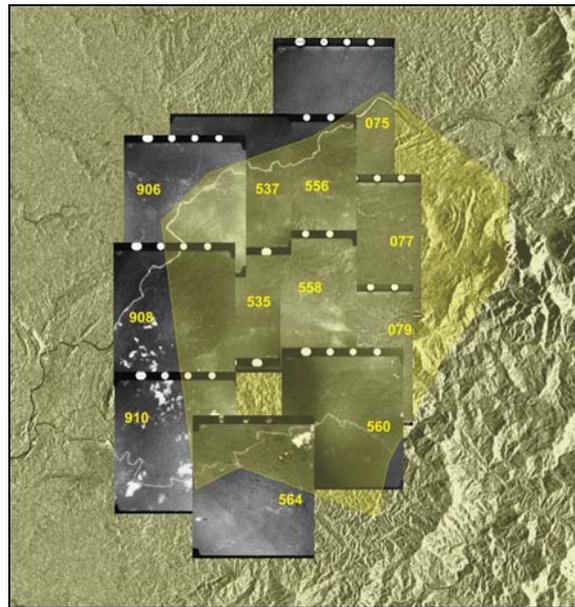


Figura 3. Distribución de las fotografías aéreas en donde se aprecia que el sector oriental del área de la cartografía Atrato – San Juan carece de cubrimiento, sector de donde se completó la topografía con las curvas de nivel obtenidas por imagen DEM.

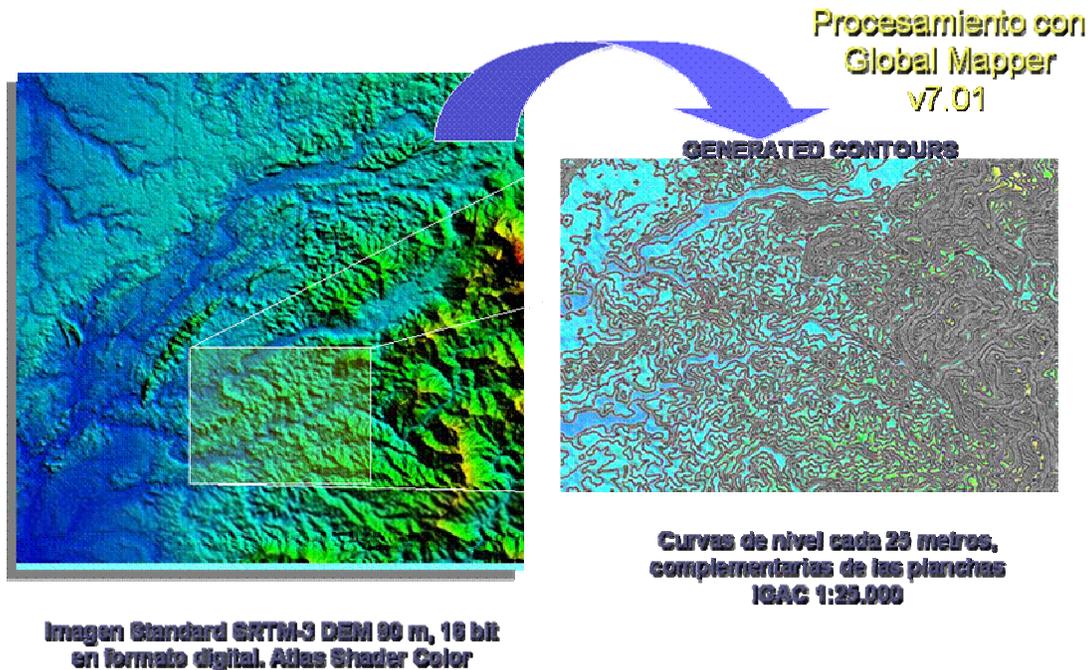


Figura 4. Generación de curvas de nivel a partir de una imagen DEM.



DUNIA CONSULTORES LTDA

La simbología empleada para la fotogeología fue suministrada por la interventoría de la ANH y se relaciona a continuación:

	Contacto definido		Discordancia		Escarpa de terraza		Falla de Inversa o de Cabalgamiento definida		Falla de Inversa o de Cabalgamiento inferida		Falla de Inversa o de cubierta		Falla Normal definida		Falla Normal inferida		Falla Normal cubierta		Falla de alto angulo (H= Bloque hundido; L= Bloque Levantado)		Falla de Rumbo definida		Falla de Rumbo inferida		Falla de Rumbo cubierta		Lineamiento		Anticlinal		Sinclinal		Anticlinal cubierto		Sinclinal cubierto		Anticlinal con cabeceo		Sinclinal con cabeceo		Anticlinal cubierto con cabeceo		Sinclinal cubierto con cabeceo		Anticlinal volcado
	Buzamiento fotogeologico de 1° a 3°		Buzamiento fotogeologico entre 3° y 10°		Buzamiento fotogeologico entre 10° y 25°		Buzamiento fotogeologico entre 25° y 45°		Buzamiento fotogeologico mayor de 45° a casi vertical		Buzamiento vertical		Buzamiento horizontal																																

De la zona de estudio apenas tres trabajos que contienen cartografía geológica fueron encontrados en los centros de información (EPIS, U. Nacional de Colombia e INGEOMINAS) y ellos son: Plancha Geológica 203 – Istmina (Ingeominas 2003) Mapa Geológico de la Asociación Istmina de Texaco (1990) y el Mapa Geológico Trabajo de grado: Mera & Piragua, 2000 (U. Nal. de Colombia, sede Bogotá). Con estos mapas se ajustó la fotointerpretación y la transferencia de la información a la plancha escala 1:50.000 que se anexa al presente informe.



3 UNIDADES FOTO GEOLÓGICAS

La sucesión sedimentaria que aflora en el área de la Cartografía Geológica de la Subcuenca Atrato – San Juan está comprendida casi en su totalidad en dos macro secuencias sedimentarias de edades Paleógeno y Neógeno con potencia cercana a los 5.000 metros estratigráficos.

3.1 Sucesión volcano - sedimentaria (K2Evol)

Están localizadas en la parte oriental del área, hacia las cabeceras de los Ríos Iró y Tadocito. Se trata de potentes interposiciones de paquetes areníticos tobas y de materiales lodolíticos. Desarrollan morfologías fuertemente escarpadas, con drenaje rectangular y subdendrítico, son comunes las crestas de poca continuidad debido a la fuerte actividad tectónica en donde se localizan y generalmente tienen una de sus laderas abruptas casi siempre asociadas a la contrapendiente de la sucesión sedimentaria. Hacia el núcleo del Anticlinal de la Esperanza se desarrolla un valle en U sobre un nivel blando de esta sucesión el cual puede llegar a tener un espesor de 150 metros.

Equivalente a esta sucesión volcanosedimentaria puede ser lo que Álvarez & González (1978) denominan como Formación Penderisco (secuencia sedimentaria del Grupo Cañasgordas) y la dividen en dos miembros, uno con características turbidíticas donde predominan areniscas, arcillolitas y limolitas (Miembro Urrao) y otro con sedimentitas biogénicas o químicas formadas por chert, calizas micríticas y material piroclástico tipo tobas básicas, interestratificadas con sedimentitas silíceas (chert) y, en menor cantidad, calizas que, según los efectos metamórficos y su composición, pasan a ser filitas (Miembro Nutibara).

3.2 Formación Iró (Ei)

Se encuentra cartografiada únicamente hacia los flancos del Sinclinal de La Mojarra, en el núcleo del Anticlinal de Viroviro y en el borde oriental del área, en donde suprayace en contacto aparentemente normal a la Sucesión volcanosedimentaria. El contacto superior con las Formaciones Sierra y el Conglomerado de la Mojarra es interpretado aquí como discordante, lo que difiere con los estudios geológicos en la zona en donde se afirma que el contacto con estas unidades es fallado.

Es común encontrar en la fotogeología que en los sectores en donde aflora la formación Iró se desarrolla una morfología suavemente ondulada, con crestas de cerros continuas que pueden llegar a alcanzar los 10.000 metros de longitud, separadas por valles paralelos a las mismas; lo que deja concluir que en la unidad alternan paquetes de espesor cercano a los 200 metros de calizas y/o cherts separados por lodolitas, acumulados en fondos de depósito planos.

Aunque no son claros sus límites estratigráficos, se estima que el espesor total aflorante de la Formación Iró en la Subcuenca Atrato – San Juan no excede los 3.500 metros.



3.3 Formación Sierra (E3s)

La cartografía de esta unidad e edad Oligoceno se limitó al flanco N del Anticlinal de Viroviro, en los interfluvios de los ríos Iró y Condoto. Es un pequeño valle en U, recubierto en forma discordante por rocas del Grupo San Juan y haber precisado esta unidad se debió a la información del Mapa Geológico de Texaco (1990).

3.4 Grupo San Juan (N1sj)

Los afloramientos del Grupo San Juan son los de más amplia distribución en la Subcuenca Atrato – San Juan. Generalmente nuclean las estructuras sinclinales y recubren de modo discordante a las unidades que la anteceden. De la fotointerpretación se deduce que el Grupo San Juan está conformado por potentes intervalos de conglomerados y arenitas, a los que se le interponen capas gruesas de limolitas.

Las geformas asociadas a este Grupo San Juan son crestones alargados, con continuidad lateral no superior a 6 Km, cerros escarpados que permiten el desarrollo de drenaje subdendrítico y subparalelo en zonas con gran fracturamiento (entre los ríos Mongarrá y Chato).

Por la discontinuidad en los paquetes sedimentarios que conforman de esta unidad se puede concluir que el Grupo San Juan fue acumulado en una cuenca sindeposicional, con fondos de acumulación irregulares y depocentros que migraban conforme a la tasa de subsidencia, pero siempre localizados hacia en centro de los sinclinatorios. De los perfiles topográficos se puede estimar que las rocas que conforman el Grupo San Juan nunca superan los 900 metros de espesor en los flancos NW y SE del sinclinal, pero hacia su cierre NE puede alcanzar los 1.500 metros. Sus contactos con las unidades infla y suprayacentes son discordantes angulares y dentro de si se presentan frecuentes discordancias intraformacionales.

3.5 Rocas ultrabásicas (N2ult)

Al igual que la Formación Sierra, la cartografía de este cuerpo se debió al reporte del Mapa Geológico de Texaco (1990). Se trata de un cerro que sobresale cerca de 150 metros por encima del nivel circundante y ocupa un área de unos 5 Km² localizados entre los ríos Iró y Condoto al sur del poblado de Santa Bárbara (*Figura 5*). Su contacto con las sedimentitas del Grupo San Juan no fue precisado por medio de la fotointerpretación pero deja abierta dos posibilidades: ser un relieve positivo previo a la acumulación neógena o haber intruído al Grupo San Juan.

3.6 Pleistoceno del San Juan (Q1)

Cubierta sedimentaria que enmascara casi todas las unidades y estructuras localizadas al SW del área de estudio. Se dispone de modo subhorizontal sobre las unidades que la anteceden o buzando ligeramente hacia el W en proximidades a su contacto inferior. A 1.300 metros de la Inspección Municipal de Viroviro en línea recta y aguas arriba del Río Iró se aprecia un claro ejemplo de discordancia angular de el aquí llamado Pleistoceno del San Juan con la Formación Iró.

A nivel regional esta unidad equivale a las terrazas aluviales antiguas que rellena la parte central de la cuenca del Río Atrato y Quito (ver Plancha 203 de Ingeominas, 2002).

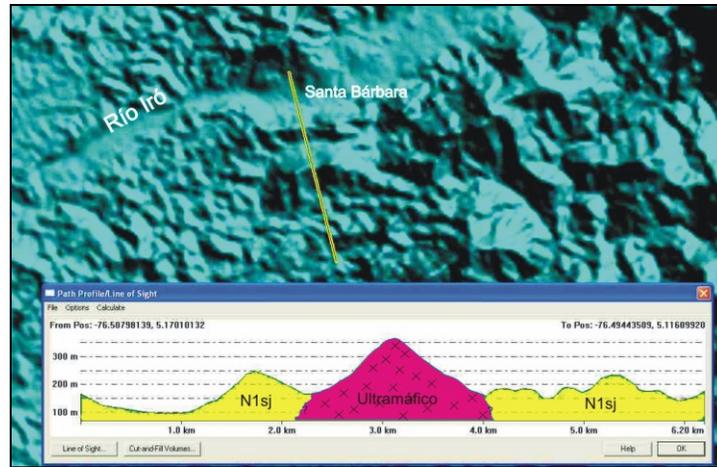


Figura 5. Relieve desarrollado por las rocas ultramáficas localizadas al sur del Río Iró y su contraste topográfico con el Grupo San Juan. Perfil elaborado a partir de una imagen DEM.

3.7 Terrazas y depósitos aluviales cuaternarios (Qt1, Qt2)

Son todas la formas planas o semiplanas que se encuentran asociadas a los cauces de los ríos y quebradas de la zona, están generalmente mal drenadas debido a su alta permeabilidad, tienen siempre un talud hacia los cauces de los drenajes. Los depósitos aluviales recientes están restringidos a los cauces de los drenajes más importantes (p.e. Río San Juan) y son aquellas zonas que se ven sometidas a inundaciones frecuentes. Se caracterizan por presentar escasa vegetación, permitiendo tener en superficie gran concentración de gravas y arenas si desarrollo de suelos y su cartografía se hará en las planchas finales a escala 1:25.000.



4 ESTRUCTURAS

Las estructuras reflejan una fuerte actividad tectónica que tuvo su mayor intensidad durante el Eoceno tardío - Oligoceno, afectando principalmente a las rocas de la Formación Iró y a sus predecesoras; las rocas del Grupo San Juan fosilizan pliegues y fallas. Por sus trazos rectilíneos se asume que las fallas son de tipo transcurrente (“strike-slip”) y su componente en la vertical está por ser comprobada en el terreno.

En los trabajos compilados es reiterado encontrar que el contacto entre las unidades que afloran en el Área Atrato San Juan es fallado (*Figura 6*), lo que deja abierta nuevamente dos posibilidades: 1. Que la superficie de discontinuidad litológica sirva como plano de falla, o que: 2. Se desconozcan las relaciones estratigráficas entre las unidades y las características mecánicas de las fallas inversas y de las transcurrentes.

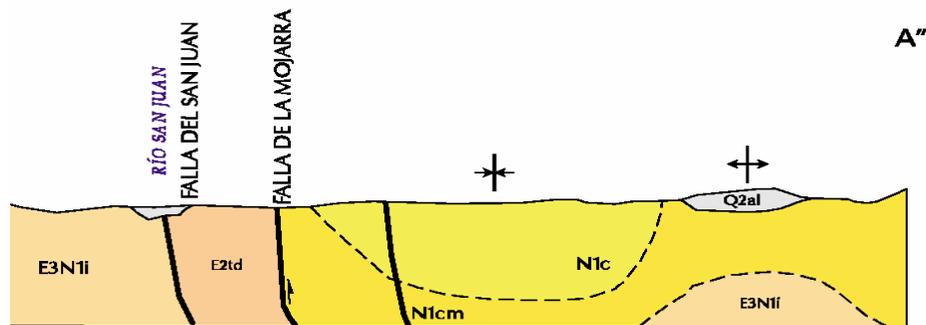


Figura 6. Perfil tomado de la Plancha Geológica 203 – Istmina (Ingeominas, 2002) en donde se aprecia el contacto fallado entre las unidades que afloran en el Área Atrato – San Juan (E2td: Fm. Tadó, E3N1i: Fm. Istmina, N1cm: Conglomerado de la Mojarra, N1c: Fm Condoto)

4.1 Fallas Río San Juan – Río Iró

Fallas de gran relevancia a escala regional en el occidente colombiano, y a cuyos trazos están asociados límites en la corteza oceánica de las placas de Nazca y Cocos. La prolongación de sus trazos hacia el E coinciden con el desplazamiento dextral de la Cordillera Occidental a la altura de los 5,310 grados norte y con un componente vertical que eleva el bloque sur hasta unos 200 metros con respecto al bloque norte.

Inmediatamente al W del área de estudio, los trazos de las Fallas de Iró y San Juan concurren en dos rasgos tectónicos que provienen de la costa pacífica con direcciones N70E y N25E (*Figura 7*). Ya dentro del área y a escala menos regional, es notorio como sus trazos afectan mucho más a la Formación Iró y su edad puede estar relacionada con los silos que en ella se encuentran.

4.2 Falla / Anticlinal de Profundó

Conocido en la literatura como Anticlinal de la Mojarra, esta estructura se cartografía como Falla / Anticlinal de Profundó ya que su trazo transcurre en línea recta sobre la mayor parte del cauce de la Quebrada Profundó. Su trazo se prolonga por 13 Km, hacia el sur desde la



DUNIA CONSULTORES LTDA

confluencia del Río Mongarrá con el Chato y es sepultado por el Grupo San Juan en cercanías a la población de La Mojarra. Aunque en su extremo norte, cerca del Río Mongarrá se alcanza a apreciar en las fotografías aéreas una tendencia a cierre de estructura antiformal se ha preferido hacer énfasis en su efecto de falla vertical con ligero movimiento transcurrente dextral, que a su vez puede promover el pliegue en el que termina (las capas de la Formación Iró, en donde se encuentra enmarcada la Falla de Profundó están verticalizadas, promediando los 70°)

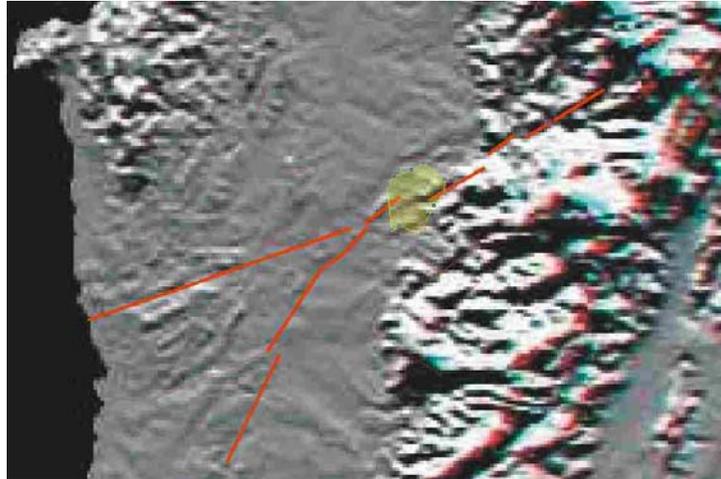


Figura 7. Imagen Radarsat anaglifo en donde se aprecia a confluencia al W del área de estudio los lineamientos regionales con direcciones N70E y N25E y el desplazamiento de la Cordillera Occidental cuando es cortada por los mismos.

4.3 Sinclinal de La Mojarra

Estructura de 150 Km² cuyo eje se prolonga por 19 Km en dirección N70E y cuyo núcleo se erige como el mayor depocentro de las unidades neógenas. La estructura sinclinal merge hacia el SW con un ángulo aproximado a 15° hasta quedar sepultado por los depósitos Pleistocénicos del San Juan. El trazo principal del eje de esta estructura se encuentra afectado por fallas transcurrentes con dirección N70W, con desplazamiento dextral.

4.4 Sinclinales de Iró y Apoto

Estructuras paralelas al Sinclinal de La Mojarra localizadas al sur de los ríos Iró y Condoto respectivamente y se encuentran nucleadas por el Grupo San Juan. Hacia el núcleo del Sinclinal de Iró se cartografiaron la unidad de Rocas ultrabásicas (N2ult).

4.5 Anticlinal de Viriviro

Antiforma con dirección N80W cuyo eje apenas se puede trazar 3.500 metros. Se encuentra nucleada en rocas de la Formación Iró, y en cuyo flanco norte aflora una delgada franja de la Formación Sierra. Está recubierto en su perímetro por rocas del Grupo San Juan y por los depósitos Pleistocénicos del San Juan y se cree que es una estructura en-echelón asociada a la Falla del Iró.



CONCLUSIONES

- Zona de estudio localizada en el extremo norte de la Zona Deformada de Istmina en donde la tectónica y sedimentación se enmarca en zona transpresiva, en la que las fallas de alto ángulo y con carácter trascurrente se hacen dominantes.
- Las unidades paleógenas están verticalizadas y son recubiertas por rocas neógenas menos deformadas.
- Pliegues y fallas pre Mioceno temprano que deformaron las rocas de la Formación Iró y sus antecesoras y posteriormente fueron sepultadas por las unidades neógenas.
- Habituales discordancias progresivas post-mioceno temprano (post Conglomerado de la Mojarra).
- Rápidos cambios faciales en las ruditas del Grupo San Juan (los conglomerados no exceden 6 Km de continuidad lateral).

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA EN EL ÁREA DE LA SUBCUENCA ATRATO –
SAN JUAN, DEPARTAMENTO DEL CHOCO**

CONTRATO 078 DE 2005

**COMPILACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA
DEL ÁREA DE ESTUDIO**

por

GEÓLOGO ALEXANDER PIRAGUA ALARCÓN

T.P. 1850

DUNIA CONSULTORES LTDA

BOGOTA D.C., FEBRERO 23 DE 2006

Tabla de Contenido

1. LOCALIZACIÓN.....	2
2. LOCALIZACIÓN GEOLÓGICA.....	2
3. ESTRATIGRAFÍA Y RASGOS ESTRUCTURALES.....	5
4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	12
5. EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	16
6. CONCLUSIONES.....	18
ANEXO 1 LISTADO DE INFORMACIÓN COMPILADA.....	19



DUNIA CONSULTORES LTDA

LOCALIZACIÓN

El área de estudio está localizada al occidente de Colombia, en el departamento del Chocó al sur de la capital Quibdó, en el valle alto del Río San Juan (Figura 1). La zona está incluida en las planchas 203 y 204 de Ingeominas y cubre las jurisdicciones de los municipios de Tadó, Playa de Oro, Istmina, Condoto y Santa Rita (Figura 1).

El acceso al área se hace por las vías que comunican Quibdó - Tadó, Istmina –Tadó y Playa de Oro – Tadó. El resto del desplazamiento en el área se hace por los ríos y quebradas principales en lancha o canoa.

LOCALIZACIÓN GEOLÓGICA

La zona de trabajo está ubicada en la Costa Pacífica colombiana e incluye parte del piedemonte occidental de la Cordillera Occidental. Desde el punto de vista geológico regional la zona está incluida en el Bloque Chocó (Dengo, 1983), un terreno exótico proveniente del occidente, de Centroamérica y adosado al margen noroccidental de Sudamérica en el Mioceno Medio. Este terreno está limitado al oriente y norte por la Falla de Uramita, al sur por la Falla de Garrapatas y al occidente por la Falla de Panamá (Figura 2). Las fallas de Uramita y Panamá convergen hacia el noroeste del Istmo (Figura 2).

Específicamente el área de estudio está ubicada en la denominada por Duque (1990) Zona Deformada de Istmina. Duque (1990) divide el Bloque Chocó en tres elementos estructurales mayores: los arcos de Dabeiba y Baudó con sus prolongaciones al noroccidente en Panamá (las serranías San Blas Darién y Majé), la Cuenca del Atrato (con su prolongación al norte; Chucunaque) y la Zona Deformada de Istmina (Figura 3). El límite sur de este último elemento es Ubicado por Duque (1990) en la Falla de Garrapatas, pero no especifica el límite norte, el cual correspondería a la Falla del Río Pepé (Cossio, 2002).

De acuerdo a esto el área de estudio está localizada en la parte norte de la Zona deformada de Istmina. Esta área se caracteriza por ser muy complicada desde el punto de vista tectónico con numerosas fallas de cabalgamiento y pliegues apretados con una orientación predominante N60°E (Duque, 1990). Lo cual contrasta con el patrón presente al norte en la Cuenca del Atrato y al sur en la Cuenca de Tumaco, el cual presenta una orientación predominante N-S. La Zona Deformada de Istmina se prolonga desde costa afuera en el Océano Pacífico hasta los flancos orientales de la Cordillera Occidental (Figura 3). Este elemento estructural divide la Cordillera Occidental en dos de los terrenos propuestos por Etayo y otros (1986), los terrenos Cañasgordas al norte y Dagua al sur.

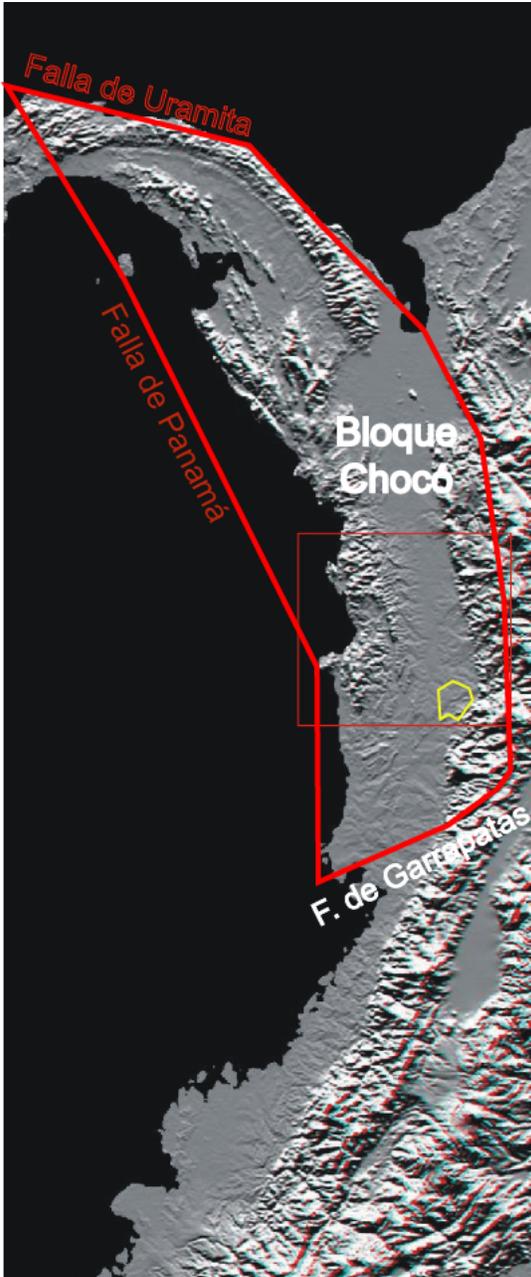


Figura 2. Ubicación geológico-regional de la zona de estudio

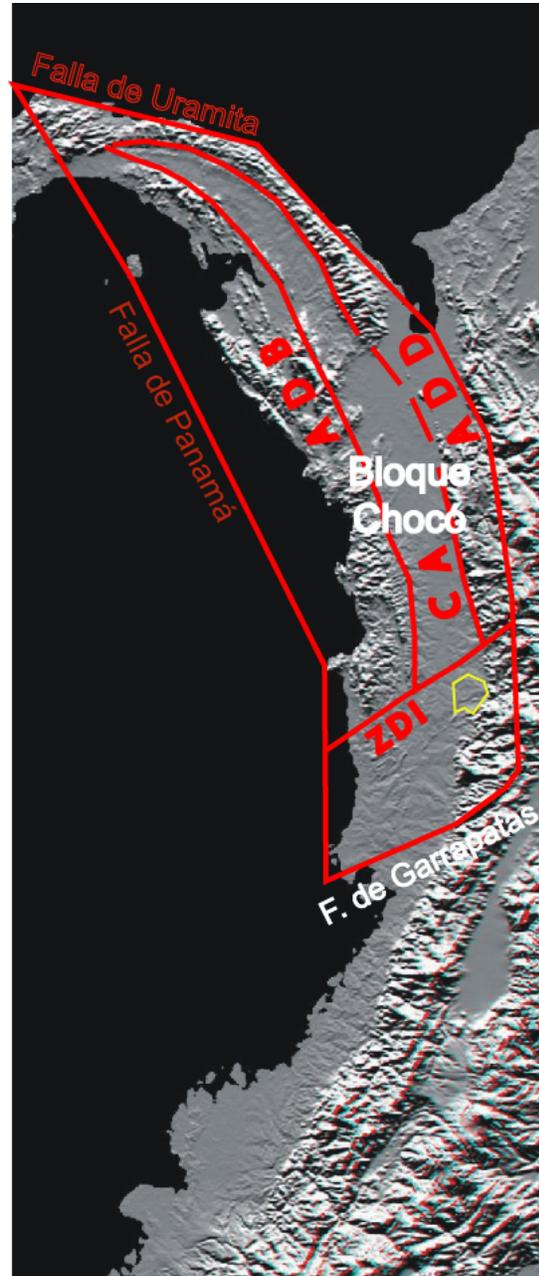


Figura 3. Elementos estructurales del Bloque Chocó

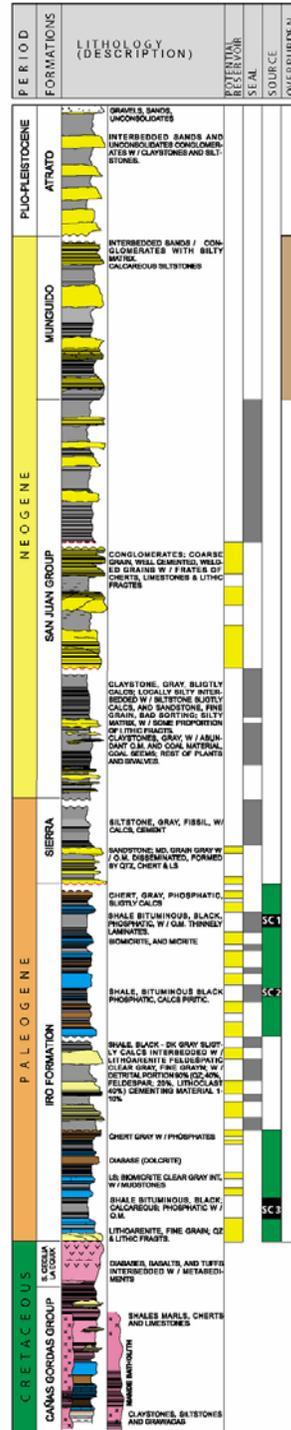


ESTRATIGRAFÍA Y RASGOS ESTRUCTURALES

En el área del Río San Juan aflora la sucesión del Terciario en contacto fallado hacia el costado occidental con las unidades de la Cordillera Occidental y cubierta discordantemente por las unidades del Cuaternario (Figura 4). El paleógeno está representado por la Formación Iró del Paleoceno-Eoceno y la formación Sierra del Oligoceno, el Neógeno está integrado por el Grupo San Juan del Mioceno Inferior y la Formación Munguidó del Mioceno Superior, cubierto discordantemente por la Formación Atrato del Plioceno-Pleistoceno (Figura 4).

En el área de estudio afloran la Formación Iró y las unidades del Grupo San Juan en contacto fallado. En el sector oriental se presentan cuerpos intrusivos y subvolcánicos asociados a la Formación Santa Cecilia–La Equis, la cual forma parte del Arco de Dabeiba (Duque, 1990). Los límites de la Formación Iró son siempre fallados, los contactos estratigráficos de la unidad, tanto el inferior como el superior no han sido ubicados en la zona de estudio (Texaco, 1989). La Formación Iró se encuentra reposando discordantemente sobre las unidades de la Cordillera Occidental (Grupo Dagua?) en la sección del Río Garrapatas al sur, fuera del área de estudio, cerca de los límites con el departamento del Valle (Texaco, 1989). El Límite superior ha sido ubicado en el Río Andágueda, al norte, fuera del área de estudio, cerca al municipio de Bagadó (Texaco, 1989).

La Formación Iró fue definida por Oppenheim (1949) en el río del mismo nombre, el autor no reporta un espesor determinado y describe la unidad como compuesta de cherts, lodolitas, arenitas y calizas (Texaco, 1990). Posteriormente Figueroa y Nuñez (1990) en un trabajo de grado para la Universidad Nacional, reportan un espesor de 2010 m con base en una columna levantada en la Quebrada El Colorado, ente Tadó e Istmina y describen la unidad como compuesta de calizas, cherts, lodolitas y arenitas. En un trabajo de grado más reciente para la Universidad Nacional, Mera y Piragua (2000) reportan un espesor mayor, de 4252 m. Este espesor está probablemente exagerado por la repetición de sección y plegamiento, aunque es muy difícil de identificarlos debido a la gran cantidad de cubierto presente en el área. Estos autores diferencian tres cuerpos de diferente edad y posición estratigráfica, denominados informalmente; Unidad Inferior de edad Maastrichtiano-Paleoceno, Unidad Media del Eoceno Medio y Unidad Superior del Eoceno Superior (Tabla 1).



Modified from Petrobras-Ecopetrol, 2002

Figura 4. Columna estratigráfica compuesta de la sucesión en el área del Río San Juan



Tabla 1. Síntesis de la nomenclatura estratigráfica empleada en el área del Río San Juan

EDAD			AREA DEL ATRATO	AREA DEL RIO SAN JUAN								
PERIODO	EPOCA	EDAD	HAFFER (1967)	OPPENHEIM (1949)	TEXACO (1989)	FIGUEROA Y NUÑEZ (1990)		NERA Y PIRAGUA (2000)	COSSIO (2002)			
T E R C I A R I O	Q	HOLOCENO			ALUVIONES Y TERRAZAS				ALUVIONES Y TERRAZAS			
		PLEISTOCENO							FORMACION RAPOSO	FORMACION MAYORQUIN		
	NEOGENO	PLIOCENO	L	FORMACION QUIBDO		FORMACION ATRATO						
			E				FORMACION MUNGUIDO				FORMACION NOVITA	
		MIOCENO	L			FORMACION MUNGUIDO						
			M	FORMACION SIERRA		HIATO						HIATO
	E		FORMACION NAPIPI									
			FORMACION UVA		FORMACION CONDOTO	FACIES SURUCO	FACIES CONDOTO	GRUPO SAN JUAN	FORMACION CONDOTO	Fm. Conglomerados de la Mojara	FORMACION CONDOTO	Fm. Conglomerados de la Mojara
	PALEOGENO	OLIGOCENO	L									
			E			HIATO			CONTACTO FALLADO			CONTACTO FALLADO
		EOCENO	L	FORMACION SALAQUI		FORMACION SIERRA				UNIDAD SUPERIOR		
			M	FORMACION CLAVO						UNIDAD MEDIA		
	E				FORMACION IRO		FORMACION TADO		HIATO		FORMACION TADO	
			HIATO									
PALEOCENO	L											
	E											
K	CRETACIO TARDIO	MAAS TRICH	FORMACION VALLESI	FORMACION IRO					UNIDAD INFERIOR		CONTACTO FALLADO	
					GRUPO DAGUA		CONTACTO FALLADO		?			

Síntesis de la nomenclatura estratigráfica empleada para la sucesión litológica aflorante en el área del Río San Juan; comparación con la nomenclatura propuesta por Haffer (1967) en el área del Río Atrato.



DUNIA CONSULTORES LTDA

La Unidad Inferior (Figura 5) tiene un espesor de 1052 m, su límite inferior es fallado con las unidades del Grupo San Juan y el superior discordante con la Unidad Media. Está compuesta en su mayor parte de calizas, cherts, lodolitas y arenitas. Algo característico de esta unidad es la presencia de cuerpos intrusivos tabulares concordantes con la estratificación (silos) de composición gabroide (Figura 5). La Unidad Media tiene un espesor de 717 m, el contacto inferior con la Unidad Inferior es discordante y el superior concordante con la Unidad Superior y está compuesta predominantemente de litoarenitas feldespáticas de grano medio y fino con subordinados paquetes de lodolitas y limolitas (Figura 6). El límite inferior y superior de la Unidad Superior es concordante y fallado con la Unidad Media y el Grupo San Juan respectivamente. Esta unidad está compuesta en su mayor parte de biomicritas wackestones y packstones de foraminíferos, cherts diagenéticos derivados de la silicificación de éstas últimas, con esporádicos paquetes de lodolitas y arenitas (Figura 7).

En el área de estudio se presentan dos estructuras de carácter regional, la Falla de San Juan que controla al río del mismo nombre y la Falla de La Mojarra (Figura 8). Las dos estructuras limitan tanto al noroccidente como al suroriente la Formación Iró con las unidades del Grupo San Juan (Figuroa y Nuñez, 1990). La Falla de San Juan ha sido interpretada por Figuroa y Nuñez (1990) como un cabalgamiento de tipo lístrico y la Falla de La Mojarra como un retrocabalgamiento de alto ángulo. Tanto la Formación Iró como el grupo San Juan, presentan internamente numerosas fallas y pliegues apretados con orientación N40°E. En el Río Iró donde fue definida la sección tipo de la Formación Iró por Oppenheim (1949) se presenta una faja de esta unidad también con límites fallados (Figura 8).

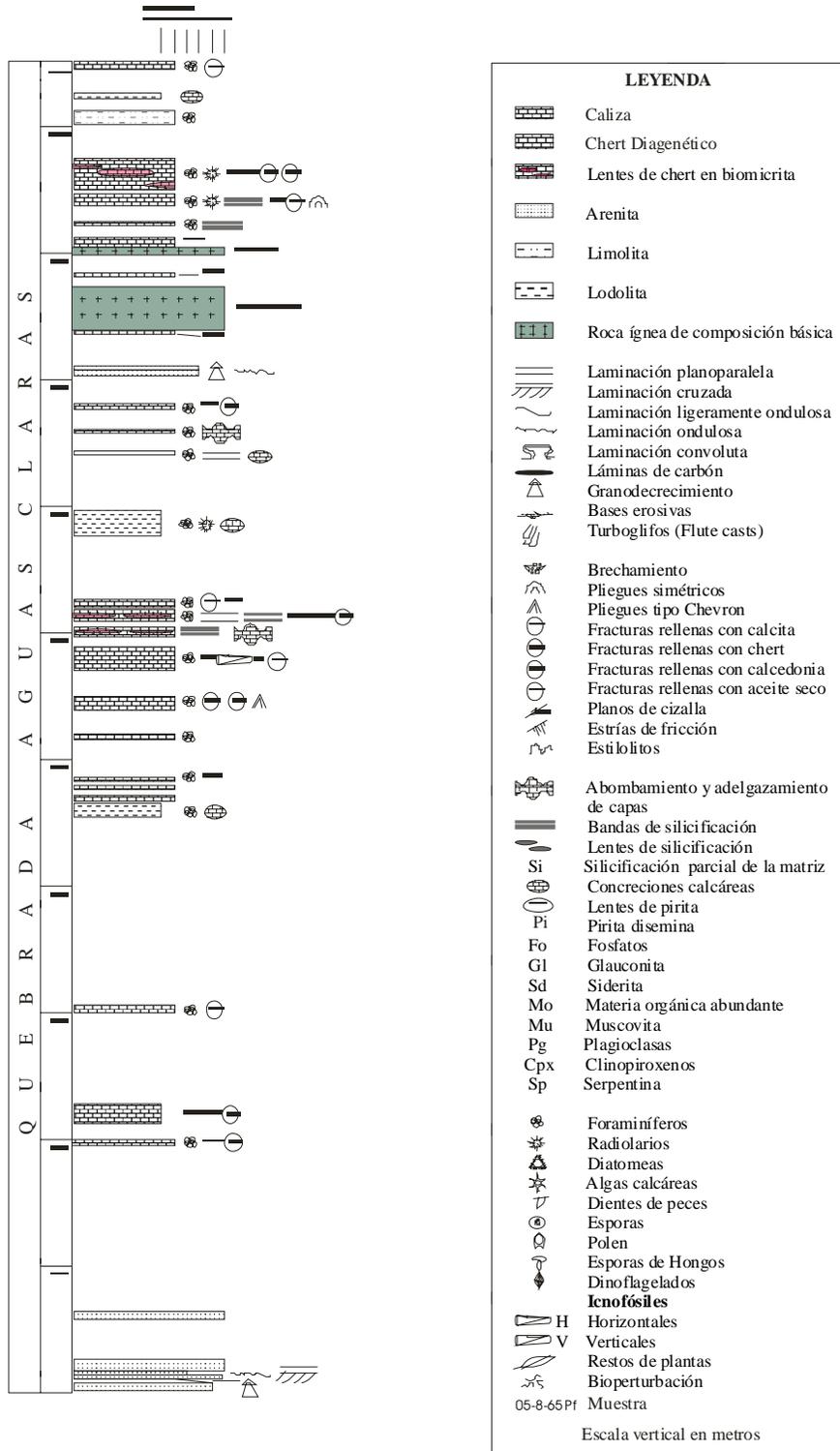


Figura 5. Columna estratigráfica de la Unidad Inferior. Tomada de Mera y Piragua (2000).

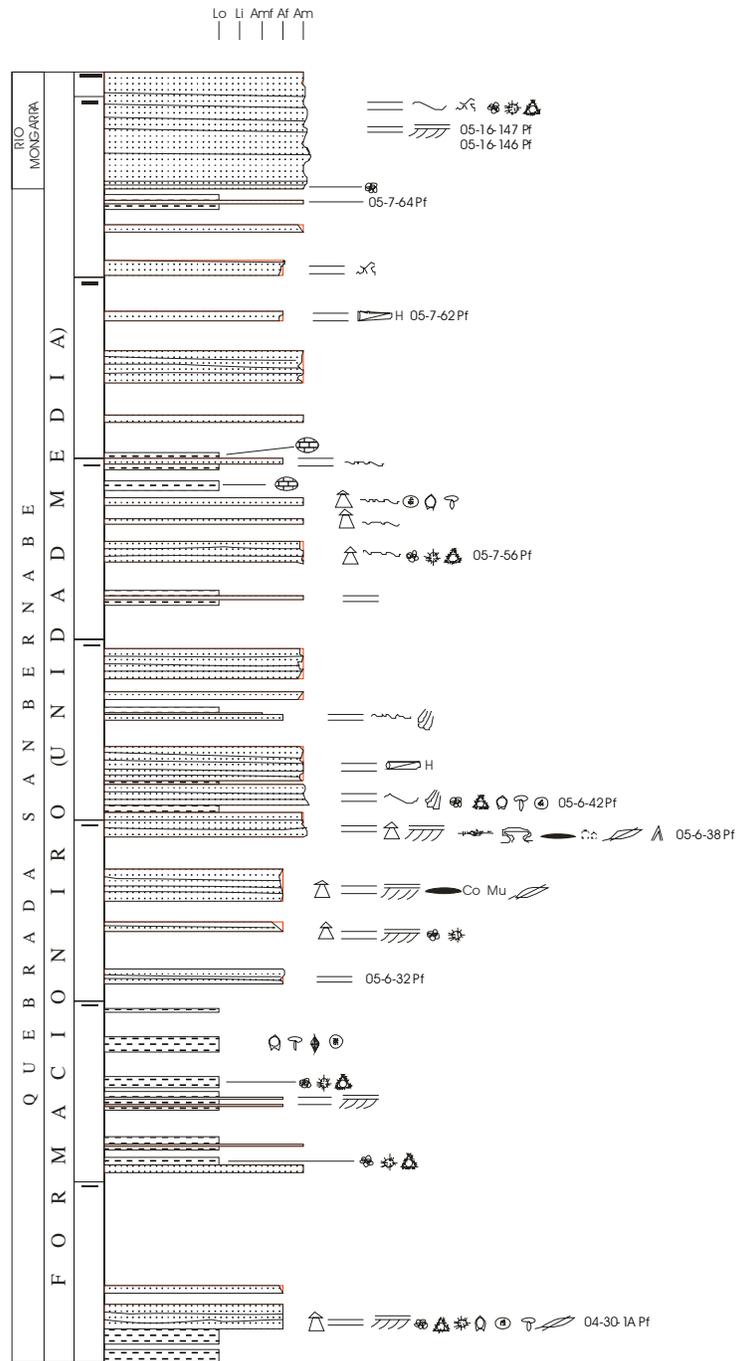


Figura 6. Columna estratigráfica de la Unidad Media. Tomada de Mera y Piragua (2000).



DUNIA CONSULTORES LTDA

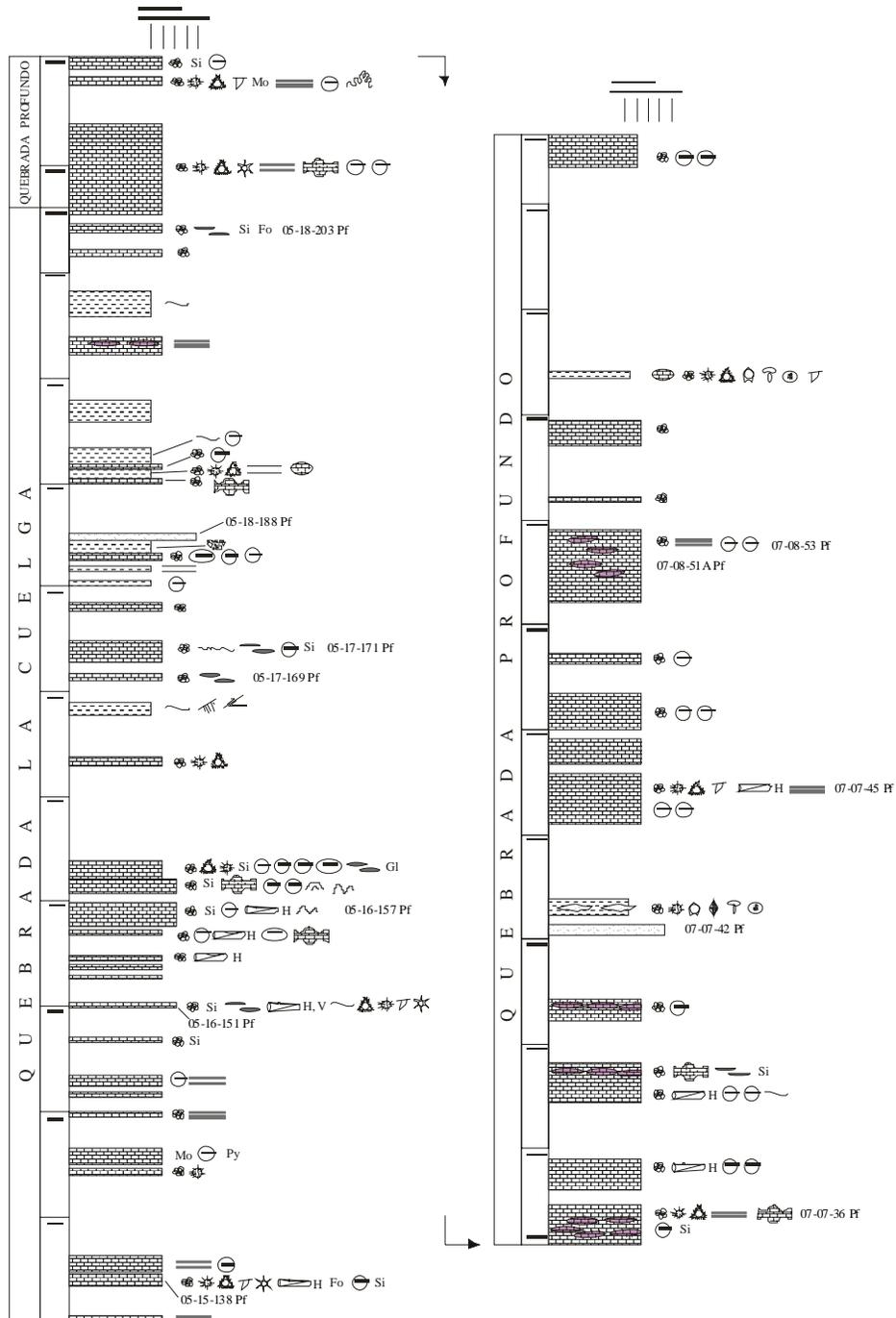


Figura 7. Columna estratigráfica de la Unidad Superior. Tomada de Mera y Piragua (2000).

**DUNIA CONSULTORES LTDA**

- IP:** Informes de pozo
RP: Registros de pozo
LS: Líneas sísmicas

La información consta de 22 informes técnicos, tres publicaciones oficiales, nueve artículos en diferentes publicaciones científicas, dos trabajos desarrollados en la actual área de estudio (sobre una de las unidades de interés en el proyecto), un informe y un registro de pozo de Urodó-1 y ocho líneas sísmicas de programas al norte y sur del área de estudio (Tabla 2, Anexo 1).

Tabla 2. Categorías de la Información

CATEGORÍA	No	%
A	9	19.6
IT	22	47.8
PO	3	6.5
TG	2	4.3
IP	1	2.2
RP	1	2.2
LS	8	17.4

En términos estadísticos se observa que el 47,8% de la información corresponde a informes técnicos y en segundo lugar los artículos en un 19,57% (Figura 9). Tres fueron las fuentes de información; el EPIS, la Universidad Nacional e Ingeominas (Tabla 3). El EPIS constituye la fuente con la mayor parte de información (69,57%), seguida por Ingeominas (23,91%) (Figura 10).

Tabla 3. Fuentes de Información

FUENTE	No	%
UN	11	23.9
EPIS	32	69.6
INGEOMINAS	3	6.5

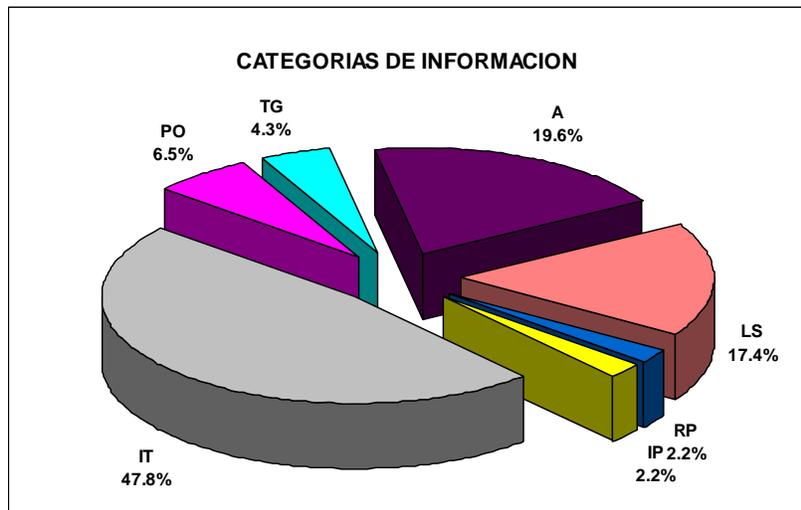


Figura 9. Gráfica con porcentajes de las categorías de información

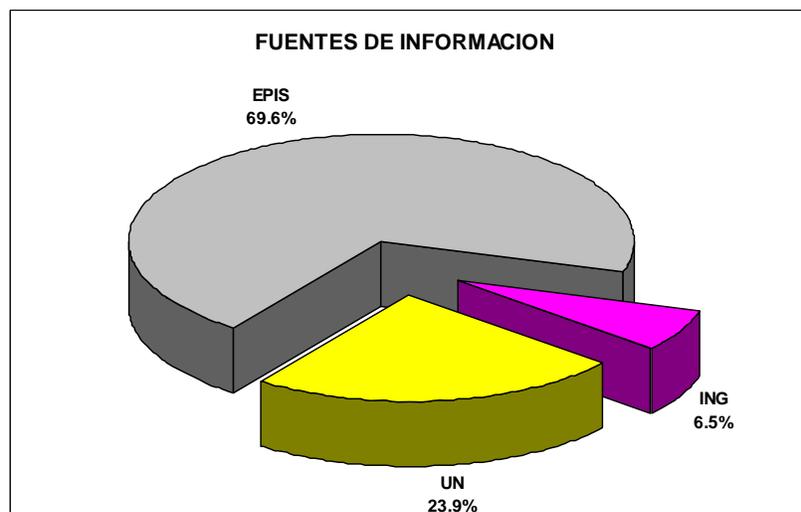


Figura 10. Gráfica con porcentajes de las fuentes de información

En cuanto a la temática tratada se presentan diversos temas (Tabla 4), dentro de los cuales la estratigrafía constituye el tópico más común, seguido por la tectónica. Estos dos temas tratados de forma simultánea, son los más frecuentes en los diferentes documentos, en este caso en 7 (Tabla 4). Se puede observar que temas tan importantes como la geología estructural (GE) son poco tratados, lo cual refleja también que pocos trabajos en esta área han sido desarrollados en la zona de estudio. Por lo general se han realizado trabajos en su gran mayoría de tectónica y estratigrafía también de carácter regional (Tabla 4).



Tabla 4. Temas tratados en los diferentes documentos

TEMA	No TRABAJOS	%
T-E	7	15.2
BE-S-GQ	1	2.2
CB	3	6.5
CB-EPH	1	2.2
C-E	3	6.5
C-E-Pt-BE-GQ-	1	2.2
E	2	4.3
E-BE	2	4.3
E-BE-PG-T	1	2.2
E-GE	1	2.2
EPH	4	8.7
EPH-E	1	2.2
T-E-GF	1	2.2
GE-BE	2	4.3
GF	2	4.3
GQ-EPH	1	2.2
IP	1	2.2
LS	8	17.4
BE-S	1	2.2
RP	1	2.2
T	2	4.3

Los trabajos regionales predominan sobre los locales (Tabla 5) con porcentajes de 58,7% y 41,3% respectivamente (Figura 11). Dentro de los trabajos locales cuatro fueron realizados en la actual zona de estudio; un informe técnico de Texaco (1989), dos trabajos de grado para la Universidad Nacional y una cartografía de Ingeominas (Anexo 1). La zona de estudio de los trabajos de grado está incluida en la actual zona de trabajo, la cartografía de Ingeominas cubre el costado occidental de ésta (plancha 203, Istmina) y el estudio de Texaco (1989) abarca una extensa área dentro de la cual está incluida la zona de estudio del presente proyecto.



Tabla 5. Carácter local/regional de los estudios en la zona

LOCAL	19	41.3
REGIONAL	27	58.7

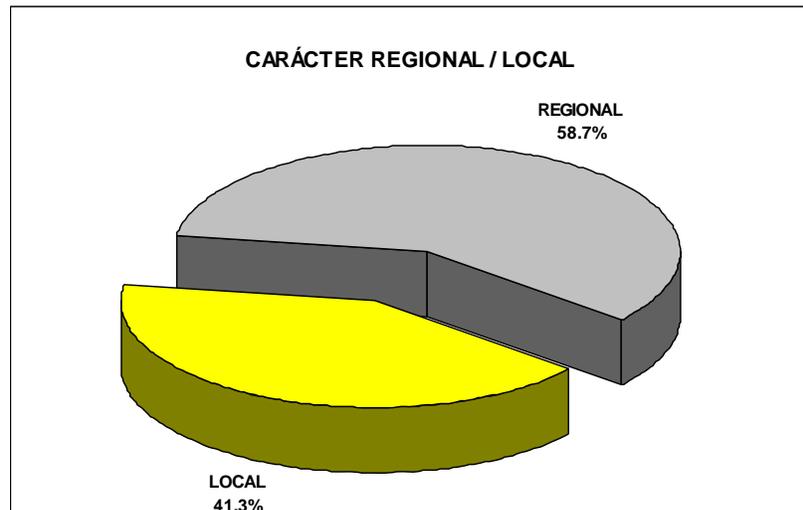


Figura 11. Gráfica con porcentajes del carácter regional/local de los trabajos

EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La valoración o estimación de la información se hizo con base en el grado de aporte al conocimiento geológico del sector. Se ha dividido el aporte en tres categorías: grado alto, grado moderado y grado bajo (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación grado de aporte al conocimiento geológico del sector

	No	%
ALTO	30	65.2
MODERADO	16	34.8
BAJO	0	0

No necesariamente los trabajos clásicos o los trabajos regionales son de grado bajo, sino que por el contrario estos han servido como punto de partida o como marco regional para trabajos más detallados. Se considera que ningún trabajo es de grado bajo, sino que todos se encuentran en el rango grado alto a medio, siendo los primeros (65,2%) predominantes sobre los segundos (34,8%).



Dentro de los trabajos de alto grado se destacan tres trabajos locales y un trabajo regional; los trabajos de grado de Figueroa y Nuñez (1990), Mera y Piragua (2000) y el informe de Texaco (1989), los tres de carácter local y el trabajo regional de Duque (1990b) (Anexo 1).

El trabajo de grado de Texaco (1989) constituye el primer estudio detallado de cartografía, estratigrafía y muestreo de las unidades del área del Río San Juan.

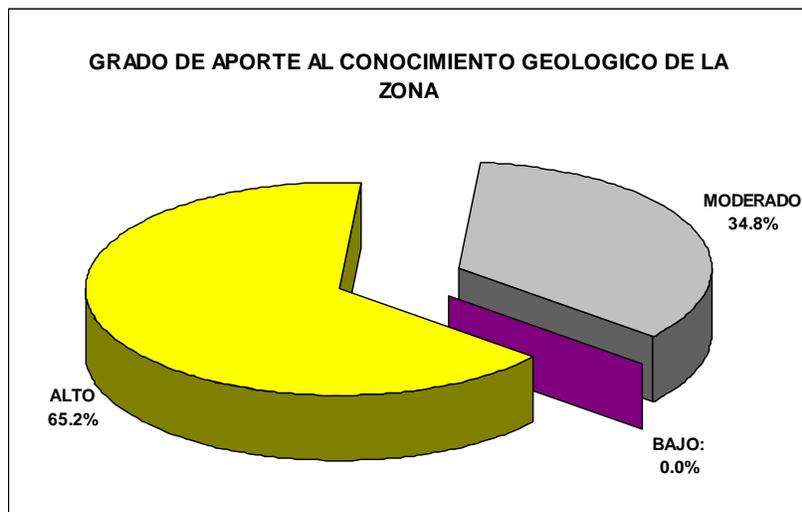


Figura 12. Gráfica con porcentajes del grado de aporte al conocimiento geológico

Figueroa y Nuñez (1990) hacen una revisión de modelos tectónicos regionales, litología detallada de unidades, ambientes de depósito, elementos estructurales y análisis petrográfico de 13 muestras.

El trabajo de Mera y Piragua (2000) constituye el primer acercamiento a una descripción estratigráfica detallada de la Formación Iró. Se obtiene nueva información a cerca de esta unidad. Se diferencian dentro de la unidad tres cuerpos de diferente edad y posición estratigráfica dentro de ésta, lo cual permite replantear la nomenclatura estratigráfica empleada hasta el momento para esta unidad.

El trabajo de Duque (1990b) muestra la estructura regional de esta área y los elementos estructurales que lo integran. Brinda un excelente marco regional en el cual puede ubicarse la zona de estudio dentro del elemento ubicado en la parte sur; la Zona Deformada de Istmina.

Se puede concluir que la mayoría de la información, un 65,2%, hace un gran aporte al conocimiento geológico del área (Figura 12).



CONCLUSIONES

Del análisis y evaluación de la información colectada en las diferentes fuentes se puede concluir lo siguiente.

- ✓ El 47,8% de la información técnica compilada se encuentra en informes técnicos.
- ✓ El EPIS constituye la fuente de mayor información técnica (69,6%), seguida por la Universidad Nacional (23,9%)
- ✓ Los principales temas tratados en los diferentes documentos están relacionados con la estratigrafía y tectónica (15,2%).
- ✓ Predominan los trabajos regionales (58,7%) sobre los de carácter local (41,3%).
- ✓ La mayoría de trabajos (65,2%) hacen un gran aporte al conocimiento geológico del sector.



ANEXO 1 LISTADO DE INFORMACIÓN COMPILADA

	AÑO	TITULO	AUTOR	C	PUBLICACION	REFERENCIA	FUENTE	COMENTARIO	T	C	GA	CONTENIDO GRAFICO
1	1988	Choco-Pacific Basin evaluation western Colombia	ARIAS O., CAMACHO J., & OTHERS. COMPAÑIA PETROLERA LATINA. INC.	IT			EPIS	Informe de evaluación de la información suministrada por Ecopetrol en ronda de licitación. Información geológica y geofísica. Bloques en los deptos de Chocó y Nariño-Cauca.	CB	R	M	CE: 2
2	1965	A Geological reconnaissance of the Pacific Coast Region	BOUMMAN Q. C. COLPET	IT			EPIS	Traversas geológicas en el Depto del Cauca. Ríos Naya, Micay, Saija y Napi-Guapi. Incluye reporte de Bioestratigrafía. Solo incluye rotulo de mapa geológico.	E-BE	R	M	SE: 1
3	1965	Geologic reconnaissance in the Central Chocó	BOUMMAN Q. C. COLPET	IT			EPIS	Reconocimiento geológico alrededor y al oeste de Quibdó. Sección estructural Río Baudó - Río Munguidó. Incluye reporte de Bioestratigrafía.	GE-BE	R	M	MG: 1 - SE: 1
4	1979	Potential For Exploration And Development Of Hydrocarbons In The Atrato Valley And The Pacific Coastal And Shelf Basins Of Colombia	BUENO S. R., GOVEA R. C. ECOPETROL	IT			EPIS	Documento que presenta una evaluación preliminar del potencial de hidrocarburos en un sector comprendido entre los departamentos de Cauca (al sur) y Chocó (al norte).	EPH	R	A	TNE: 1 - MG: 1
5	1971	Tectonic investigations in Western Colombia and Eastern Panama	CASE, J. y otros	A	Geological Society of America Bulletin	Vol. 82, No. 10, p. 2685-2712	UNIVERSIDAD NACIONAL	Aporta datos geológicos y geofísicos al área al occidente de Colombia. Esta información sirve como base para los trabajos posteriores de definición de terrenos y modelos de evolución geológica para el sector.	T-E-GF	R	A	MG: 1 - B: 7 - CE: 2 - TNE: 2
6	2002	Geología de la Plancha 203, Istmina. Departamento del Chocó. Escala 1:100000	COSSIO, U.	PO	Planchas geológicas INGEOMINAS (incluye memoria explicativa)		INGEOMINAS	Se cartografian algunas fallas de dirección NNW que desplazan las de orientación NE, no presentes en la cartografía previa. No se diferencian algunos cuerpos areníticos del Eoceno en cercanías a Tadó.	C-E	L	M	MG: 2 - CE: 5 - TNE: 1 - B: 1
7	1989	El Arco de Dabeiba: Nuevas aportaciones al conocimiento del Noroccidente de la Cordillera Occidental	DUQUE, H.	A	Memorias V Congreso Colombiano de	Tomo 1, p. 108-126	UNIVERSIDAD NACIONAL	Descripción del Flanco occidental de la Cordillera Occidental. Es el primer paso hacia la delimitación y descripción detallada del Bloque Chocó.	T	R	A	MG: 1 - TNE: 1
8	1990a	Neogene Stratigraphy, Paleogeography and Paleobiogeography in NW South America and Evolution of Panama Seaway. Palaeogeography, palaeoclimatology, and Palaeoecology.	DUQUE, H.	A	Elsevier Science Publishers B.V.	Vol 77, p. 203-234	UNIVERSIDAD NACIONAL	Es un estudio detallado de la estratigrafía del área del Atrato, plantea sustentado con mucha información, un modelo de evolución geológica regional (borde noroccidental de Sudamérica) desde el Oligoceno a Cuaternario.	E-BE-PG-T	R	A	CE: 3 - MG: 1 - CC: 8 (EPIS)



DUNIA CONSULTORES LTDA

	AÑO	TITULO	AUTOR	C	PUBLICACION	REFERENCIA	FUENTE	COMENTARIO	T	C	GA	CONTENIDO GRAFICO
9	1990b	The Choco Block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphic, and paleogeographic implications	DUQUE, H.	A	Journal of American Earth Sciences	Vol 3, No 1, p. 71-84	UNIVERSIDAD NACIONAL	Muestra la estructura regional de esta área y los elementos estructurales que lo integran. Brinda un excelente marco regional en el cual puede ubicarse la zona de estudio dentro del elemento ubicado en la parte sur, la Zona Deformada de Istmina	T-E	R	A	MG: 1
10	2002	Regional evaluation analysis central Pacific Project (onshore-offshore portion)	ESCOBAR, J. PETROBRAS	IT			EPIS	Evaluación estructural y estratigráfica, geoquímica de roca fuente y generación de hidrocarburos, sistema petrolífero, roca reservorio y geología del petróleo, para el área Chocó Central.	EPH	L	A	
11	2001	Western Colombia San Juan Basin. Pacific Central Project. Depositional model Iró Formation	ESCOBAR, J. PETROBRAS & ECOPETROL	IT			EPIS	Estudio en la subcuenca de San Juan, con evaluación estructural y estratigráfica, geoquímica de roca fuente, modelamiento de cuenca y generación de hidrocarburos, sistema petrolífero, roca reservorio, posibles prospectos y riesgo geológico del área.	EPH	L	A	MG: 4 - SE: 1 - CE: 6 - TG: 1
12	1986	Mapa de terrenos geológicos de Colombia.	ETAYO, F. y otros	PO	Publicaciones Geológicas Especiales del INGEOMINAS.	No 14: 235p	INGEOMINAS	Separa las cuencas de Atrato-San Juan-Tumaco en un solo terreno. No se tiene en cuenta la Falla de Garrapatas como límite en el Pacífico	T-E	R	M	MG: 8 - SE: 4 - TNE: 2
13	1990	Cartografía geológica de un área en las cabeceras del Río San Juan (Chocó).	FIGUEROA, Y. & NUÑEZ A.	TG	Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá	1.4 F475c 1990 Tesis No 258	UNIVERSIDAD NACIONAL	Trabajo de grado en geología con revisión de modelos tectónicos regionales, litología detallada de unidades, ambientes de depósito, elementos estructurales y análisis petrográfico de 13 muestras.	C-E	L	A	MG: 1 - CE: 5
14	1983	Informe Geologico - Area de Contrato de Asociacion De Asamera Inc. Cuenca Choco-Atrato.	FISCHBORN J., CARRILLO V. M. ASAMERA INC.	IT			EPIS	Geología de un bloque al Norte y Este de Quibdó, al norte del río Andagueda. Traversas y Columnas estratigráficas en los ríos: Pacurita, Ichó, Capá, Purré, Bebará, Tutunendo, Quebrada Panchá, Tanandó, Nauritá, Bebará, Atrato.	C-E	R	M	TNE: 1
15	1983	Area de contrato asociación Asamera Inc. Cuenca Chocó - Atrato	FISCHBORN J., CARRILLO V. M. ASAMERA INC.	IT			EPIS	Informe que reporta la existencia de rocas generadoras de hidrocarburo (shales cretácicos), como también rocas reservorio (fm Ciego y Napipi), con posibles prospectos para el área.	EPH	R	M	
16	1980	Un arco de islas Terciario en el occidente Colombiano.	GALVIS, J	A	Geología Colombiana	No. 11, p. 7-43	UNIVERSIDAD NACIONAL	Integra información de diferentes autores con descripción petrográfica detallada de rocas ígneas y sedimentarias. Emplea esta información con el fin de aportar evidencias de eventos tectónicos en un arco de islas.	T-E	R	M	MG: 1 - SE: 3 - TNE: 1
17	2001	Evaluación y modelamiento geoquímico de la Formación Iró - Subcuenca San Juan (Chocó)	GARCÍA D. F., HERNÁNDEZ C. M., & OTROS. ICP, ECOPETROL.	IT			EPIS	Evaluación geoquímica del potencial generador, estado de madurez térmico de la Formación Iró. Evaluación, con base en modelamiento, de los procesos de expulsión de hidrocarburos en la subcuenca San Juan.	GQ-EPH	L	A	MG: 1 - SE: 1 - TNE: 1



	AÑO	TITULO	AUTOR	C	PUBLICACIÓN	REFERENCIA	FUENTE	COMENTARIO	T	C	GA	CONTENIDO GRAFICO
18	1967	On the geology of the Urabá and northern Chocó regions	HAFFER, J.	IT			EPIS	Regional geological summary of the Urabá-Chocó regions. Detailed description of traverses made by Mr. Haffen. Micropaleontología.	E-BE	R	A	
19	1988	The biostratigraphy, palaeoenvironments and petroleum geochemistry of the Buchadó-1, Tambora-1 and Sandi-1 wells, Pacific coastal region of Colombia, submitted by Ecopetrol and compared with the previously studied Remolino Grande-1 and Majagua-1 wells.	HUGHES G.W., MARSHALL P.R. & OTHERS. ROBERTSON GROUP.	IT			EPIS	Biostratigraphic, palaeoenvironmental and petroleum geochemical analyses on a number of samples from the Buchadó-1, Tambora-1 and Sandi-1 wells. Results comparison with data of Remolino Grande-1 and Majagua-1 wells.	BE-S-GQ	R	A	MG: 1 - TNE: 3
20	1971	La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia	IRVING, E.	PO	Boletín Geológico INGEOMINAS	Vol. XIX, No. 2	INGEOMINAS	Informe con abundante información de geología histórica, estratigrafía, geología estructural y sedimentología de todas las cuencas sedimentarias de Colombia y episodios orogénicos asociados.	T-E	R	A	MG: 1
21	2000	Correlación estratigráfica de las rocas del intervalo Paleoceno - Oligoceno, Subcuenca de San Juan (Chocó)	MERA, M. & PIRAGUA, A.	TG	Trabajo de grado, Universidad Nacional	Tesis No.	UNIVERSIDAD NACIONAL	Constituye el primer acercamiento a una descripción estratigráfica detallada de la Formación Iró. Se obtiene nueva información a cerca de esta unidad	E	L	A	MG: 1 - B: 6
22	2001	Sección estratigráfica de la Quebrada Suruco: análisis estructural de fracturas. Area del Río San Juan, Chocó	MERA, M. & PIRAGUA, A. ATG PARA PETROBRAS	IT		ARCHIVO 3927569 (EPIS) CODIGO ALM IT0010417	EPIS	Aporta nueva información acerca del patrón de fracturamiento de las unidades potencialmente almacenadoras en el área. Presenta una descripción de las rocas del Oligoceno en esta sección.	E-GE	L	A	SIN CONTENIDO GRAFICO
23	1963	Regional Geology and Oil Possibilities in the Uraba Gulf Area and the Pacific Geosyncline of Western Colombia	MORALES L. TENNESSE OVERSEAS COMPANY	IT			EPIS	Reconocimiento regional. Incluye sección estructural con pozo Turbo 1, un pozo no determinado y localización aproximada de pozo Chigorodó 1.	EPH-E	R	M	MG: 1 - CE: 1
24	2000	Potencial generador del Páficico Colombiano - Cuencas San Juan. Biocronología y Paleambientes	MUÑOZ F.; COGOLLO M. L. ICP-ECOPETROL	IT			EPIS	Estudio micropaleontológico con foraminíferos para determinar ambientes de sedimentación y posición cronológica de rocas en la Cuenca San Juan, Departamento del Chocó. Pozos: Remolino Grande 1, Sandi 1, Urodó 1, Pacurita 1, Necora 1, Buchadó 1.	BE-S	R	A	ML: 1 - CE: 1 - SE: 2 - MG: 1 (evolución) - B: 1
25	1950	Bolivar geosynclinal in northwestern South America.	NYGREN, W.	A	Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists	Vol. 34, No. 10, p. 1998-2006	UNIVERSIDAD NACIONAL	Se basa en el concepto antiguo del Geosinclinal pero es considerado un trabajo clásico sobre la evolución geológica de la costa pacífica	T-E	R	M	ML: 1 - CE: 1



DUNIA CONSULTORES LTDA

	AÑO	TITULO	AUTOR	C	PUBLICACIÓN	REFERENCIA	FUENTE	COMENTARIO	T	C	GA	CONTENIDO GRAFICO
26	1996	Informe técnico anual 1995. Contrato de asociación Chocó Central.	PEÑA F, J- H. REPSOL EXPLORACION COLOMBIA S.A	IT			EPIS	Reporte de actividades en el año 1 del contrato de asociación Chocó Central. Reinterpretación de 700 km de líneas sísmicas. En las líneas SJ-81-1400, SJ-81-1200 y TB-91-1130 se identificaron algunas progradaciones al nivel Eoceno-Paleoceno. No contiene anexos ni mapa de localización.	GF	R	M	ML: 1
27	1996	Informe técnico anual 1995. Contrato de Asociación Chocó Central	PEÑA F, J- H. REPSOL EXPLORACION COLOMBIA S.A	IT			EPIS	Reporte de actividades en el año 1995 del contrato de asociación Chocó Central, con descripción de estratigrafía, estructural y sísmica para unidades Terciarias y detalle de presupuesto invertido .	EPH	R	M	
28	1980	Evolución geológica de la cuenca Pacífica (Geosinclinal Bolívar), sector noroccidental de Suramérica.	PEREZ, G.	A	Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander.	Vol. 14, No 28 p. 25-44	UNIVERSIDAD NACIONAL	Estudio tectosedimentario regional que integra información geofísica, de pozo y bibliografía de diversos autores con estratigrafía y modelos estructurales regionales.	T	R	M	CE: 1 SE: 1
29	1996	Informe final geología y geofísica contrato de asociación Chocó Central	REPSOL EXPLORACION COLOMBIA S.A	IT			EPIS	Reporte de actividades en el año 1996 del contrato de asociación Chocó Central. En las líneas SJ-81-1400, SJ-81-1200 y TB-91-1130 se identificaron algunas progradaciones al nivel Eoceno-Paleoceno.	GF	R	A	MAPAS (VARIOS); 5 - MODELO EVOLUCION: 1 - CE: 18 - CORRELACIONE S: 2 - SE: 1.
30	1988	Terranes and continental acretion in the Colombian Andes	RESTREPO, J.& TOUSSAINT, J	A	Episodes	Vol. 11, No. 3, p. 189-193	UNIVERSIDAD NACIONAL	Proponen el Terreno Panamá-Baudó-Mandé. A diferencia de anteriores trabajos se incluye aquí parte de la cordillera Occidental	T-E	R	A	ML: 1 - MG: 1 - SE: 4 - CE: 1
31	1954	Buchadó 1 final report - part 1	RICHMOND PETROLEUM COMPANY OF COLOMBIA	IP			EPIS	Reporte final de perforación de Pozo Buchadó-1.	IP	L	A	CE: 16 - MG: 1
32	1985	Stratigraphic Summary . Buchadó-1	ROBERTSON RESEARCH	IT			EPIS	Registro gráfico compuesto Pozo Buchadó-1.	RP	L	A	0
33	1934	Historical geology of the Antillean Caribbean Region	SCHUCHERT, CH.	A	John Wiley & Sons, Inc.	811 p	UNIVERSIDAD NACIONAL	Aunque esta teoría y el ciclo de sedimentación están totalmente reevaluados, constituye este un trabajo clásico.	T-E	R	M	0
34	1998	Oportunidades para la exploración de hidrocarburos en cuencas inactivas - San Juan, Atrato y Pacífico	SOLANO, A. SUAREZ, M. ECOPETROL	IT			EPIS	Capítulo con compilación de información con tectónica, geología estructural, estratigrafía, geología del petróleo y prospectividad de la cuenca.	CB	R	A	



DUNIA CONSULTORES LTDA

	AÑO	TITULO	AUTOR	C	PUBLICACION	REFERENCIA	FUENTE	COMENTARIO	T	C	GA	CONTENIDO GRAFICO
35		Registro gráfico compuesto Pozo Urod6-1	THE SUPERIOR OIL COMPANY OF COLOMBIA	RP			EPIS	Incluye columna litológica, curvas SP, resistividad y conductividad eléctrica				
36	1990	Estado actual del conocimiento geológico de la Provincia del Pacífico	SUAREZ, M. ECOPEPETROL	IT			EPIS	Estudio dirigido a la evaluación del conocimiento geológico regional del en el área. Pacífico Colombiano y su problemática con base en información obtenida de trabajos desarrollados años atrás por diferentes autores y compañías. Se organiza un inventario de informes técnicos, programas sísmicos e información de pozos.	CB	R	M	CE: 1
37	1990	Estudio Geológico regional e interpretación sísmica estratigráfica en la Provincia Sedimentaria de la Costa Pacífica	SUAREZ, M. ECOPEPETROL	IT			EPIS	Informe Regional que compila información sobre cuencas sedimentarias de la costa pacífica: pozos exploratorios, levantamientos aeromagnéticos, sísmica marina y terrestre (cerca de 2000 km) y geología de campo. Geoquímica y bioestratigrafía de núcleos de pozos: Necoclí 1, Apartadó 1, Turbo 1, Chigorodó 1, Uraba 1. Incluye reporte de pozo Piragua 1 en el depto de Sucre.	CB-EPH	R	A	ML: 3 - MG: 1 - CE: 3
38	1989	Informe Geológico. Area de Asociación Istmina.	TEXAS PETROLEUM COMPANY	IT			EPIS	Reconocimiento geológico en el área de influencia de los municipios de Tadó, Condoto e Istmina. Cartografía geológica, levantamiento de columnas y muestreo. Análisis de petrofísica, petrografía, bioestratigrafía, geoquímica y reproceso de líneas sísmicas del Programa San Juan 81. Es el primer estudio detallado de cartografía, estratigrafía y muestreo de las unidades del área del Río San Juan.	C-E-Pt-BE-GQ-GF	L	A	MG: 2
39	1981	Línea SJ-1500-81, Programa San Juan-81		LS			EPIS	MIGRADA, ESTACADA, NAVEGACION, ENCABEZADO-EPIS	LS	L	A	
40	1981	Línea SJ-2400-81, Programa San Juan-81		LS			EPIS	MIGRADA, ESTACADA, NAVEGACION, ENCABEZADO-EPIS	LS	L	A	
41	1981	Línea SJ-2600-81, Programa San Juan-81		LS			EPIS	MIGRADA, ESTACADA, NAVEGACION, ENCABEZADO-EPIS	LS	L	A	
42	1982	Línea QA-1982-22, Programa Río Atrato-82		LS			EPIS	ESTACADA, NAVEGACION, ENCABEZADO-EPIS	LS	L	A	
43	1982	Línea QA-1982-01A, Programa Río Atrato-82		LS			EPIS	ESTACADA, NAVEGACION, ENCABEZADO-EPIS	LS	L	A	
44	1972	Línea L-1972-f, Programa Urod6-72		LS			EPIS	ESTACADA, NAVEGACION, ENCABEZADO-EPIS	LS	L	A	
45	1972	Línea L-1972-D, programa Urod6-72		LS			EPIS	MIGRADA, ESTACADA, NAVEGACION, ENCABEZADO-EPIS	LS	L	A	
46	1972	Línea L-1972-b, programa Urod6-72		LS			EPIS	MIGRADA, ESTACADA, NAVEGACION, ENCABEZADO-EPIS	LS	L	A	

T Tema
C Clasificación (Regional/local)
MG MAPA GEOLOGICO, MAPAS DE TOPES, MAPAS GEOFISICOS
CE COLUMNA ESTRATIGRAFICA



DUNIA CONSULTORES LTDA

	AÑO	TITULO	AUTOR	C	PUBLICACION	REFERENCIA	FUENTE	COMENTARIO	T	C	GA	CONTENIDO GRAFICO
	GA	Grado de aporte al conocimiento		SE	SECCION ESTRUCTURAL							
	A	ARTICULOS		TNE	TABLA DE NOMENCLATURA ESTRATIGRAFICA							
	IT	INFOMES TECNICOS		B	BIOESTRATIGRAFIA							
	PO	PUBLICACIONES OFICIALES		ML	MAPA DE LOCALIZACION							
				CC	CARTERAS DE CAMPO							