

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y DE PROVENIENCIA EN LOS
CONGLOMERADOS DEL GRUPO CHORRO, SINCLINAL DE NUEVO MUNDO,
CUENCA VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

AURA MARÍA MEJÍA MÁRQUEZ
DAREN JOAN RODRÍGUEZ CÁCERES

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

2011

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y DE PROVENIENCIA EN LOS
CONGLOMERADOS DEL GRUPO CHORRO, SINCLINAL DE NUEVO MUNDO,
CUENCA VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

AURA MARÍA MEJÍA MÁRQUEZ
DAREN JOAN RODRÍGUEZ CÁCERES

Trabajo de grado presentado como requisito
para optar el título de Geólogo.

Director

Geólogo Pedro David Gómez Gutiérrez

Co-Director

Msc. Jorge Luis Rubiano Ortiz

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

2011

DEDICATORIA

A mis padres Yolanda Cáceres Carvajal y Gregorio Rodríguez Rojas que con su esfuerzo y dedicación hicieron posible culminar mi carrera...

A la memoria de mi abuelo José Cáceres que con sus lecciones de vida me enseñó a ser mejor persona...

A mi tía Carmen Cáceres que siempre me apoyo y estuvo pendiente mi grado...

A mi familia que me colaboró durante toda mi carrera...

A mis grandes amigos Oswaldo Mendoza y Aldemar Gómez por ser mi escudo en tiempos difíciles y brindarme una amistad verdadera...

Y a esa energía que lo domina todo y hace que las cosas sucedan...

“Toda verdad pasa por tres etapas. Primero, es ridiculizada. Segundo, es violentamente rechazada. Tercero, es aceptada como evidente”.

Arthur Schopenhauer (1788 – 1860)

“El reino de Dios está dentro de ti y a tu alrededor.

No en edificios de piedra y de madera. Corta un trozo de madera y allí estoy, levanta una piedra y ahí me encontrarás”

Jesús En el evangelio de Tomás.

"Bienaventurado el que busca aunque muera creyendo que jamás encontró. Y dichoso aquél que a fuerza de buscar, encuentre. Cuando encuentre, se turbará. Y habiéndose turbado, se maravillará, y reinará sobre todo"

Jesús en el Caballo de Troya J.J. Benítez.

Daren Joan

A mi Señor, por ti y para ti, porque me sostuviste con tu mano poderosa en cada instante de mi carrera mil gracias!

A mis padres Víctor Manuel y María Clotilde; gracias mamita por tu esfuerzo, por tu paciencia por estar siempre pendiente de mi, gracias por tu gran amor...

A mis hermanos Alvaro, Danny y Yolanda, especialmente a mi hermana Gladys que con su paciencia, enseñanzas, consejos y apoyo fue una segunda mamá para mí.

A Martucha y Alberto por sus consejos, apoyo y compañía durante toda mi carrera.

Aura María

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

- La Universidad Industrial de Santander
- La Escuela de Geología
- Al Grupo de Investigación en Estratigrafía, Convenio UIS-ICP
- Sus Directores: Juan Diego Colegial, Nelson Sánchez.
- Los Directores del Proyecto: Pedro David Gómez, Jorge Luis Rubiano.
- Los Profesores: Jairo Clavijo, Victor Caballero, Ricardo Mier, Dario Barrero.
- Clara Inés Torres
- Juan Carlos Ramírez
- Nestor Moreno y Jorge Arley
- Al Conductor: Daniel Vesga

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 36 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 40 |
| 2. JUSTIFICACIÓN..... | 41 |
| 3. OBJETIVOS | 42 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 42 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 42 |
| 4. MARCO DE REFERENCIA | 43 |
| 4.1 MARCO TEÓRICO TEXTURA Y COMPOSICIÓN DE CLASTOS..... | 43 |
| 4.1.1 Transporte de Sedimentos..... | 43 |
| 4.1.2 Tipos de Flujo | 44 |
| 4.1.2.1 Flujos en Masa a Flujos Acuosos..... | 46 |
| 4.1.3 Análisis Textural..... | 52 |
| 4.1.4 Conglomerados..... | 61 |
| 4.2 MARCO TEORICO DE PALEOCORRIENTES | 67 |
| 4.2.1 Metodología de DeCelles..... | 68 |
| 4.3 MARCO TEORICO DE PROVENIENCIA | 72 |
| 4.3.1 Diagramas Ternarios de Composición | 74 |
| 4.3.2 Teoría del Conteo de Clastos | 75 |
| 4.3.2.1 Formula CE (Error de Conteo) | 76 |
| 4.3.2.2 Probable Error del Conteo de Clastos..... | 77 |
| 4.3.2.3 Procedimiento de Campo..... | 79 |
| 4.4 MARCO TEÓRICO DE AMBIENTES Y FACIES | 82 |
| 4.4.1 SISTEMAS FLUVIALES..... | 82 |
| 4.4.1.1 Sistemas de Ríos Trenzados | 84 |
| 4.4.2 Litofacies y Elementos Arquitecturales | 90 |
| 4.4.2.1 Litofacies..... | 90 |
| 4.4.2.2 Arquitectura Fluvial | 90 |
| 4.4.3 Procesos Depositacionales en Ríos Gravosos | 95 |

| | |
|--|-----|
| 4.4.3.1 Corrientes de Tracción, Flujos Fluidos..... | 96 |
| 4.4.3.2 Flujo de Sedimentos por Gravedad o Gravitacionales | 102 |
| Depósitos de Flujos de Detritos Matriz Soportados: Una clase importante de conglomerados matriz-soportados y brechas son los depositados por flujos de detritos. Los flujos de detritos se han observado en ambientes continentales y se deduce que han operado en ambientes submarinos. El término incluye los flujos de lodo, que consisten principalmente de arena y sedimento más finos y sus depósitos de materiales deslizados por gravedad, lodolitas guijarrosas o bloques de lodolitas, dependiendo del tamaño de los clastos y sus dimensiones. Middleton y Hampton, 1973 utilizan el término "para referirse al movimiento lento pendiente abajo de mezclas de sólidos granulares (por ejemplo, los granos de arena, bloques), minerales de arcilla y agua en respuesta a la atracción de la gravedad". | |
| A continuación algunos rasgos característicos de los flujos de detritos:..... | 104 |
| 5. ANTECEDENTES..... | 107 |
| 6. MARCO GEOLÓGICO..... | 112 |
| 6.1 MARCO ESTRATIGRÁFICO | 112 |
| 6.2 MARCO ESTUCTURAL..... | 118 |
| 6.2.1 Algunos Rasgos Estructurales De La Zona | 118 |
| 7. METODOLOGÍA | 122 |
| 7.1 FASE 1 | 123 |
| 7.2 FASE 2 | 123 |
| 7.3 FASE 3 | 125 |
| 8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 126 |
| 8.1 DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS DEL GRUPO CHORRO EN EL FLANCO E DEL SINCLINAL DE NUEVO MUNDO | 126 |
| 8.1.1 RÍO SUCIO | 127 |
| 8.1.2 VÍA BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA | 131 |
| 8.1.3 ESTACIÓN ALTAMIRA..... | 135 |
| 8.1.4 ESMERALDAS 1 | 139 |
| 8.1.5 ESMERALDAS 2 | 143 |

| | |
|--|-----|
| 8.2 DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS DEL GRUPO CHORRO EN EL FLANCO W DEL SINCLINAL DE NUEVO MUNDO | 147 |
| 8.2.1 ESTACIÓN EXTREMO SUR | 147 |
| 8.2.2 ESTACIÓN TIENDA LA AURORA..... | 151 |
| 8.2.3 ESTACIÓN CERRO LA AURORA (CASCADA) | 155 |
| 8.2.4 ESTACIÓN POZO LN-2P | 159 |
| 8.2.5 ESTACIÓN VÍA LA FORTUNA – FINCA AGUAS CALIENTES | 163 |
| 8.3 DESCRIPCIÓN DE FACIES EN LAS LITOLOGÍAS DE INTERÉS EN EL GRUPO CHORRO SNM..... | 171 |
| 8.3.1 Facies de Conglomerados en el Grupo Chorro, Sinclinal de Nuevo Mundo | 171 |
| 8.3.1.1 Conglomerado Masivo Matriz Soportado (Gmm)..... | 171 |
| 8.3.1.2 Conglomerado Matriz Soportado (Gmg) | 173 |
| 8.3.1.3 Conglomerado Masivo Clasto Soportado (Gcm)..... | 174 |
| 8.3.1.4 Conglomerado Clasto Soportado con Estratificación Horizontal (Gh)..... | 175 |
| La litofacies Gh se encuentra en la mayoría de los afloramientos estudiados en la Formación La Paz. Esta litofacies la constituyen capas delgadas desde 7 y 10 cm a capas medias y gruesas desde 15 cm a 0.60 m de espesor, compuesta de conglomerado clasto soportado con estratificación horizontal. El diámetro de los clastos esta en un rango de 0.3 a 6 cm de gránulos a guijarros muy gruesos. La composición de los clastos es principalmente cuarzo, chert gris, amarillo, negro, cuarcita y en menor abundancia arenisca, en una matriz de arenisca de grano fino a grueso subredondeada. Los clastos son subredondeados a redondeados, moderadamente a bien seleccionados, presentan imbricación y gradación normal. La geometría de los estratos es tabular y subtabular (Figuras 105, 106, 107, 108 y 109). | 175 |
| 8.3.1.5 Conglomerado Clasto Soportado con Estratificación Cruzada Planar (Gp) ... | 178 |
| 8.3.2 Facies de Areniscas en el Grupo Chorro, Sinclinal de Nuevo Mundo..... | 181 |
| 8.3.2.1 Areniscas con Estratificación Cruzada en Artesa (St)..... | 181 |

| | |
|---|-----|
| 8.3.2.2 Areniscas con Estratificación Horizontal (Sh) | 182 |
| 8.3.2.3 Areniscas con Estratificación Cruzada Planar (Sp)..... | 183 |
| 8.3.2.4 Arenisca Masiva (Sm) | 185 |
| Interpretación: La falta de estructuras sedimentarias en la litofacies Sm indica que pudo haber sido depositada por flujos gravitacionales de sedimentos o por rápida depositación durante el descenso de las condiciones del flujo. Esta litofacies podría también resultar de la modificación post-depositacional, tales como escape de agua o bioturbación (Miall, 1996 en Finzel y McCarthy, 2005). | 185 |
| La presencia de fragmentos de carbón y troncos pudo haber sido influenciada por detritos de canales y crevasse splays durante inundaciones de ambientes de desbordamiento que diluyen el contenido orgánico y conducen a la formación de shales carbonosos en lugar de carbones verdaderos (McCabe, 1984 en Miall, 1996). | 185 |
| 8.3.3 Facies Finas en el Grupo Chorro, Sinclinal de Nuevo Mundo..... | 187 |
| 8.3.3.1 Lodolita Masiva (Fsm)..... | 187 |
| 8.3.3.2 Lodolita Masiva con Raíces (Fr) | 188 |
| 8.3.4 Distribución de Facies en el SNM..... | 191 |
| 8.3.5 Elementos Arquitecturales | 198 |
| 8.4 ASOCIACIONES (A) DE FACIES EN EL GRUPO CHORRO SNM..... | 200 |
| 8.5 SUCESIONES DE FACIES Y AMBIENTE DEPOSITACIONAL..... | 205 |
| 8.6 DISTRIBUCIÓN DE PALEOCORRIENTES..... | 212 |
| 8.7 ESTRATIGRAFÍA DE AREAS FUENTE | 216 |
| 8.8 MODELAMIENTO DE PROVENIENCIA..... | 218 |
| 8.8.1 DIAGRAMAS COMPOSICIÓN DE CONGLOMERADOS | 223 |
| 8.9 CORRELACION DE CONGLOMERADOS MEDIANTE INTEGRACION DE RESULTADOS..... | 229 |
| 8.9.1 Tamaño de Clastos..... | 229 |
| 8.9.2 Formas de los Clastos | 231 |
| 8.9.3 Composición de los Clastos..... | 233 |
| 8.9.4 Mapas de Tendencias..... | 236 |

| | |
|-----------------------|-----|
| CONCLUSIONES | 248 |
| RECOMENDACIONES | 251 |
| BIBLIOGRAFIA. | 252 |
| ANEXOS | 258 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Clasificación de conglomerados según la cantidad de clastos ultraestables y tipo de fábrica. (Tomado de Boggs, 2006)..... | 67 |
| Tabla 2. Tabla de valores en porcentaje para 5 localidades donde se aplican las formulas de error de conteo, error de muestreo y error total. (Tomado de Howard, 1993). 78 | |
| Tabla 3. Clasificación de facies. (Miall, 1996)..... | 89 |
| Tabla 4. Conglomerados basales de la Formación La Paz propuestos por Caballero, 2010..... | 124 |
| Tabla 5. Afloramientos donde se realizó el levantamiento estratigráfico a niveles conglomeráticos y areniscas conglomeráticas de las Formaciones La Paz y Esmeraldas (Grupo Chorro) en el Sinclinal de Nuevo Mundo (Figura 3)..... | 126 |
| Tabla 6. Composición de clastos del afloramiento Río Sucio, donde se realizaron 4 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo..... | 131 |
| Tabla 7. Composición de clastos del afloramiento Vía B/ga-B/bermeja, donde se realizaron 4 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo. | 135 |
| Tabla 8. Composición de clastos del afloramiento Altamira, donde se realizaron 2 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo..... | 139 |
| Tabla 9. Composición de clastos del afloramiento Esmeraldas 1, donde se realizó sólo un conteo. CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo..... | 143 |
| Tabla 10. Composición de clastos del afloramiento Esmeraldas 2, donde se realizaron 2 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo. | 147 |
| Tabla 11. Composición de clastos del afloramiento Extremo Sur, donde se realizaron 4 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo. | 151 |
| Tabla 12. Composición de clastos del afloramiento Tienda La Aurora, donde se realizaron 4 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo. | 155 |
| Tabla 13. Composición de clastos del afloramiento La Cascada, donde se realizaron 2 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo. | 159 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 14. Composición de clastos del afloramiento Pozo LN-2P, donde se realizaron 4 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo. | 163 |
| Tabla 15. Composición de clastos del afloramiento Aguas Calientes, donde se realizaron 2 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo. | 167 |
| Tabla 16. Tipos de conglomerados en los afloramientos estudiados en el Grupo Chorro, Sinclinal de Nuevo Mundo. | 170 |
| Tabla 17. Porcentajes y espesor de facies de cada afloramiento. | 194 |
| Tabla 18. Porcentajes y espesor de facies de las litologías de interés del Flanco E del SNM. El espesor total de los afloramientos asociados a los niveles conglomeráticos de interés del Flanco E es de 21.96 m. | 195 |
| Tabla 19. Porcentajes y espesor de facies de las litologías de interés del Flanco W del SNM. El espesor total de los afloramientos asociados a los niveles conglomeráticos de interés del Flanco W es de 39.39 m. | 195 |
| Tabla 20. Asociaciones de facies de los conglomerados del Grupo Chorro Sinclinal de Nuevo Mundo. | 200 |
| Tabla 21. Facies, asociaciones de facies, estructuras y su interpretación del los afloramientos en el Grupo Chorro, SNM (nomenclatura tomada de clasificación de facies Miall, 1996). | 202 |
| Tabla 22. Sucesiones de facies e interpretación del ambiente sedimentario para las Formaciones La Paz y Esmeraldas (Grupo Chorro) en el Sinclinal de Nuevo Mundo. | 205 |
| Tabla 23. Tabla resumen de las facies distribuidas geográficamente por flancos en los afloramientos estudiados en el Sinclinal de Nuevo Mundo. En las columnas de facies y asociaciones se puede observar la sucesión de facies (en colores) tanto horizontal como vertical. | 209 |
| Tabla 24. Resume a manera general los datos de mediciones y direcciones de las paleocorrientes tomadas en los afloramientos del área de estudio. | 215 |
| Tabla 25. Resume a manera general los datos de mediciones y direcciones de las paleocorrientes tomadas en los afloramientos del área de estudio. | 216 |

Tabla 26. Porcentajes acumulados para las curvas modeladas de los afloramientos vs Formaciones de la Cordillera Central. Pz: paleozoico, Tr: Triásico, Jr: Jurasico, Karen: Cretácico arenoso Kcht: chert cretácico Ksu: Cretacico superior Umir (Figura 131).....219

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localización y Mapa geológico simplificado del área de estudio en el Sinclinal de Nuevo Mundo de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Tomado de Nie et al. (2010). | 37 |
| Figura 2. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Tomado de Barrero et al. (2007). | 38 |
| Figura 3. Afloramientos con niveles conglomeráticos en el Grupo Chorro, analizados en este estudio (puntos color negro); SD: Secciones Delgadas. Mapa base tomado de Caballero, 2010. | 39 |
| Figura 4. Se observan los tipos de movimiento de las cargas de lecho y en suspensión. A la izquierda transporte por tracción y arrastre, a la derecha transporte por saltación. (Tomado de Boggs, 2006). | 44 |
| Figura 5. Arriba, flujo laminar número de Reynolds bajo. Abajo, número de Reynolds alto flujo turbulento (Tomado de Selley, 2000). | 45 |
| Figura 6. Arriba número de Froude (F) mayor a 1, se presentan laminación plana y antidunas. Abajo número de Froude (F) menor que 1, se presentan ripples y dunas (Tomado de Selley, 2000). | 46 |
| Figura 7. Mecanismos de soporte en sedimentos y depósitos típicos de flujos en masa a flujos acuosos (Smith y Lowe, 1991 en Brookfield, 2004). | 47 |
| Figura 8. Avalancha de detritos y su marca en una ladera, en Baralacha La, Lahul, en el Himalaya, India. (Tomado de Brookfield, 2004). | 48 |
| Figura 9. Flujo de detritos, se observa la matriz soportada y la mala selección, British, Columbia. (Tomado de Brookfield, 2004). | 49 |
| Figura 10. Flujos hiperconcentrados a) fluidos de detritos b) flujos granulares en arenas. (Tomado de Brookfield, 2004). | 50 |
| Figura 11. Secuencia Bouma, la dirección de la corriente es de izquierda a derecha, el tamaño de grano disminuye a la derecha de la figura. (Tomado de Brookfield 2004). | 50 |

| | |
|---|----|
| Figura 12. Moldes a la base de arenas Ordovícicas a) vortex scours b) tool marks. (Tomado de Brookfield, 2004)..... | 51 |
| Figura 13. Ripples ascendentes en arena fina con una cubierta de limo o arcilla. (Tomado de Brookfield 2004)..... | 52 |
| Figura 14. Gráficas de tamaño de grano. a) Tabla de datos. c) Histograma. c) Escala aritmética. d) Escala probabilística. (Tomado de Boggs, 2006). | 53 |
| Figura 15. Diferente distribución para la media, la moda y la mediana. (Tomado de Boggs, 2006)..... | 54 |
| Figura 16. A) Gráfica de percentiles. B) Formulas estadísticas. (Tomado de Boggs, 2006). | 54 |
| Figura 17. Arriba estimaciones visuales de la clasificación. Abajo estimaciones basadas en la desviación estándar. (Tomado de Boggs, 2006). | 55 |
| Figura 18. Se aprecian diferentes tipos de formas. En compactas (compact) se encuentran formas ecuanes y esféricas; en aplanadas (platy) se encuentran formas achatadas (elipsoides), discos, etc; las formas laminares (bladed) y en alargadas (elongated) se encuentran formas como barras, varas, rodillos, etc. (Tomado de Stow, 2005). | 56 |
| Figura 19. a) Ejes principales de una partícula, formas derivadas y esfericidad. S(c)= eje corto, I(b)= eje intermedio, L(a)= eje mayor o largo. b), c) y d) grado de redondez y esfericidad. b) La gráfica de la parte izquierda indica esfericidad y va desde 0 a 1 de abajo hacia arriba, la gráfica a la derecha relaciona los ejes de la partícula en la gráfica a) con las formas. c) Escala de redondez de Maurice Powers (1953) usada para estimar la redondez de las partículas sedimentarias va de 0 a 1 de izquierda a derecha y tabla comparativa entre redondez y esfericidad (Stow, 2005). d) Clasificación de formas en guijarros unifica las gráficas a), b) y c) donde V = Muy (very), B = Laminar (bladed), C =Compacto (compact), E = Elongado (elongated), P = Aplanado (platy). (Tomado de Tucker, 2003; Sneed y Folk, 1958; Folk, 1980). | 58 |
| Figura 20. Descripción de las características para conglomerados. A. Tipos de fábrica según la moda y disposición espacial. B. Fabrica, el código a(p) a(i) indica | |

| | |
|--|----|
| que el eje a es paralelo al flujo e imbricado y a(t) b(i) indica que el eje a es transversal al flujo con el eje b imbricado. C. Estratificación. D. Gradación (Tomado de Harms, et al., 1975). | 61 |
| Figura 21. Escala de tamaño de grano comparativo Software Gradistat. (Tomado de Blott and Pye, 2001). | 63 |
| Figura 22. Principales tipos genéticos de conglomerados (de acuerdo al origen de sus clastos). (Tomado de Boggs, 2006). | 64 |
| Figura 23. Clasificación de conglomerados basada en el tipo de clastos y el contenido de matriz. En cada uno de los tipos principales (metamórficos, ígneos y sedimentarios) es posible tener variedades monomícticos, oligomícticos y polimícticos. (Tomado de Stow, 2005). | 65 |
| Figura 24. Se observa la forma plana hacia el techo y la forma curva en la base formando la estratificación cruzada en artesa con láminas inclinadas. (Tomado de Boggs, 2006)..... | 68 |
| Figura 25. a) L y R son los dos limbos donde se toman las medidas. b) En campo generalmente aparecen los limbos de esta forma y de igual manera se toman de 15 a 30 medidas en cada limbo. c) Una imagen de los datos ya ploteados y corregidos en el software Stereonet. d) Diagrama de rosetas y dirección principal de paleocorrientes (flecha roja). (Tomado de Decelles, 1983). | 69 |
| Figura 26. Tipos de imbricación. A la izquierda el eje mayor “a” es transversal al flujo y a la derecha el eje mayor “a” es paralelo al flujo (Tomado de Harms et al., 1975). | 70 |
| Figura 27. Disposición de los clastos y toma de medidas de rumbo y buzamiento sobre los ejes a y b. (Tomado de Mrinjek, 1993). | 71 |
| Figura 28. Diagrama de rosetas para clastos imbricados. La flecha roja indica la dirección de la paleocorriente, 180 grados de las direcciones de imbricación (rosetas negras)..... | 72 |
| Figura 29. Aplicación del modelamiento de proveniencia. A) columna generalizada y datos de espesor y porcentaje para las formaciones resistentes del área fuente. B) muestreo de los afloramientos a comparar. C) y D) porcentaje de contribución | |

| | |
|---|----|
| de las Formaciones fuente. E) conteo volumétrico del muestreo de afloramiento. | |
| F) comparación de la curva modelada y la curva medida en afloramiento. (Tomado de Graham et al., 1986). | 73 |
| Figura 30. Los vértices Cuarzo + Chert, Rocas Graníticas + Pórfidos y Basalto+Gabro+Rocas Básicas; diagramas de este tipo en conglomerados han reemplazado los respectivos vértices por litologías equivalentes. (Tomado de Gómez y Suarez, 2009). | 75 |
| Figura 31. Estrategias para el muestreo en intervalos estratigráficos. En A los muestreos se realizan sistemáticamente en los cuatro intervalos, en B los muestreos son hechos al azar. (Tomado de Howard, 1993). | 80 |
| Figura 32. A. método de la cuadrícula. B. método lineal. C. método del área. (Tomado de Howard, 1993). | 82 |
| Figura 33. Diferentes tipos de canales dentro de los sistemas fluviales. (Tomado de Miall, 1977a). | 83 |
| Figura 34. El intervalo de modelos de canales aluviales. A) Los canales de carga de fondo, B) canales de carga mixta, C) canales de carga suspendida. Los cuatro estilos principales de canales son meándricos (7, 8, 12,13), trenzados (3-5, 9, 10), anastomosados (14) y rectos (2). Los canales rectos (1, 6, 11) son raros en la naturaleza (Schumm, 1981 en Miall, 1992a). | 84 |
| Figura 35. Estructuras de barras en ríos trenzados. La secuencia A es dominada por migración de gravas de barra longitudinal. La secuencia B registra depositación de una barra transversal sucesiva de sets de capas cruzadas a un canal trenzado. (Tomado de Miall, 1977). | 86 |
| Figura 36. Tipos principales de barras en ríos trenzados. (Tomado de Miall, 1977). | 87 |
| Figura 37. Jerarquía de las unidades de sedimentación en depósitos aluviales. (Tomado de Miall, 1996). | 91 |
| Figura 38. Los 8 elementos arquitecturales básicos en depósitos fluviales. (Tomado de Miall, 1996). | 93 |

| | |
|--|-----|
| Figura 39. Elementos arquitecturales en depósitos fluviales. (Tomado de Miall, 1996). | 93 |
| Figura 40. Relaciones entre las características físicas de una mezcla fluido – sedimento, el tipo de flujo resultante y su depósito correspondiente. (Tomado de Miall, 1996). | 95 |
| Figura 41. Asociaciones de las características más comunes y abundantes en conglomerados. (Tomado de Harms et al., 1975). | 99 |
| Figura 42. Esquema de los tipos de barras gravosas en el Río Kicking Horse de British Columbia. Modificado de Hein, 1974 en Harms et al., (1975). | 100 |
| Figura 43. La relación entre los tipos de barras y la estratificación. Tomado de Harms et al., (1975). | 102 |
| Figura 44. Izquierda. Clasificación conceptual de los flujos de detritos. Los vértices representan el comportamiento cohesivo-plástico con el incremento del contenido de arcilla (C), el comportamiento viscoso-fluido con el incremento del contenido de agua (V), y el comportamiento granular-colisional con el incremento del contenido de clastos (G). I: Flujo de detritos plástico, II: flujo de detritos dominados por clastos, III: flujo de detritos pseudoplástico, y IV: flujo de detritos pseudoplástico con carga importante. Los códigos de las litofacies de la derecha son los mismos Gmm, Gmg, Gcm, Gci. (Tomado de Schultz, 1984 en Miall, 1996).. | 104 |
| Figura 45. Modelo de secuencia vertical para depósitos de flujo de detritos. (Modificado de Middleton y Hampton, 1973 en Harms et al., 1975). | 106 |
| Figura 46. Sección sísmica convertida a profundidad en el Sinclinal de Nuevo Mundo, se observa una fina inconformidad angular que separa la Formación Lisama haciendo onlapping a la Formación La Paz. Otra fina inconformidad angular constituye el límite entre la Formación La Paz y la suprayacente Formación Esmeraldas. Los estratos del Eoceno Medio al Oligoceno Inferior como lo son las Formaciones La Paz, Esmeraldas y Mugrosa Inferior adelgazan hacia el Oeste. (Tomado de Gómez et al., 2005). | 111 |

| | |
|--|-----|
| Figura 47. Muestra el mapa de las principales provincias tectónicas de Colombia, con las cuencas sedimentarias actuales entre ellas la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, las cuales se aprecian en blanco. (Tomado de Cooper et al., 1995). | 119 |
| Figura 48. Flujo de Trabajo aplicado en la metodología desarrollada para este estudio . | 122 |
| Figura 49. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área de Río Sucio. Espesor 7.15 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3. | 128 |
| Figura 50. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Río Sucio. | 129 |
| Figura 51. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en aplanadas y otro pico en elongadas. (Ver Figura 18)..... | 129 |
| Figura 52. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 21% de formas compactas laminares y un 20% en elongadas..... | 130 |
| Figura 53. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Río Sucio. Se resalta la abundancia de alrededor del 30% del Chert amarillo y Cuarzo. | 130 |
| Figura 54. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área de Vía B/ga-B/bermeja. Espesor 5.71 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3. | 132 |
| Figura 55. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Vía B/ga-B/bermeja. | 133 |
| Figura 56. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas elongadas, una caída en aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18)..... | 133 |
| Figura 57. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 19% de formas compactas elongadas y un 18% en compactas laminares, compactas y laminares. | 134 |

| | |
|--|-----|
| Figura 58. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Vía B/ga-B/bermeja. Se resalta la abundancia de alrededor del 50% de Cuarzo y 10 % de Cuarcita. | 134 |
| Figura 59. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Altamira. Espesor 3.50 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3. | 136 |
| Figura 60. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Altamira..... | 137 |
| Figura 61. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en aplanadas y otro pico en elongadas. (Ver Figura 18)..... | 137 |
| Figura 62. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 24% de formas compactas laminares, y un 20% en compactas elongadas..... | 138 |
| Figura 63. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Altamira. Se resalta la abundancia de alrededor del 60% de Cuarzo y 20% de Cuarcita... | 138 |
| Figura 64. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Esmeraldas 1. Espesor 2.50 m, Escala 1:50. Para su ubicación ver Figura 3..... | 140 |
| Figura 65. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Esmeraldas 1. | 141 |
| Figura 66. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18)..... | 141 |
| Figura 67. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 26% de formas laminares y un 18% en compactas laminares..... | 142 |
| Figura 68. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Esmeraldas 1. Se resalta la abundancia de alrededor del 80% de Cuarzo. | 142 |
| Figura 69. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Esmeraldas 2. Espesor 3.10 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3. | 144 |

| | |
|---|-----|
| Figura 70. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Esmeraldas 2..... | 145 |
| Figura 71. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en compactas elongadas a aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18). | 145 |
| Figura 72. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 27% de formas laminares y compactas laminares..... | 146 |
| Figura 73. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Esmeraldas 1. Se resalta la abundancia de alrededor del 50% de Cuarzo y 30% de Chert gris. | 146 |
| Figura 74. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Extremo Sur. Espesor 7.71 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3. | 148 |
| Figura 75. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Extremo Sur..... | 149 |
| Figura 76. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en compactas elongadas a aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18). | 149 |
| Figura 77. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 24% de formas compactas laminares y un 20% de compactas elongadas..... | 150 |
| Figura 78. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Extremo Sur. Se resalta la abundancia de alrededor del 40% de Cuarzo y 20% de Chert gris y Cuarcita. | 150 |
| Figura 79. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Tienda La Aurora. Espesor 13.75 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3. | 152 |
| Figura 80. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Tienda La Aurora. | 153 |

| | |
|---|-----|
| Figura 81. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas elongadas, una caída en aplanadas y otro pequeño pico en laminares a elongadas. (Ver Figura 18). | 153 |
| Figura 82. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 25% de formas compactas elongadas y un 19% de compactas laminares..... | 154 |
| Figura 83. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Tienda La Aurora. Se resalta la abundancia de alrededor del 50% de Cuarzo y 30% de Chert gris. | 154 |
| Figura 84. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área de la Cascada. Espesor 1.83 m, Escala 1:50. Para su ubicación ver Figura 3..... | 156 |
| Figura 85. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento La Cascada..... | 157 |
| Figura 86. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en aplanadas y otro pico en laminares a muy aplanadas (ver Figura 18). | 157 |
| Figura 87. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 23% de formas laminares y un 17% de compactas laminares..... | 158 |
| Figura 88. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento La Cascada. Se resalta la abundancia de alrededor del 30% de Cuarzo y 20% de Chert gris, Chert amarillo y Cuarcita. | 158 |
| Figura 89. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área cerca al Pozo LN-2P. Espesor 2.30 m, Escala 1:50. Para su ubicación ver Figura 3. | 160 |
| Figura 90. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Pozo LN-2P..... | 161 |
| Figura 91. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas elongadas, una caída en aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18)..... | 161 |

| | |
|---|-----|
| Figura 92. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 27% de formas laminares y un 25% de compactas elongadas..... | 162 |
| Figura 93. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Pozo LN-2P. Se resalta la abundancia de alrededor del 50% de Cuarzo y 25% de Chert gris. | 162 |
| Figura 94. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Aguas Calientes. Espesor 13.80 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3. | 164 |
| Figura 95. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Aguas Calientes..... | 165 |
| Figura 96. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en compactas elongadas a aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18)..... | 165 |
| Figura 97. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 25% de formas compactas laminares y un 24% de laminares..... | 166 |
| Figura 98. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Aguas Calientes. Se resalta la abundancia de alrededor del 30% de Cuarzo y 20% de Chert gris y Chert amarillo. | 166 |
| Figura 99. Se observa una tendencia predominante de ortoconglomerados en los afloramientos de la Formación La Paz localizados al SW y NE del Sinclinal de Nuevo Mundo..... | 168 |
| Figura 100. Mapa de tendencias de la forma y la composición de los clastos analizados en los diez afloramientos del área de estudio..... | 169 |
| Figura 101. Se observa la facies Gmm en el afloramiento Extremo Sur..... | 172 |
| Figura 102. Se observa la facies Gmm y un pequeño lente de arena que se va introduciendo en el paquete de paraconglomerado, afloramiento Río Sucio..... | 172 |
| Figura 103. Se observa la facies Gmg seguida de un pequeño nivel de arena en el paquete de paraconglomerado (parte superior, líneas), afloramiento Vía Bucaramanga-B/bermeja. | 173 |

| | |
|---|-----|
| Figura 104. Se observa la facies Gcm en el afloramiento Tienda La Aurora, hacia la base (figura de la izquierda), hacia el tope (figura de la derecha)..... | 175 |
| Figura 105. Se observa la facies Sh con un pulso de ortoconglomerados de facies Gh en el afloramiento Altamira..... | 176 |
| Figura 106. Se observa ortoconglomerados de facies Gh en el afloramiento Extremo Sur..... | 176 |
| Figura 107. Se observa ortoconglomerados de facies Gh en el afloramiento Pozo LN-2P. | 177 |
| Figura 108. Se observa ortoconglomerados de facies Gh en contacto erosional con la facies Fsm (parte inferior, figura de la izquierda); A la parte derecha se aprecian intercalaciones de litofacies Gh con Fsm y Sh, afloramiento Cerro La Aurora-Cascada..... | 177 |
| Figura 109. Se observa las litofacies Gh y St. A la parte izquierda se observa más de cerca éstas litofacies en el afloramiento Vía Bucaramanga-B/bermeja. | 178 |
| Figura 110. Se observa la litofacies Gp matriz soportada (hacia la base, se indica su inclinación) en el afloramiento Extremo Sur..... | 179 |
| Figura 111. Se observa las litofacies Gcm, Gp, Sp, St, Sm. Las facies Gp pasan lateralmente a arenisca con estratificación cruzada planar, Sp en el afloramiento Río Sucio. | 180 |
| Figura 112. Se observa la litofacies Gp hacia la base del afloramiento Tienda La Aurora (parte izquierda) y hacia la derecha se aprecia el tope de éste. | 180 |
| Figura 113. Se observa la litofacies St (se indica las artesas) en el afloramiento Río Sucio. | 181 |
| Figura 114. Se observan las litofacies St (la flecha indica las artesas) y Sm en el afloramiento Esmeraldas 1. | 181 |
| Figura 115. Se observa la litofacies Sh, las flechas indican alineamientos de clastos en la arenisca, afloramiento Cerro La Aurora-Cascada..... | 183 |
| Figura 116. Se observan las litofacies Gh y Sp (las líneas y la flecha indican la inclinación) en el afloramiento Extremo Sur. La figura de la izquierda es la parte basal. | 184 |

| | |
|--|--------------------------------------|
| Figura 117. Se observan las litofacies Gp y Sp (las líneas indican la inclinación) en el afloramiento Tienda La Aurora, hacia el tope..... | 185 |
| Figura 118. Se observa la litofacies Sm en el afloramiento Río Sucio..... | 186 |
| Figura 119. Se observan las litofacies Gmm, Sm, Fr y el paleosuelo (P), parte derecha. A la izquierda se aprecia las litofacies Sm más de cerca con fragmentos de troncos y Fr, afloramiento Aguas Calientes. | 186 |
| Figura 120. Se observan las litofacies Gmm, Gcm, St, Fsm y el paleosuelo (P), parte derecha. A la parte izquierda se aprecia más de cerca la litofacies Fsm, afloramiento Esmeraldas 2. | 187 |
| Figura 121. Se observa más de cerca el contacto erosional entre las litofacies Fsm y Gh (izquierda) y en la derecha vista lateral del contacto en el afloramiento Cerro La Aurora-Cascada (vista frontal). | 188 |
| Figura 122. Se observa la litofacies Fr y hacia la parte derecha se aprecia más detalle de la misma, destacando desarrollo de suelo incipiente en el afloramiento Aguas Calientes..... | 190 |
| Figura 123. Se observa el paleosuelo (P) y a la parte izquierda se observa detalle del mismo destacando su fisilidad, diaclasamiento y su moteado característico en el afloramiento Aguas Calientes. | 190 |
| Figura 124. Porcentajes de facies conglomeráticas en el Grupo Chorro, las cuales presentan tendencias similares. | 196 |
| Figura 125. Porcentajes de facies conglomeráticas en el Grupo Chorro, las cuales presentan tendencias similares..... | 196 |
| Figura 126. Mapa de tendencias de los porcentajes de facies asociadas a niveles conglomeráticos de interés en los afloramientos de estudio. (Mapa base tomado de Caballero, 2010). | ¡Error! Marcador no definido. |
| Figura 127. Estilos del elemento GB. a Parejas de arenisca con estratificación cruzada en artesa (litofacies St, elemento SB) y conglomerado estratificado horizontalmente (litofacies Gh, elemento GB). b Conglomerado con estratificación cruzada planar (Gp) interestratificado con conglomerado con estratificación horizontal y arenisca (Gh, St) (Smith, 1990). Tomado de Miall (1996). | 211 |

| | |
|---|-----|
| Figura 128. Modelo de ríos trenzados gravosos profundos con niveles topográficos bien definidos. A la derecha conjunto de litofacies fluviales típicas y perfil vertical del estilo fluvial de Ríos trenzados gravosos profundos, perfil C: Flechas verticales indican las sucesiones cíclicas de varios tipos, mostrando dirección de adelgazamiento y fin de la capa, los números en círculos indican el rango limitante de la superficie, los códigos de las litofacies a la izquierda de la columna (Miall, 1985 en Miall, 1996). | 212 |
| Figura 129. Distribución de paleocorrientes en el Grupo Chorro. La tendencia principal es hacia el NE (flecha amarilla). Mapa geológico base (Caballero, 2010)... .. | 214 |
| Figura 130. Columna generalizada de las Formaciones potencialmente productoras de clastos de grava en la Cordillera Central (de Morales, 1958; Ward et al., 1973; Fabre 1981; Etayo-Serna y Laverde, 1985; Butler y Schamel, 1988; Ujueta, 1992; Clavijo et al, 2008; Bogota y Aluja, 1981; Caballero y Sierra, 1991) Tomado de Caballero 2010. | 217 |
| Figura 131. Curvas modeladas Afloramientos Flanco Este y Cordillera Central..... | 220 |
| Figura 132. Curvas modeladas de afloramientos flanco W y Cordillera Central. | 221 |
| Figura 133. Curvas modeladas conglomerados en todos los afloramientos y la curva modelada Cordillera Central..... | 222 |
| Figura 134. Ubicación área fuente de sedimento para la Formación La Paz. (Tomado de Caballero, 2010). | 223 |
| Figura 135. Diagrama ternario composicional para el tamaño guijo fino (4-8mm). CH=Chert, ARS=Arenisca, LD= Lodolita, CZ=Cuarcita y QZ=Cuarzo..... | 225 |
| Figura 136. Diagrama ternario composicional para el tamaño guijo medio (8-16 mm). CH=Chert, ARS=Arenisca, LD= Lodolita , CZ=Cuarcita y QZ=Cuarzo..... | 226 |
| Figura 137. Diagrama ternario composicional tamaño guijo grueso (16-32 mm). CH=Chert, ARS=Arenisca, LD= Lodolita, CZ=Cuarcita y QZ=Cuarzo..... | 227 |
| Figura 138. Diagrama ternario composicional tamaño guijo muy grueso (32-64 mm). CH=Chert, ARS=Arenisca, LD= Lodolita, CZ=Cuarcita y QZ=Cuarzo..... | 228 |

| | |
|--|-----|
| Figura 139. Se aprecian las tendencias de los afloramientos Río Sucio (azul), Altamira (naranja), Vía B/ga-B/bermeja (rojo), Esmeraldas 1 (verde) y Esmeraldas 2 (violeta) en el tamaño de sus clastos..... | 229 |
| Figura 140. Se aprecian las tendencias de los afloramientos Cerro La Aurora-Cascada (amarillo), Tienda La Aurora (morado), Extremo Sur (verde), Pozo LN-2P (rosado) y Aguas Calientes (celeste), en el tamaño de sus clastos..... | 230 |
| Figura 141. Tamaño clastos de todos los afloramientos..... | 231 |
| Figura 142. Se aprecia la tendencia similar a una forma de M de los afloramientos Río Sucio (rojo), Altamira (naranja), Vía B/ga-B/bermeja (celeste), Esmeraldas 1 (verde) y Esmeraldas 2 (violeta) de las formas de sus clastos. | 232 |
| Figura 143. Se aprecia la tendencia a una forma de M de los afloramientos Cerro La Aurora-Cascada (azul), Tienda La Aurora (rojo), Extremo Sur (verde), Pozo LN-2P (celeste) y Aguas Calientes (morado), de las formas de sus clastos. | 232 |
| Figura 144. Formas de todos los afloramientos..... | 233 |
| Figura 145. Composición de clastos en el flanco Este..... | 234 |
| Figura 146. Composición clastos flanco Oeste..... | 235 |
| Figura 147. Composición afloramientos ambos flancos..... | 236 |
| Figura 148. Tendencia en la distribución de los guijos muy gruesos para los afloramientos de la Formación La Paz..... | 238 |
| Figura 149. Distribución de espesor de facies conglomeráticas..... | 238 |
| Figura 150. Tendencias en la distribución de formas muy laminares (menos esféricas y menos redondeadas)..... | 239 |
| Figura 151. Distribución de formas laminares (esfericidad y redondez moderada). | 239 |
| Figura 152. Distribución de formas compactas (más esféricas y redondeadas)..... | 240 |
| Figura 153. Integración de resultados para la Formación La Paz. De izquierda a derecha: textura (rectángulos amarillos), composición (rectángulos verdes) y forma (rectángulos rojos). Los triángulos a la derecha indican el tamaño vs composición para los tamaños de guijos finos a muy gruesos. | 243 |

| | |
|---|-----|
| Figura 154. Mapa de tendencias de columnas estratigráficas levantadas en los niveles conglomeráticos de interés en los afloramientos de estudio. (Mapa base tomado de Caballero, 2010). | 244 |
| Figura 155. Esquemas planteados de relación entre los afloramientos de niveles conglomeráticos. Esquemas A-A', B-B' y C-C'..... | 245 |
| Figura 156. El mapa muestra la ubicación geográfica de los elementos encontrados en los afloramientos de estudio y su distribución en un sistema de ríos trezados gravosos..... | 246 |
| Figura 157. Integración datos de proveniencia y paleocorrientes. Línea punteada negra Cordillera Central..... | 247 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|--|------------|
| <i>ANEXO 1. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.....</i> | <i>258</i> |
| <i>ANEXO 1.1 SECCIÓN RÍO SUCIO.....</i> | <i>258</i> |
| <i>ANEXO 1.2 SECCIÓN VÍA BUCARAMANGA-BARRANCABERMEJA</i> | <i>259</i> |
| <i>ANEXO 1.3 SECCIÓN ALTAMIRA.....</i> | <i>260</i> |
| <i>ANEXO 1.4 SECCIÓN ESMERALDAS 1.....</i> | <i>261</i> |
| <i>ANEXO 1.5 SECCIÓN ESMERALDAS 2.....</i> | <i>262</i> |
| <i>ANEXO 1.6 SECCIÓN EXTREMO SUR.....</i> | <i>263</i> |
| <i>ANEXO 1.7 SECCIÓN TIENDA LA AURORA.....</i> | <i>264</i> |
| <i>ANEXO 1.8 SECCIÓN CERRO LA AURORA-CASCADA</i> | <i>265</i> |
| <i>ANEXO 1.9 SECCIÓN POZO LN-2P.....</i> | <i>266</i> |
| <i>ANEXO 1.10 SECCIÓN AGUAS CALIENTES.....</i> | <i>267</i> |
| <i>ANEXO 2. ANÁLISIS DE PALEOCORRIENTES.....</i> | <i>268</i> |
| <i>2.1 PALEOCORRIENTES DEL AFLORAMIENTO RÍO SUCIO.....</i> | <i>268</i> |
| <i>2.2 PALEOCORRIENTES DEL AFLORAMIENTO VÍA BUCARAMANGA - BARRANCABERMEJA.....</i> | <i>273</i> |
| <i>2.3 PALEOCORRIENTES DEL AFLORAMIENTO ALTAMIRA.....</i> | <i>274</i> |
| <i>2.4 PALEOCORRIENTES DEL AFLORAMIENTO EXTREMO SUR</i> | <i>275</i> |
| <i>2.5 PALEOCORRIENTES DEL AFLORAMIENTO TIENDA LA AURORA.....</i> | <i>277</i> |
| <i>2.6 PALEOCORRIENTES DEL AFLORAMIENTO LN-2P</i> | <i>279</i> |
| <i>2.7 PALEOCORRIENTES DEL AFLORAMIENTO AGUAS CALIENTES</i> | <i>280</i> |
| <i>2.8 PALEOCORRIENTES DEL AFLORAMIENTO ESMERALDAS 1</i> | <i>282</i> |
| <i>2.9 PALEOCORRIENTES DEL AFLORAMIENTO ESMERALDAS 2.....</i> | <i>283</i> |
| <i>ANEXO 3. DESCRIPCIÓN DE SECCIONES DELGADAS.....</i> | <i>284</i> |
| <i>ANEXO 3.1 AFLORAMIENTO EXTREMO SUR.....</i> | <i>286</i> |
| <i>ANEXO 3.2 AFLORAMIENTO VÍA B/MANGA-B/BERMEJA</i> | <i>292</i> |

ANEXO 3.3 AFLORAMIENTO TIENDA LA AURORA..... 301
ANEXO 4. FOTO DEL CONTACTO 319

RESUMEN

TÍTULO:

ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y DE PROVENIENCIA EN LOS CONGLOMERADOS DEL GRUPO CHORRO, SINCLINAL DE NUEVO MUNDO, CUENCA VALLE MEDIO DEL MAGDALENA *

AUTORES:

MEJÍA MÁRQUEZ, AURA MARÍA; RODRÍGUEZ CÁCERES, DAREN JOAN **

PALABRAS CLAVES:

Grupo Chorro, Conglomerados, textura, forma, composición, conteo de clastos, facies, paleocorrientes, proveniencia.

DESCRIPCIÓN:

El Grupo Chorro está conformado por las Formaciones La Paz y Esmeraldas en la cuenca del Valle Medio del Magdalena; de estas unidades se describieron 10 afloramientos de conglomerados y areniscas conglomeráticas ubicados en el Sinclinal de Nuevo Mundo, en los cuales se analizaron paleocorrientes, proveniencia, textura, forma, composición, conteo de clastos y facies, con estos datos se construyeron diagramas y curvas para observar la relación entre los afloramientos en los flancos Este y Oeste del Sinclinal del Nuevo Mundo e identificar la proveniencia de los conglomerados del Grupo Chorro.

La composición de los conglomerados es similar en todos los afloramientos a lo largo del Sinclinal, presentando clastos de cuarzo, chert, areniscas, lodolitas y cuarcita principalmente. El tamaño en el cual se observa una mejor relación de la composición para todos los afloramientos es el de Guijo grueso 16-32 mm. Las formas de clastos presentan una tendencia similar para los afloramientos con porcentajes mayores en las formas compactas, laminares y elongadas y porcentajes menores en las formas aplanadas. Las direcciones de paleocorrientes indican un área fuente ubicada al W o SW de la ubicación actual del Sinclinal de Nuevo Mundo que puede ser la Cordillera Central o un paleoalto. Los afloramientos ubicados en la base de la Formación la Paz presentan similitudes en todos los aspectos analizados, sus diferencias obedecen a cambios faciales y texturales propios del transporte y depositación de un ambiente de ríos trenzados gravosos profundos, el afloramiento de Aguas Calientes presenta una asociación facial acorde a una llanura de inundación que no es común en estos sistemas gravosos. Se observa un acuñamiento de los conglomerados hacia el NW del Sinclinal de Nuevo Mundo al igual que tendencias en formas y textura que están asociados al levantamiento de la estructura y al desarrollo de estratos de crecimiento.

* Trabajo de Grado, modalidad investigación

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: GÓMEZ Gutiérrez. Pedro David Codirector: RUBIANO Ortiz. Jorge Luis

ABSTRACT

TITLE:

STRATIGRAPHIC AND PROVENANCE ANALYSIS IN THE CONGLOMERATES OF CHORRO GROUP, NUEVO MUNDO SYNCLINE, MIDDLE MAGDALENA VALLEY BASIN *

AUTHORS:

MEJÍA MÁRQUEZ, AURA MARÍA; RODRÍGUEZ CÁCERES, DAREN JOAN **

KEYWORDS: Chorro Group, conglomerates, texture, shape, composition, clasts count, facies, paleocurrents, provenance.

DESCRIPTION:

The Chorro Group is divided into La Paz and Esmeraldas Formations, in the Middle Magdalena Valley. 10 outcrops of conglomerates and conglomeratic sandstones of these rock units in the Nuevo Mundo Syncline were described. Paleocurrents, provenance, textural, shape, compositional and facial analysis and clasts count were made in this outcrops. Using this information, some diagrams were made to observe the relationship between the outcrops located in the East and West flank of the Nuevo Mundo Syncline and also to identify the provenance of the Grupo Chorro conglomerates.

The composition of the conglomerates is similar in all the outcrops along the syncline. They are mainly composed of quartz, chert, sandstone, siltstone and quartzite clasts. The compositional ratios are better observed in all the outcrops at the coarse cobble (16-32 mm) grain size. The clasts shapes show a uniform tendency in which the compact, laminar and elongated shapes are predominant over the flat ones. The paleocurrent directions show a source area located West or Southwest from the current location of the Nuevo Mundo Syncline, which could correspond to the Central Andes Cordillera or a paleo high. The base of the La Paz Formation shows similarities in all the analyzed features, however, presents certain differences in facial and textural changes due to transport and deposition in a deep fluvial braided setting. The Aguas Calientes outcrop shows a flood plain facial association which is not common in these gravelly systems. A pinch-out in conglomerates is observed southwest the Nuevo Mundo Syncline as well as tendencies in shape and texture are related to the uplift of the structure and the development of growth strata.

* Graduate Work, research method

** Faculty of Physicochemical Engineering. Geology School. Directors: GÓMEZ Gutiérrez Pedro David. Co-director RUBIANO Ortiz.: Jorge Luis

INTRODUCCIÓN

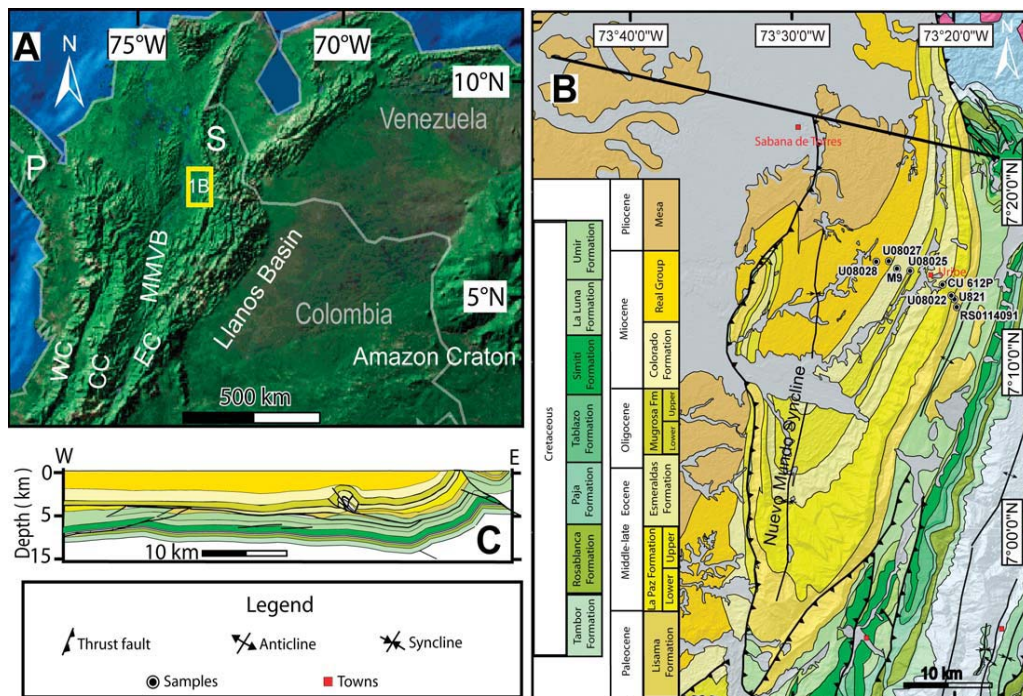
El Sinclinal de Nuevo Mundo (SNM) se encuentra localizado en la cuenca del Valle Medio del Magdalena entre las Cordilleras Central y Oriental del Sistema Andino Colombiano, limitado al oeste por la falla La Salina (Figura 1), el registro sedimentario muestra una sucesión de rocas continentales del Jurásico Tardío seguido por una secuencia Cretácica de rocas calcáreas y siliciclásticas de origen marino y transicional. La secuencia Paleógena y Neógena está formada por rocas siliciclásticas depositadas principalmente bajo condiciones continentales con alguna influencia marina (Figura 1 y 2) (Barrero et al., 2007).

La cuenca del Valle Medio del Magdalena es una de las cuencas más prolíficas de petróleo en Colombia, incluyendo el primer campo gigante del país La Cira – Infantas que desde 1918 tuvo la primera producción comercial de petróleo (Taborda, 1965). A través de su historia de exploración se han descubierto un total de 41 campos en depósitos Paleógenos como lo son las unidades reservorio que provienen de las areniscas Paleógenas continentales de edades Paleoceno-Mioceno entre las cuales se encuentran las Formaciones Lisama, La Paz, Esmeraldas, Mugrosa y Colorado (Barrero et al., 2007).

Por ser el Sinclinal de Nuevo Mundo una estructura que permite estudiar a través de su continuidad los conglomerados presentes en el Grupo Chorro (Formaciones La Paz y Esmeraldas) y al estar ubicado en una cuenca central y productiva de petróleo en Colombia (Cuenca Valle Medio del Magdalena), permite ser la zona más acertada para realizar un estudio detallado estratigráfico y de proveniencia en los conglomerados del Grupo Chorro de dicho sinclinal; desarrollándose una metodología donde se realizó levantamiento de columnas estratigráficas a escala 1:50 en 10 afloramientos (8 en la Formación La Paz y 2 en la Formación Esmeraldas - Figura 3), conteo de 100 a 400 clastos en capas de conglomerados, se hizo la descripción textural, composicional, tamaño, forma, redondez de los clastos, medición y análisis de paleocorrientes en arenas gruesas y clastos

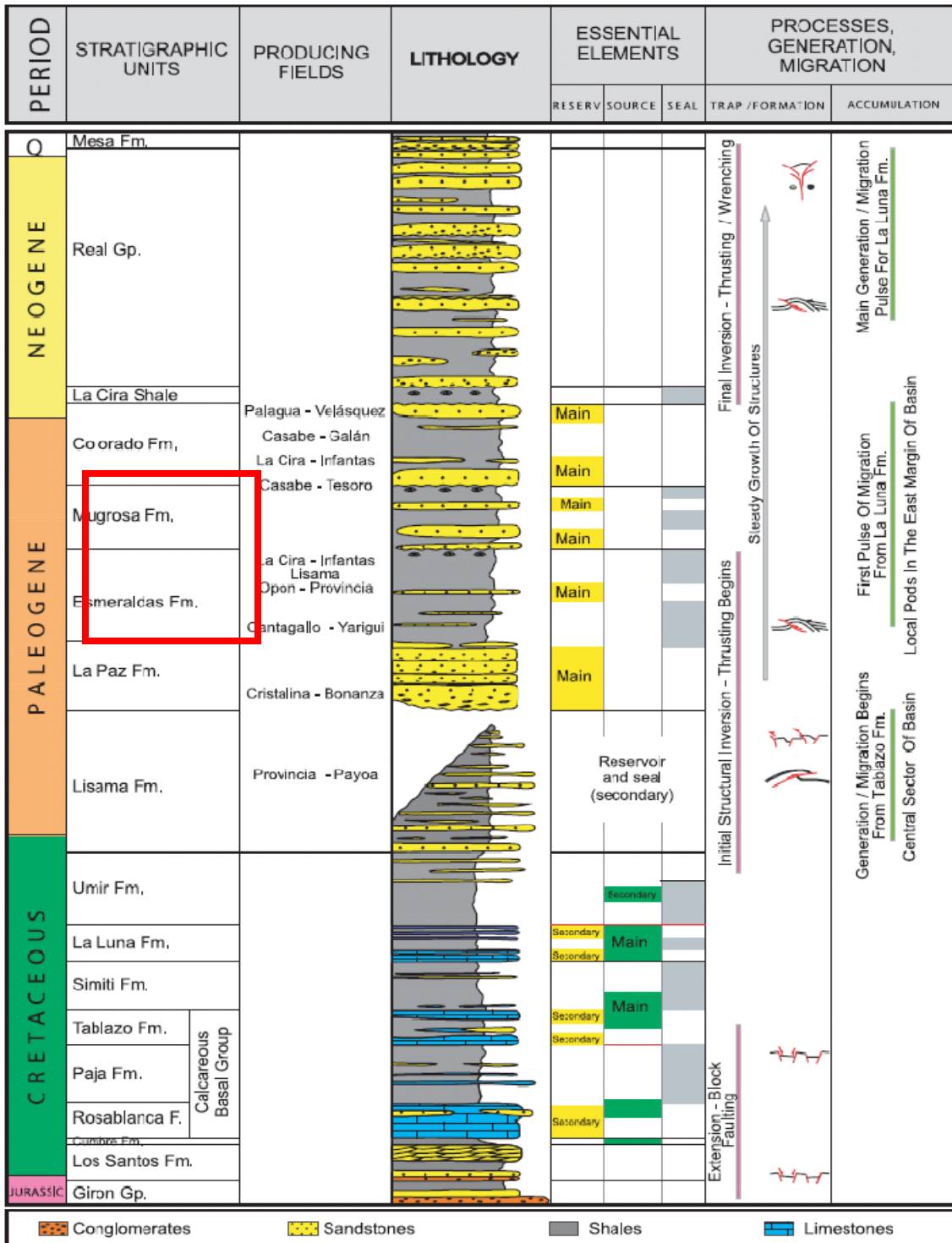
imbricados, descripción de facies; así teniendo ésta información recolectada y procesada se estableció una relación estadística entre Flanco E y Flanco W, se sugirió un modelamiento de proveniencia y ambiente de depositación para estos conglomerados presentes en el Grupo Chorro.

Figura 1. Localización y Mapa geológico simplificado del área de estudio en el Sinclinal de Nuevo Mundo de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.



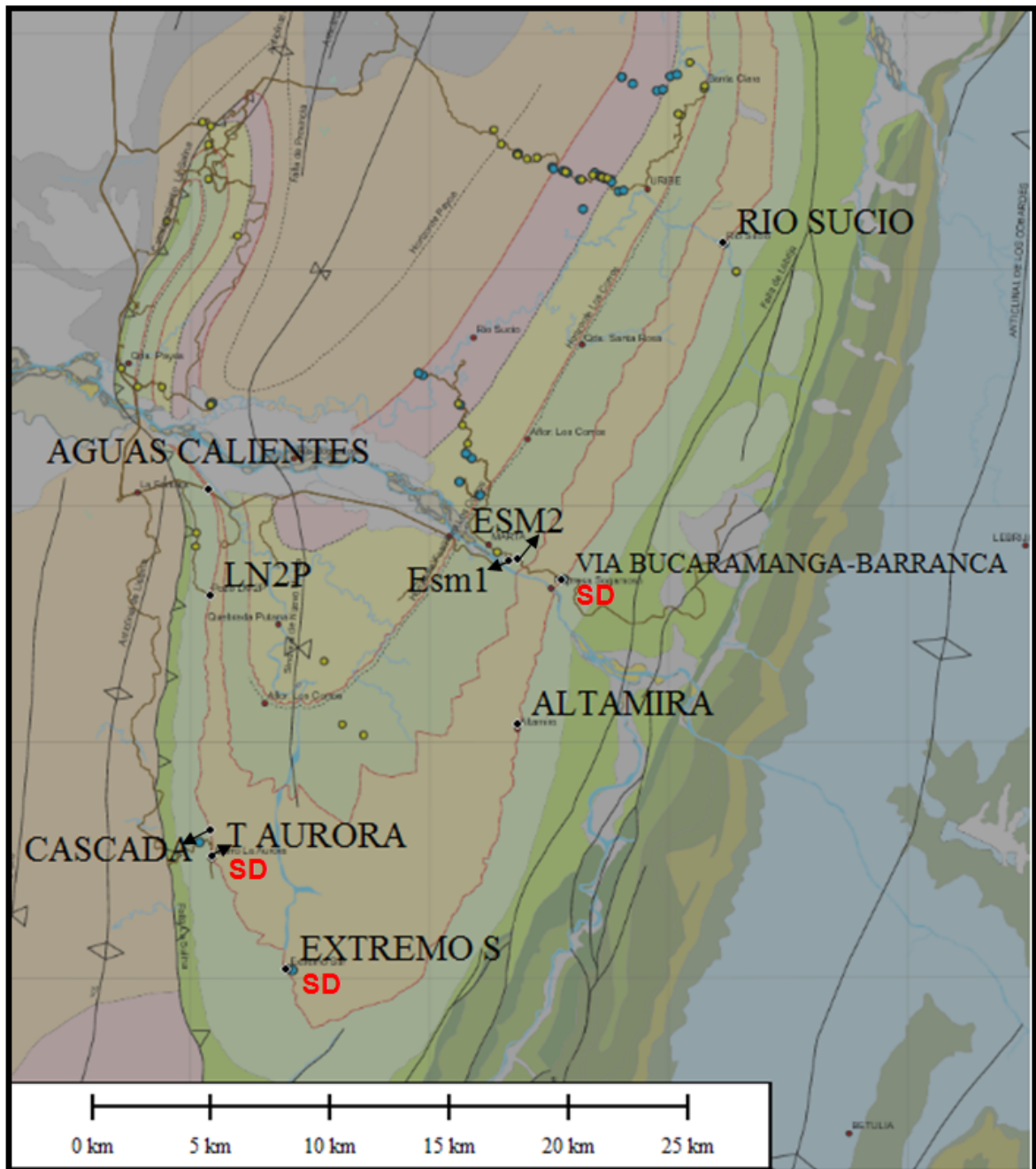
Fuente de Nie et al. (2010).

Figura 2. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.



Fuente Barrero et al. (2007).

Figura 3. Afloramientos con niveles conglomeráticos en el Grupo Chorro, analizados en este estudio (puntos color negro); SD: Secciones Delgadas. Mapa base



Fuente Caballero, 2010.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con base en trabajos anteriores como Aguiar y Reyes, (1982); Otero, (2001); Gómez et al., (2005); Caballero, (2010) entre otros, se observa que aún existe incertidumbre en el conocimiento de la distribución de la Formación La Paz en el Sinclinal de Nuevo Mundo, por tanto se plantea analizar la continuidad de algunos conglomerados presentes en el Grupo Chorro (Sinclinal de Nuevo Mundo) para reducir el grado de incertidumbre en esta unidad, para esto se plantea comparar los dos flancos del Sinclinal de Nuevo Mundo con base en un análisis estratigráfico detallado, que permita conocer la relación de los conglomerados, mediante diagramas estadísticos donde se comparen las siguientes características: textura, composición, facies, tipos de contactos, paleocorrientes, proveniencia y demás características.

Se plantean las siguientes preguntas, las cuales tratarán de resolver el interrogante mayor en torno a la continuidad de la unidad en el Sinclinal de Nuevo Mundo:

- ¿Son los conglomerados de la Formación La Paz del Flanco E los mismos que se reportan como pertenecientes a la Paz en el flanco W?
- ¿Es la Formación La Paz continua a lo largo de todo el Sinclinal de Nuevo Mundo?
- ¿Cómo es el contacto entre las Formaciones Lisama, La Paz y Esmeraldas en el Sinclinal de Nuevo Mundo?
- ¿Cuál fue la fuente de sedimentos de los conglomerados del Grupo Chorro?

2. JUSTIFICACIÓN

En los sistemas petrolíferos es importante definir claramente todos sus elementos, entre los que se encuentra la roca reservorio por lo que se hace necesario conocer su continuidad en la cuenca y su relación con las estructuras presentes (Sinclinal de Nuevo Mundo y Falla La Salina). El 97% de las unidades reservorio provienen de las areniscas Paleógenas continentales de edades Paleoceno-Oligoceno entre las cuales se encuentran las Formaciones Lisama, La Paz, Esmeraldas, Mugrosa y Colorado (Barrero et al., 2007).

El Grupo Chorro es uno de los principales reservorios en los campos Cristalina, Bonanza, La Cira Infantas, Lisama, Opón, Provincia, Cantagallo y Yarigui en la Cuenca Valle Medio del Magdalena, así, mejorar el conocimiento de su continuidad y su relación con el Sinclinal de Nuevo Mundo reduce la incertidumbre para la prospección de hidrocarburos en esta área facilitando la ubicación de nuevos pozos con amarre entre datos de superficie y sísmica.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un detallado análisis estratigráfico y de proveniencia en los conglomerados del Grupo Chorro en el Sinclinal de Nuevo Mundo, Valle Medio del Magdalena.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir la relación estratigráfica de los conglomerados del flanco E y W del Sinclinal de Nuevo Mundo dentro del Grupo Chorro.
- Realizar la caracterización estratigráfica, sedimentológica y de proveniencia de los conglomerados del Grupo Chorro, aplicando la metodología de Graham (1986), Folk (1980), Harms et al. (1975), Howard (1993).
- Analizar las direcciones de paleocorrientes en arenas gruesas y conglomerados aplicando la metodología de Harms et al. (1975), DeCelles y Langford (1983).
- Realizar un estudio de proveniencia de las unidades estratigráficas de interés utilizando la metodología de Dickinson y Suczek (1979), Dickinson (1985), Graham (1986), Howard (1993) y DeCelles (1991) aplicadas al estudio de proveniencia de sedimentos en los niveles conglomeráticos.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO TEXTURA Y COMPOSICIÓN DE CLASTOS

Los sedimentos están asociados al tipo de transporte, al tipo de flujo así como a su textura. La relación entre todos estos parámetros genera un tipo de depósito característico que evidencia su origen con base a sus características texturales y estructurales. El conocimiento de estos procesos facilita la comprensión en campo del origen más adecuado de un depósito.

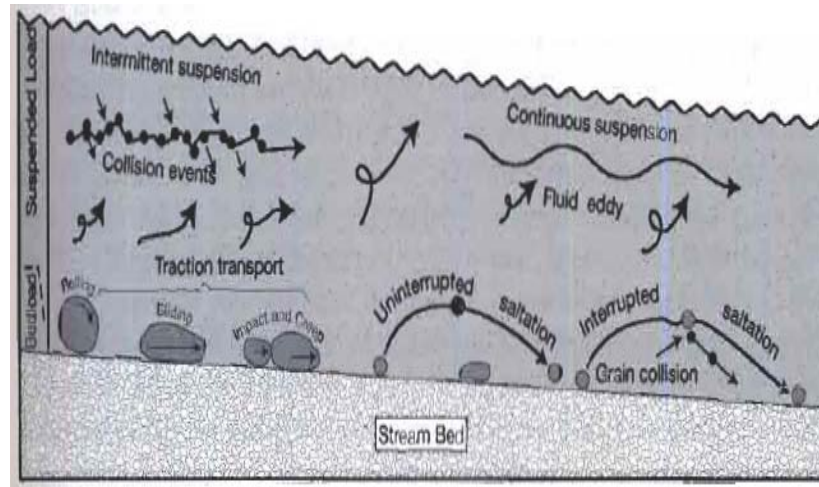
4.1.1 Transporte de Sedimentos

Una vez el sedimento ha sido erodado y puesto en movimiento, la trayectoria de transporte es función de la velocidad y tipo corriente así como el tamaño de la partícula. Las partículas más gruesas son transportadas como cargas de lecho y las más finas como carga suspendida (Boggs, 2006).

- **Transporte de Carga de Lecho**

Las partículas mayores a 2 mm son comúnmente transportados como parte de la carga de lecho en contacto continuo con el fondo del lecho. Este tipo de transporte llamado tracción, puede incluir el transporte por rodamiento de granos y arrastre. Otro tipo de movimiento es la saltación, donde las partículas van avanzando por medio de saltos siguiendo el lecho de la corriente (Figura 4).

Figura 4. Se observan los tipos de movimiento de las cargas de lecho y en suspensión. A la izquierda transporte por tracción y arrastre, a la derecha transporte por saltación.



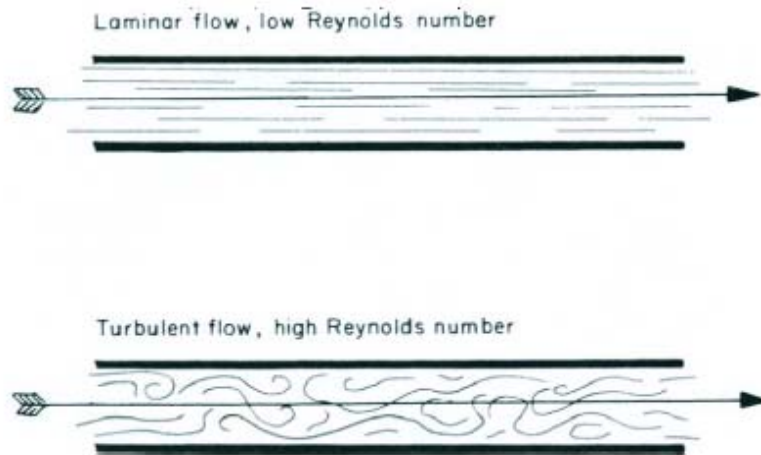
Fuente Boggs, 2006

4.1.2 Tipos de Flujo

Existen dos tipos principales de flujo (laminar y turbulento) dados por la variabilidad del número de Reynolds $R=UdP/V$ donde R es el número de Reynolds, U es la velocidad de la partícula, d el diámetro de la partícula, P la densidad de la partícula y V la viscosidad del fluido.

El flujo laminar es caracterizado por un bajo número de Reynolds ya que la viscosidad del fluido es alta y la velocidad tiende a ser más baja, en un flujo turbulento el número de Reynolds es alto, la viscosidad es inversamente proporcional a la turbulencia (Selley, 2000) (Figura 5).

Figura 5. Arriba, flujo laminar número de Reynolds bajo. Abajo, número de Reynolds alto flujo turbulento



Fuente Selley, 2000

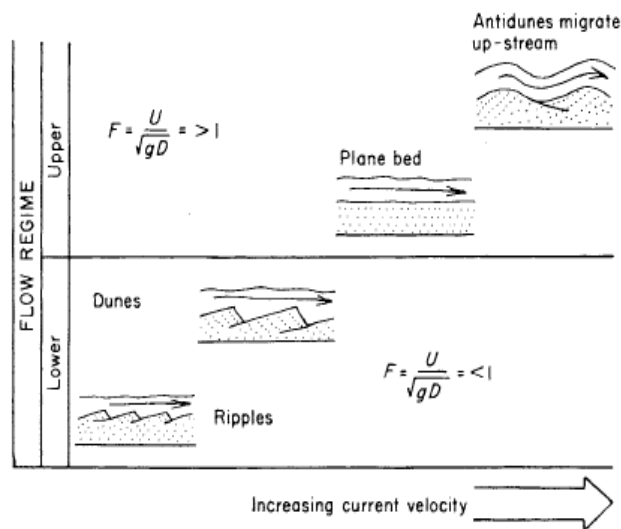
Un segundo importante coeficiente de la dinámica de los fluidos es el número de Froude. Este es la relación entre la fuerza requerida para detener una partícula y la fuerza de gravedad; que es la relación de la inercia y la aceleración de la gravedad dada por la siguiente ecuación:

$F=U/\sqrt{gL}$ donde **F** es el número de Froude, **U** es la velocidad de la partícula, **L** la inercia de la partícula y **g** la aceleración de la gravedad. Para canales abiertos el término **L** cambia a **D** que es la profundidad del canal.

El número de Froude separa dos tipos de flujo para canales abiertos en corrientes unidireccionales de tracción el primero un régimen bajo con número de Froude menor de 1 y otro régimen de flujo alto mayor a 1 (Selley, 2000) (Figura 6).

Mediante estas dos relaciones se puede explicar la correlación existente entre el tipo de flujo y las diferentes estructuras físicas presentes en el sedimento producto de cada uno de ellos.

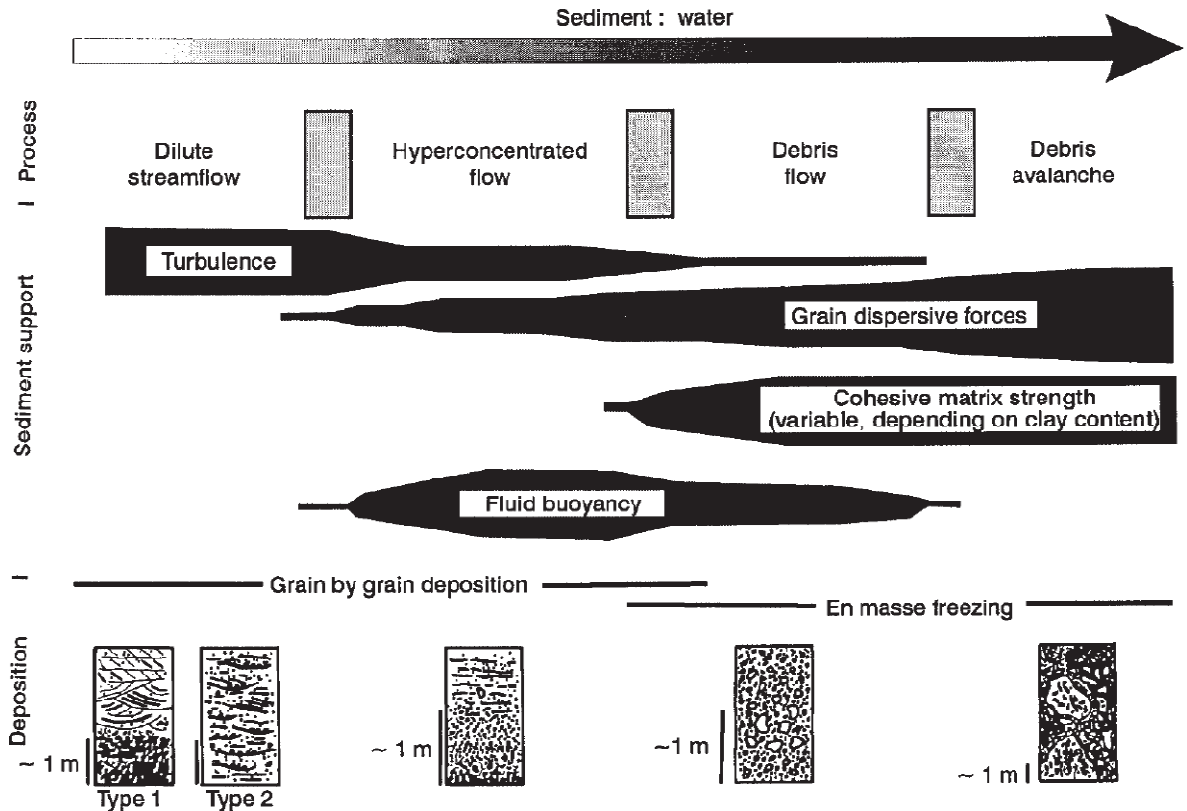
Figura 6. Arriba número de Froude (F) mayor a 1, se presentan laminación plana y antidunas. Abajo número de Froude (F) menor que 1, se presentan ripples y dunas



Fuente Selley, 2000

4.1.2.1 Flujos en Masa a Flujos Acuosos. El material suelto en las laderas puede arrastrarse lentamente colina abajo como acumulación de rocas o puede moverse más rápidamente como flujos en masa o en flujos acuosos. Es conveniente tener en cuenta los flujos en masa y los flujos acuosos ya que juntos forman un continuo que va desde avalanchas de detritos hasta flujos de detritos y flujos hiperconcentrados a flujos acuosos diluidos (Figura 7). El hielo y el aire son más diferentes (Brookfield, 2004).

Figura 7. Mecanismos de soporte en sedimentos y depósitos típicos de flujos en masa a flujos acuosos



Fuente Smith y Lowe, 1991 en Brookfield, 2004

4.1.2.1.1 Avalancha de Detritos. Son flujos granulares turbulentos, inerciales causados por grandes deslizamientos en los cuales las partículas son simplemente lubricadas por fluidos ambientales (aire en la tierra, agua en un medio subacuático), que fácilmente escapan de entre los granos como la energía se pierde y los clastos más grandes pueden impactar fácilmente durante el movimiento. Estos deslizamientos pueden moverse muy lentamente, como en los glaciares de roca o muy rápidamente, como en pérdidas catastróficas de laderas y pueden ser enormes (Bugge et al. 1988). Los depósitos son característicamente no erosivos, masivos, gruesos, muy pobremente seleccionados, heterogéneos, en

las brechas los clastos individuales pueden ser altamente fracturados y con una matriz infiltrada no seleccionada (Brookfield, 2004) (Figura 8).

Figura 8. Avalancha de detritos y su marca en una ladera, en Baralacha La, Lahul, en el Himalaya, India.



Fuente Brookfield, 2004

4.1.2.1.2 Flujo de Detritos. Son una mezcla de sedimento y fluido, en la cual los clastos de mayor tamaño son soportados por el esfuerzo de la matriz y la flotabilidad del fluido. Una característica distintiva es que el flujo que sirve de soporte no se mezcla con el fluido ambiental. Así el flujo de detritos subaéreo permanece cohesivo y concentrado desde el sitio de movilización hasta el sitio de depósito. Bajo el agua el flujo de detritos puede absorber lentamente más agua llegando a ser más fluido cuesta abajo.

Ambos subaéreo y subacuoso son depósitos no erosivos, masivos, muy mal seleccionados, gravas matriz soportadas, con posible laminación interna debido al cizallamiento y alineación de clastos paralelos al flujo (Brookfield, 2004) (Figura 9).

Figura 9. Flujo de detritos, se observa la matriz soportada y la mala selección, British, Columbia.



Fuente Brookfield, 2004

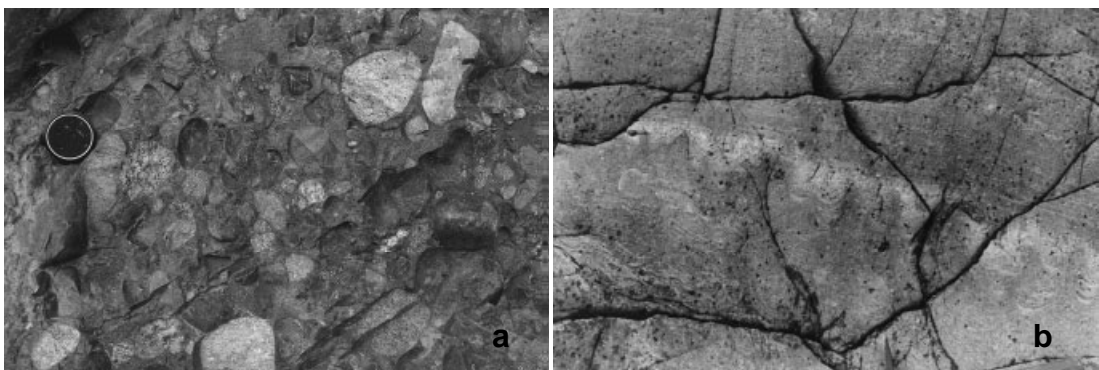
4.1.2.1.3 Flujo Hiperconcentrado. Son flujos intermedios entre viscosos, flujos de detritos no turbulentos y flujos diluidos; completamente flujos de agua turbulentos. Se definen como flujos de alta descarga en los que la turbulencia es no solo el mecanismo de soporte del sedimento y su depositación no ocurre en masa. Los flujos hiperconcentrados son suficientemente fluidos y turbulentos para producir un asentamiento diferencial originando capas gradadas.

Predominan la viscosidad extrema, la flotabilidad del fluido y las fuerzas dispersivas entre granos. Los flujos fluidos de detritos generan depósitos gradados de lodolitas guijarrosas (Figura 10a) mientras los flujos de granos (arenas granulares) se depositan en capas masivas o gradadas con estructuras de escape de agua (dish) (Figura 10b). Al final del fluido, domina la turbulencia y la migración de estructuras de depósitos gradados con estratificación cruzada en arenas y limos.

Los flujos hiperconcentrados diluidos conocidos como corrientes turbidíticas, con frecuencia muestran una secuencia vertical de estructuras características llamada Secuencias Bouma producto de la depositación progresiva durante la gradual desaceleración del flujo (Figura 11).

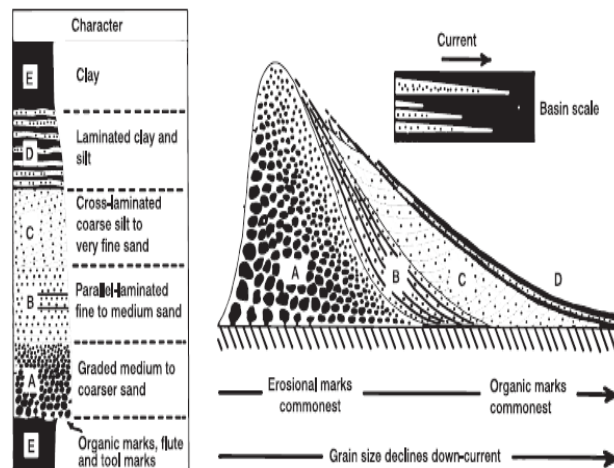
En adición, la turbulencia en estos flujos causa erosión del substrato antes de la depositación. Las corrientes turbidíticas muestran una variedad de estructuras producidas por las partículas o por sus vórtices que impactan y erodan la capa infrayacente (Figuras 12a y 12b) (Brookfield, 2004).

Figura 10. Flujos hiperconcentrados a) fluidos de detritos b) flujos granulares en arenas



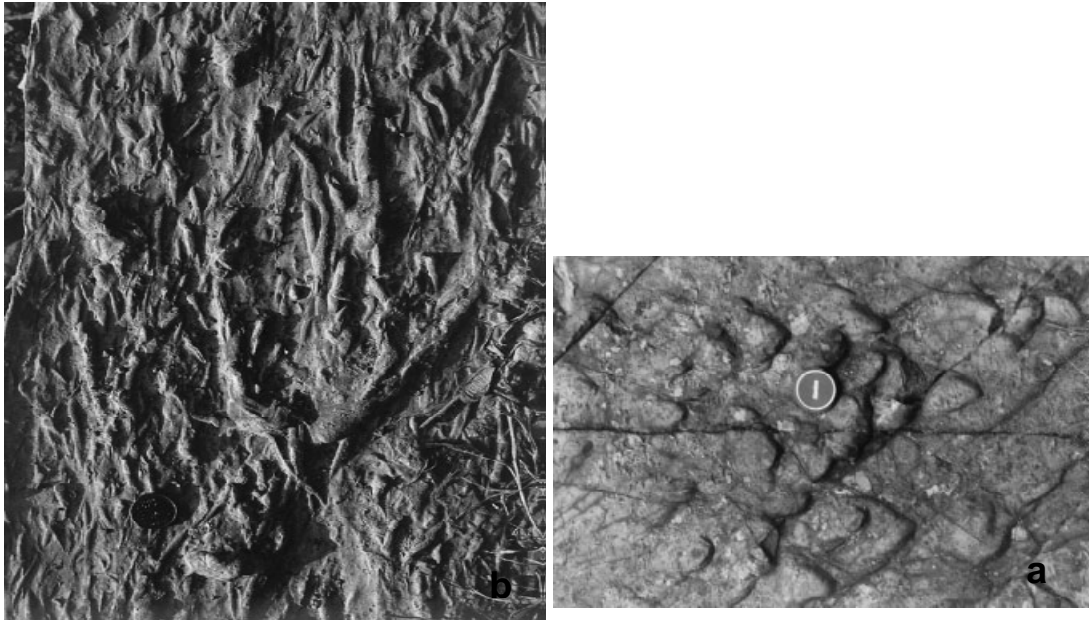
Fuente Brookfield, 2004

Figura 11. Secuencia Bouma, la dirección de la corriente es de izquierda a derecha, el tamaño de grano disminuye a la derecha de la figura



Fuente Brookfield 2004).

Figura 12. Moldes a la base de arenas Ordovícicas a) vortex scours b) tool marks.



Fuente Brookfield, 2004

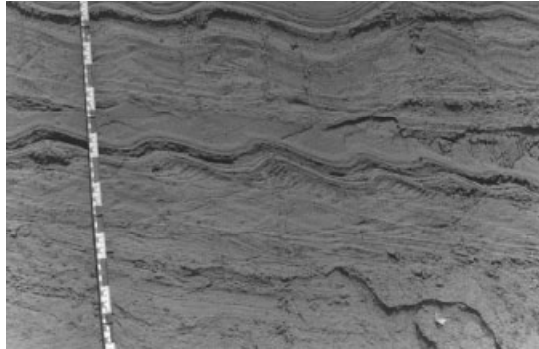
4.1.2.1.4 Flujos de Agua Diluidos. Es un flujo casi completamente turbulento excepto por una lamina delgada cerca al lecho. La turbulencia es el principal mecanismo de soporte de sedimentos y la depositación ocurre grano por grano, ya sea por partes basales de tracción moviéndose en migración de formas de fondo o de suspensión y asentamiento directamente afuera en la superficie.

Las formas de migración presentan variedad de estratificaciones cruzadas dependiendo del suministro de sedimento, tasa de crecimiento de formas de lecho (o de fondo) y tipo de flujo de corriente. Los flujos que desaceleran en los sedimentos saturados depositan sedimento en formas de fondo rápidamente ascendentes pasando a depósitos de suspensión (Figura 13).

En sedimentos insaturados, la escases de sedimento o los flujos estables depositan formas de fondo erosivas, como dunas o ripples, si el flujo es rápido se forman láminas paralelas con lineaciones causado por el barrido sobre la capa

límite. Dependiendo de la profundidad del flujo, varias jerarquías de estructuras de formas de fondo pueden coexistir (Brookfield, 2004).

Figura 13. Ripples ascendentes en arena fina con una cubierta de limo o arcilla.



Fuente Brookfield 2004

4.1.3 Análisis Textural

Al contrario de los sedimentos más finos los conglomerados tienen la facilidad de tomar medidas directas en campo debido al tamaño de sus clastos lo que facilita su análisis textural.

Los principales parámetros usados en este análisis son: tamaño de grano, clasificación, redondez, esfericidad, forma, así como el tipo de matriz y la fábrica que los soporta.

- **Tamaño de Grano**

Los conglomerados tienen un tamaño de grano predominante por encima de los 2 milímetros presentándose 4 tipos para los tamaños de grano que en su orden son los siguientes: granules, pebbles, cobbles y boulder (gránulos, guijarros, cantos y bloques) (Figura 20).

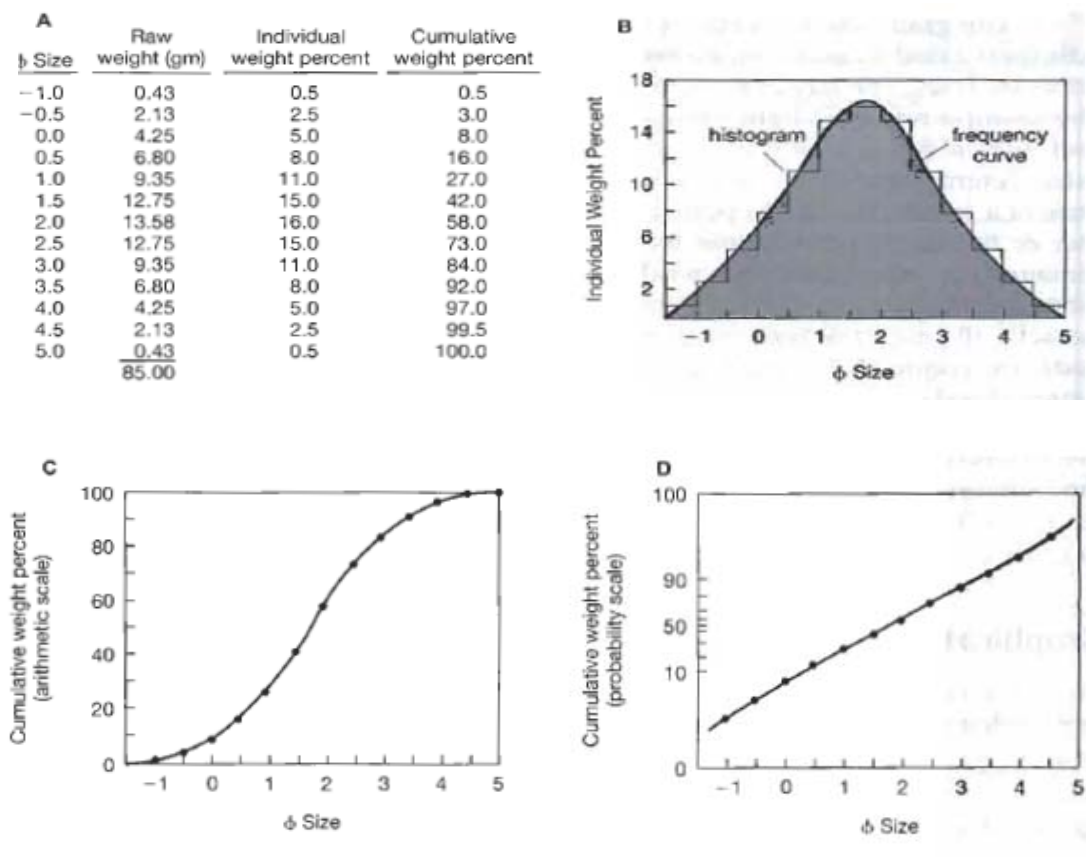
Los análisis gráficos del tamaño de grano son muy útiles y generalmente se utiliza la clasificación logarítmica propuesta por Krumbein, 1934.

$$\phi = -\log_2 d$$

Donde d es el diámetro de la partícula. Por ejemplo una partícula de 4 mm tiene un tamaño phi de -2 ($\phi = -2$).

En las gráficas de tamaño de grano se plotea el tamaño de grano phi (ϕ) contra el porcentaje generando histogramas como el que se observa en la (Figura 14).

Figura 14. Gráficas de tamaño de grano. a) Tabla de datos. c) Histograma. c) Escala aritmética. d) Escala probabilística.

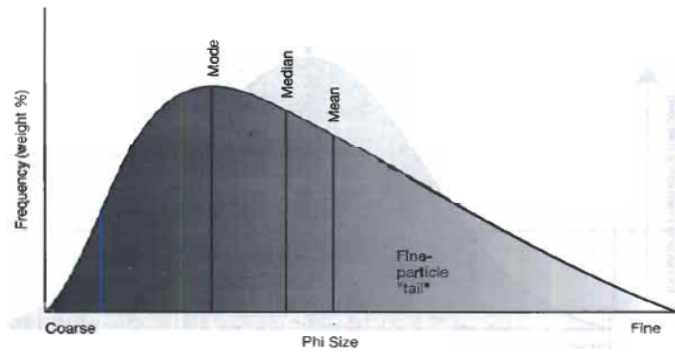


Fuente de Boggs, 2006.

- **Medidas Matemáticas.**

Las medidas más utilizadas son la moda que corresponde al valor que más se repite, la media al valor promedio aritmético y la mediana al valor intermedio (Figura 15).

Figura 15. Diferente distribución para la media, la moda y la mediana.

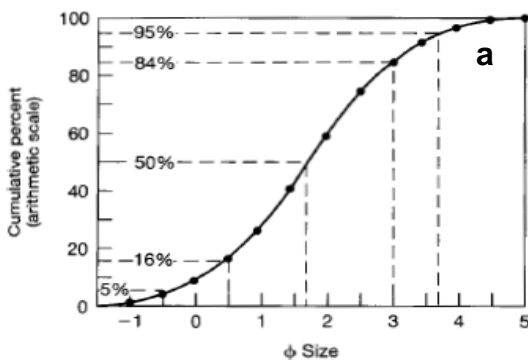


Fuente Boggs, 2006

Las gráficas de percentiles son muy útiles y facilitan la determinación de otros parámetros como la desviación estándar y la curtosis entre otros (Figura 16).

Formulas estadísticas.

Figura 16. A) Gráfica de percentiles. B) Formulas estadísticas.



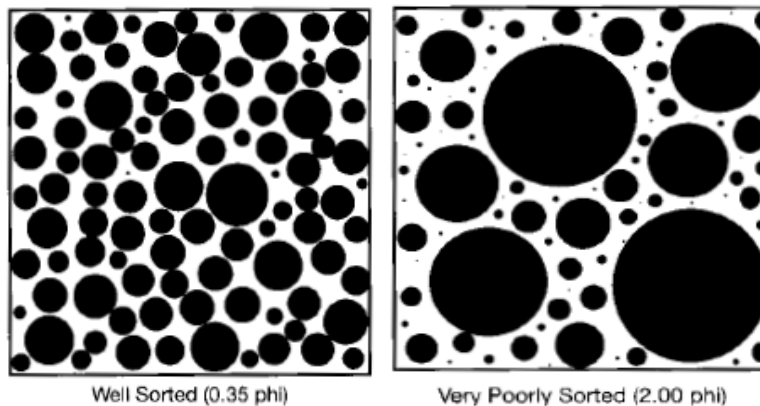
| | | |
|--------------------------------------|--|--------------|
| Graphic mean | $M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$ | b (1) |
| Inclusive graphic standard deviation | $\sigma_i = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$ | (2) |
| Inclusive graphic skewness | $SK_I = \frac{(\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$ | (3) |
| Graphic kurtosis | $K_G = \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$ | (4) |

Fuente Boggs, 2006

- **Selección**

Según la disposición del tamaño de grano sea homogénea a muy heterogénea, se pueden determinar el tipo de selección basado en estimaciones visuales o según la desviación estándar (Figura 17).

Figura 17. Arriba estimaciones visuales de la clasificación. Abajo estimaciones basadas en la desviación estándar.



| Standard Deviation | |
|--------------------|-------------------------|
| $<0.35\phi$ | very well sorted |
| $0.35-0.50\phi$ | well sorted |
| $0.50-0.71\phi$ | moderately well sorted |
| $0.71-1.00\phi$ | moderately sorted |
| $1.00-2.00\phi$ | poorly sorted |
| $2.00-4.00\phi$ | very poorly sorted |
| $>4.00\phi$ | extremely poorly sorted |

Fuente Boggs, 2006

- **Redondez**











Es el grado de superficies curvas de las partículas, así una partícula muy angulosa tendrá una redondez baja (Figura 19c).

- **Forma**

Determinada por las proporciones de los ejes corto, mediano o intermedio y largo (Figuras 18, 19a y b).

En general, la forma y la esfericidad de los guijarros (pebbles) refleja su composición, así como los planos de debilidad, mientras su redondez refleja el grado de retrabajamiento y transporte (Stow, 2005).

Figura 18. Se aprecian diferentes tipos de formas. En compactas (compact) se encuentran formas ecuanter y esféricas; en aplanadas (platy) se encuentran formas achatadas (elipsoides), discos, etc; las formas laminares (bladed) y en alargadas (elongated) se encuentran formas como barras, varas, rodillos, etc.

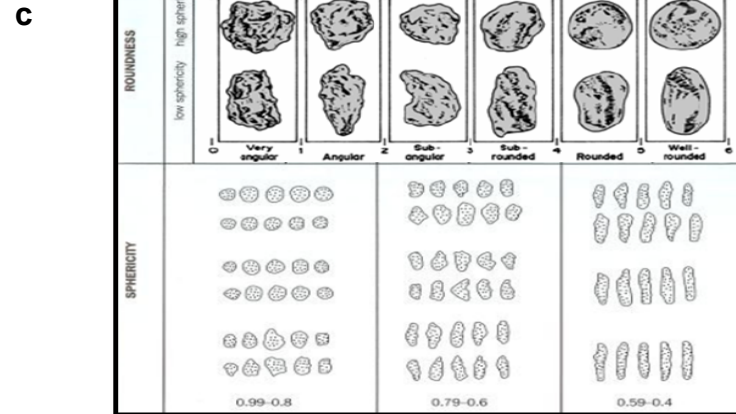
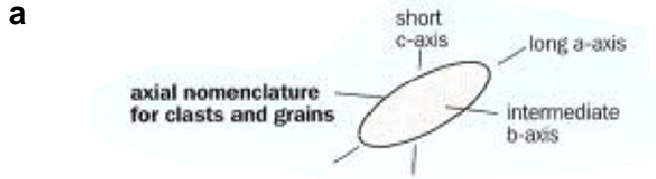
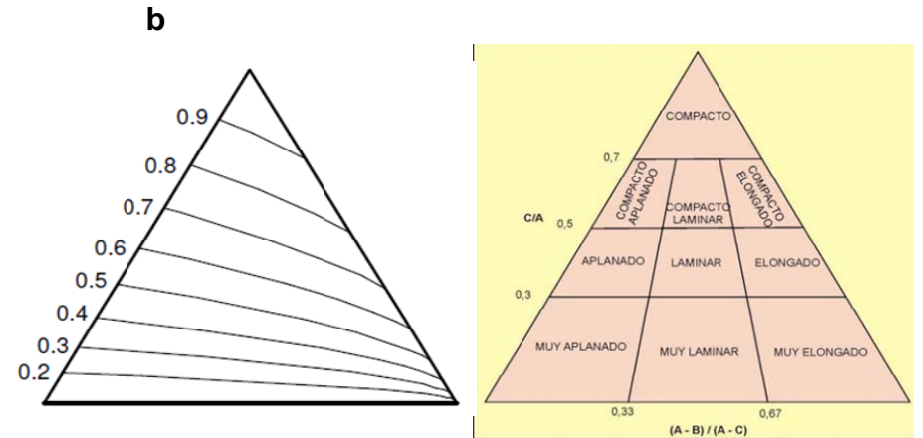
| aspect | type | interpretation/derivation |
|--------------|--|--|
| SHAPE |  spherical  equant | from rocks of uniform composition and structure (e.g. granite, dolerite, sandstone, gneiss, etc) |
| |  tabular  disk-like | from very thin-bedded rocks and platy minerals (e.g. many sedimentary rocks, micas) |
| |  prolate  bladed  rod-like | from cleaved, schistose and some metamorphic rocks; also from elongate minerals (e.g. slates, schists, some gneisses, etc) |
| |    biogenic (various) | from any primary or secondary biogenic source |

Fuente Stow, 2005).

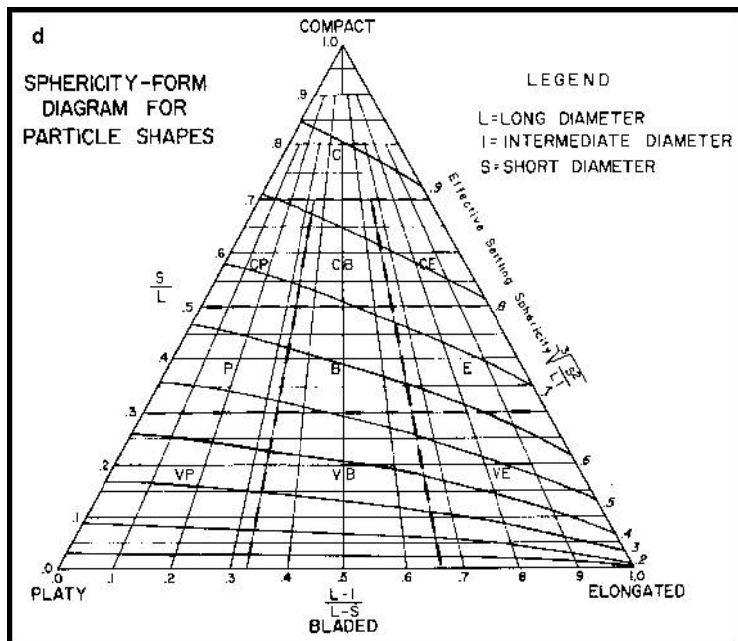
- **Esfericidad**

La esfericidad es una estimación de que tan cercana esta una partícula en su forma a la de una esfera. Se utilizan métodos visuales (Figura 19c) y estadísticos mucho más exactos basados en los ejes de una partícula, se pueden dar diferentes formas según la disposición de los ejes (Figura 19a y b) su valor es más esférico si se aproxima a uno, que es la razón entre los dos ejes principales. Las formas aumentan su esfericidad hacia la cúspide de la pirámide siendo las formas compactas las de mayor esfericidad, las formas laminares las de una esfericidad baja a moderada y las muy laminares las de una esfericidad baja (Figura 19d).

Figura 19. a) Ejes principales de una partícula, formas derivadas y esfericidad. S(c)= eje corto, l(b)= eje intermedio, L(a)= eje mayor o largo. b), c) y d) grado de redondez y esfericidad. b) La gráfica de la parte izquierda indica esfericidad y va desde 0 a 1 de abajo hacia arriba, la gráfica a la derecha relaciona los ejes de la partícula en la gráfica a) con las formas. c) Escala de redondez de Maurice Powers (1953) usada para estimar la redondez de las partículas sedimentarias va de 0 a 1 de izquierda a derecha y tabla comparativa entre redondez y esfericidad (Stow, 2005). d) Clasificación de formas en guijarros unifica las gráficas a), b) y c) donde V = Muy (very), B = Laminar (bladed), C = Compacto (compact), E = Elongado (elongated), P = Aplanado (platy).



| Cód. Intervalo | Intervalo de redondez | Valor medio del intervalo | Calificación | Esfericidad (Stow, 2005) |
|----------------|-----------------------|---------------------------|----------------|--------------------------|
| 0 - 1 | 0,12 - 0,17 | 0,14 | Muy angular | 0,99 - 0,8 |
| 1 - 2 | 0,17 - 0,25 | 0,21 | Angular | |
| 2 - 3 | 0,25 - 0,35 | 0,30 | Subangular | |
| 3 - 4 | 0,35 - 0,49 | 0,41 | Subredondeado | 0,79 - 0,6 |
| 4 - 5 | 0,49 - 0,70 | 0,59 | Redondeado | |
| 5 - 6 | 0,70 - 1 | 0,84 | Muy redondeado | 0,59 - 0,4 |



Fuente de Tucker, 2003; Sneed y Folk, 1958; Folk, 1980

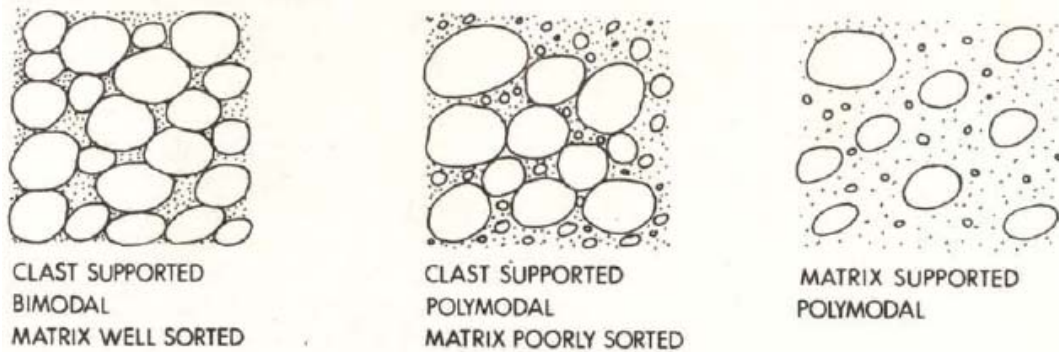
- **Fábrica y Orientación**

La fábrica es la disposición espacial de las partículas dentro del cuerpo de roca y su orientación (Figura 20b). Se presentan predominantemente dos tipos de fábricas o soportes de las partículas, clasto soportada, en la cual los clastos aparecen tocándose unos con otros y matriz soportada en la cual los clastos aparecen flotando dentro de una matriz de menor tamaño generalmente lodoso o arenoso (Figura 20a). Tomado de Tucker, 2003.

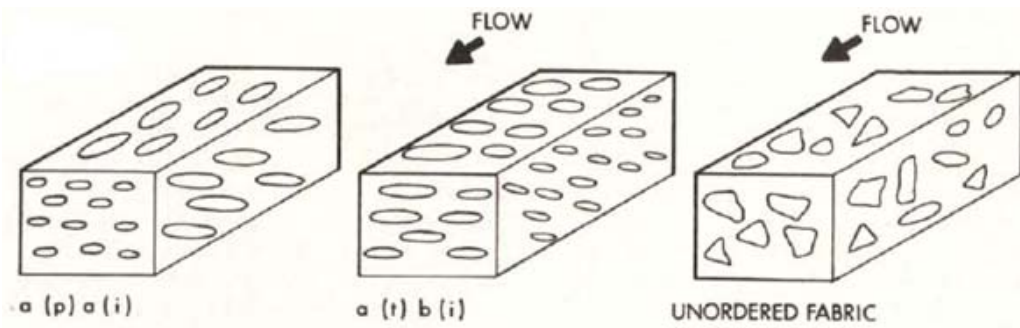
La Estratificación puede ser horizontal o inclinada y está marcada por capas alternadas de diferentes composiciones de clastos, tamaños, selección o fábrica. La gradación cambia progresivamente en el tamaño de clastos de base a tope de capas individuales. Esta puede ser normal (decrecimiento de tamaño de grueso a fino) o inversa (crecimiento de tamaño de fino a grueso) las condiciones pueden estar restringidas a pocos o a muchos de centímetros de capas (Tomado de Harms et al., 1975).

Figura 20. Descripción de las características para conglomerados. A. Tipos de fábrica según la moda y disposición espacial. B. Fabrica, el código a(p) a(i) indica que el eje a es paralelo al flujo e imbricado y a(t) b(i) indica que el eje a es transversal al flujo con el eje b imbricado. C. Estratificación. D. Gradación

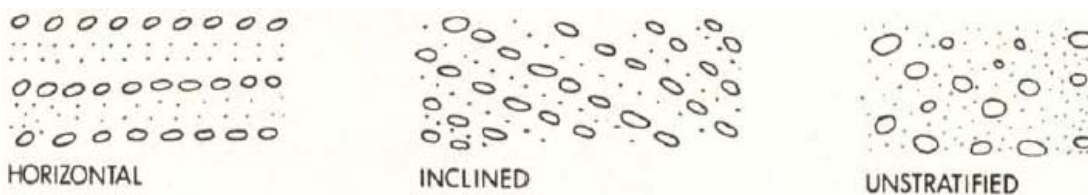
A. Selección y Distribución del Tamaño



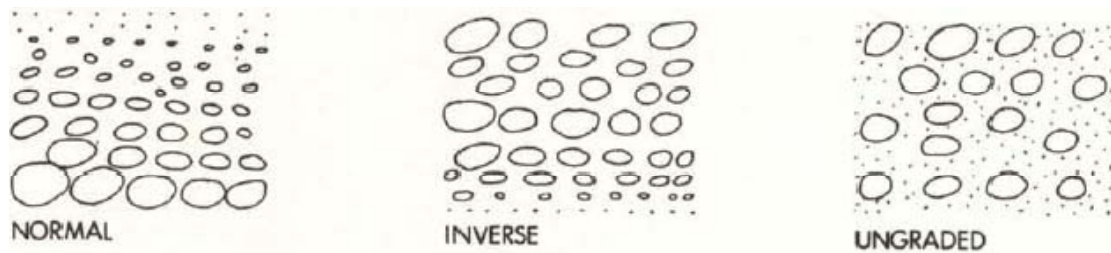
B. Fabrica



C. Estratificación



D. Gradación



Fuente Harms, et al., 1975

4.1.4 Conglomerados

Los conglomerados son todas aquellas rocas sedimentarias que consisten predominantemente de granos de tamaño superior a 2 mm (Figura 21). Estrictamente hablando los conglomerados deben contener más del 50% de sus clastos por encima de los 2 mm en diámetro, para porcentajes menores los términos adecuados son arenas conglomeráticas o lodolitas conglomeráticas. Los sedimentos pobremente seleccionados o no seleccionados que contienen un amplio rango de tamaños de clastos (pebbles, cobbles, boulders; Figura 21) en una matriz lodosa también son llamados diamictitas. Algunos autores utilizan este término con conglomerados lodosos y lodolitas guijarrosas en depósitos glaciales (también conocidos como till o tillitas). Los conglomerados, en los que los clastos son separados por sedimentos de grano más fino son conocidos como matriz soportados, mientras aquellos en los cuales los clastos están en contacto entre ellos se conocen como clasto soportados. Los conglomerados con predominancia de clastos angulares en lugar de redondeados se conocen como conglomerados angulares o brechas.

En base al origen de los clastos, existen conglomerados intraformacionales y extraformacionales. Los clastos intraformacionales son los derivados dentro de la misma cuenca de depositación y frecuentemente contienen shales o calizas

micríticas. Los clastos extraformacionales son aquellos derivados fuera de la cuenca y pueden incluir una amplia variedad de tipos (Figura 22).

Según la variedad de clastos se pueden diferenciar varios tipos: conglomerado polimíctico contiene diferentes tipos de clastos, oligomíctico contiene pocos tipos de clastos y monomíctico contiene un sólo tipo de clasto. De este modo los conglomerados extraformacionales y brechas incluyen subtipos polimícticos, oligomícticos y monomícticos; los conglomerados intraformacionales y brechas incluyen principalmente tipos monomícticos.

En algunos casos, los conglomerados angulares o brechas son formados in situ por ruptura, colapso o solución. Tales rocas son denominadas brechas cataclásticas y brechas de solución. Donde el tamaño del clasto es extremadamente grande, entonces el término megabrecha o mega-conglomerado puede ser usado, cualquiera que sea el origen (Figura 22) (Stow, 2005).

La relación entre la presencia de matriz con el tipo de flujo, en general esta puede establecerse así: Los conglomerados depositados por flujos fluidos (fluid flows) generalmente tienen fábrica grano soportada. En tanto que los depósitos glaciales, flujos de lodo y flujos de detritos comúnmente tienen fábrica matriz soportada, indicando condiciones de abundante sedimento fino y transporte en masa o con poco retrabajamiento (Figura 41).

Figura 21. Escala de tamaño de grano comparativo Software Gradistat.

| Grain size | | Descriptive terminology | | |
|------------|-------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| phi | mm/ μ m | Udden (1914) and Wentworth (1922) | Friedman and Sanders (1978) | GRADISTAT program |
| | | | Very large boulders | |
| -11 | 2048 mm | | Large boulders | Very large |
| -10 | 1024 | | Medium boulders | Large |
| -9 | 512 | Cobbles | Small boulders | Medium |
| -8 | 256 | | Large cobbles | Small |
| -7 | 128 | | Small cobbles | Very small |
| -6 | 64 | | | |
| -5 | 32 | | Very coarse pebbles | Very coarse |
| -4 | 16 | Pebbles | Coarse pebbles | Coarse |
| -3 | 8 | | Medium pebbles | Medium |
| -2 | 4 | | Fine pebbles | Fine |
| -1 | 2 | Granules | Very fine pebbles | Very fine |

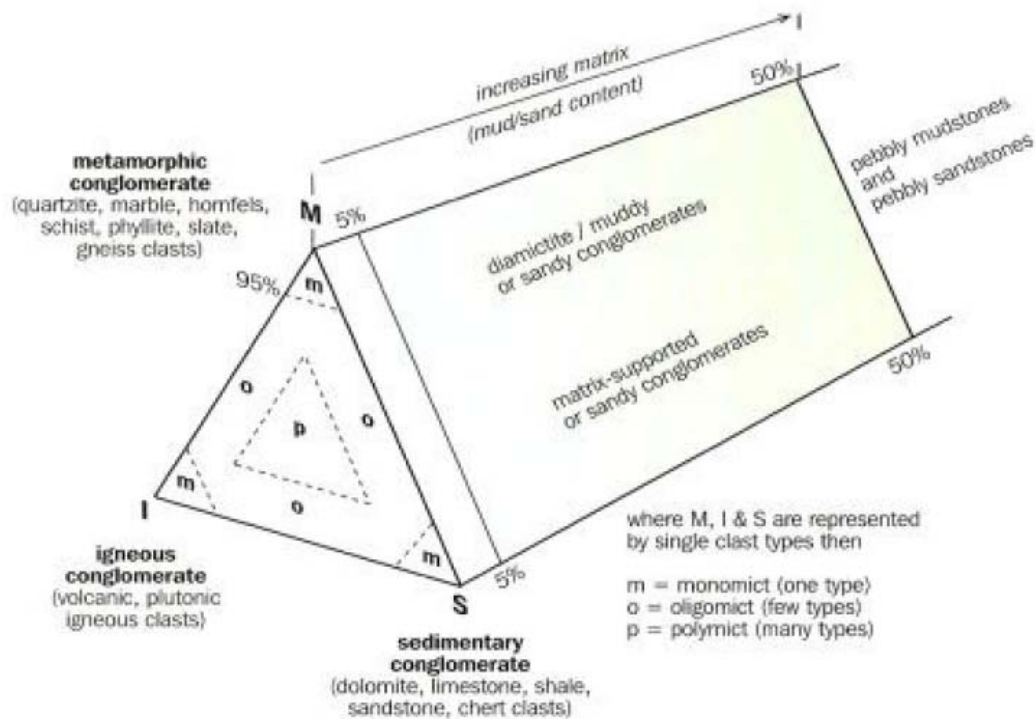
Fuente Blott and Pye, 2001

Figura 22. Principales tipos genéticos de conglomerados (de acuerdo al origen de sus clastos).

| Major types | Subtypes | Origin of clasts |
|-------------------------------------|--|---|
| Epiclastic conglomerate and breccia | Extraformational conglomerate and breccia | Breakdown of older rocks of any kind through the processes of weathering and erosion; deposition by fluid flows (water, ice) and sediment gravity flows |
| | Intraformational conglomerate and breccia | Penecontemporaneous fragmentation of weakly consolidated sedimentary beds; deposition by fluid flows and sediment gravity flows |
| Volcanic breccia | Pyroclastic breccia | Explosive volcanic eruptions, either magmatic or phreatic (steam) eruptions; deposited by air-falls or pyroclastic flows |
| | Autobreccia | Breakup of viscous, partially congealed lava owing to continued movement of the lava |
| | Hyaloclastic breccia | Shattering of hot, coherent magma into glassy fragments owing to contact with water, snow, or water-saturated sediment (quench fragmentation) |
| Cataclastic breccia | Landslide and slump breccia | Breakup of rock owing to tensile stresses and impact during sliding and slumping of rock masses |
| | Tectonic breccia: fault, fold, crush breccia | Breakage of brittle rock as a result of crustal movements |
| | Collapse breccia | Breakage of brittle rock owing to collapse into an opening created by solution or other processes |
| Solution breccia | | Insoluble fragments that remain after solution of more soluble material; e.g., chert clasts concentrated by solution of limestone |
| Meteorite impact breccia | | Shattering of rock owing to meteorite impact |

Fuente Boggs, 2006

Figura 23. Clasificación de conglomerados basada en el tipo de clastos y el contenido de matriz. En cada uno de los tipos principales (metamórficos, ígneos y sedimentarios) es posible tener variedades monomícticos, oligomícticos y polimícticos.



Fuente Stow, 2005

Existe otra clasificación de conglomerados basada en el tipo de clastos y su contenido de matriz, teniendo en cuenta los porcentajes de clastos: M= Metamórficos, I= Ígneos; S= Sedimentarios. El porcentaje de matriz existente es representado por el vector extendiéndose hacia la parte trasera del diagrama ternario, usándose los términos, monomíctico (un tipo de clasto), oligomíctico (pocos tipos) y polimíctico (muchos tipos). Los conglomerados clasto soportados contienen menos de un 5 por ciento de matriz (<5%) y los conglomerados matriz soportados contienen más matriz, por lo menos 5% (Figura 23).

- **Origen y Ocurrencia de Conglomerados**

Los conglomerados que están compuestos predominantemente de clastos más estables y duraderos, ultra-estables (es decir, > 90% de cuarcita, chert y cuarzo de vena) son denominados conglomerados cuarzosos. Aquellos conglomerados polimícticos que están compuestos en gran medida de una mezcla de clastos inestables o metaestables tales como el basalto, caliza, shale y filitas metamórficas son llamados conglomerados petromícticos (Tabla 1) (Pettijohn, 1975; Stow, 2005; Boggs, 2006).

Los conglomerados cuarzosos (oligomícticos) pueden derivarse de rocas metasedimentarias que contienen capas de cuarcita, rocas ígneas que contienen venas de cuarzo y sucesiones sedimentarias que contienen chert todos estos son ultraestables y sobreviven al transporte mucho más que la mayoría de clastos debido a su dureza y contenido en sílice. Estos tienden a depositarse como delgadas capas de guijarros en unidades arenosas. La mayoría de conglomerados cuarzosos se reportan en ambientes fluviales así como también en zonas de playa asociados a procesos de alta energía y retrabajamiento.

La mayoría de conglomerados petromícticos pueden provenir de muchos tipos de rocas ígneas plutónicas, volcánicas, metamórficas y sedimentarias, aunque los clastos en un conglomerado particular pueden ser predominantes unos u otros en este tipo de roca.

Los conglomerados petromícticos pueden ser transportados por mecanismos de flujos fluidos y flujos de sedimentos gravitacionales, la preservación de grandes espesores de conglomerados implica rápida erosión de áreas elevadas o de un vulcanismo activo (Boggs, 2006) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de conglomerados según la cantidad de clastos ultraestables y tipo de fábrica

| Percentage of ultrastable clasts | Type of fabric support | |
|-------------------------------------|------------------------|----------------------|
| | Clast-supported | Matrix-supported |
| >90 | Quartzose conglomerate | Quartzose diamictite |
| <90 | Petromict conglomerate | Petromict diamictite |

Fuente Boggs, 2006

4.2 MARCO TEORICO DE PALEOCORRIENTES

En el estudio de las paleocorrientes se tienen en cuenta las metodologías más destacadas para la toma de datos una de estas es la metodología de Decelles del año 1983, en la cual se presenta un método de medición y toma de datos para la estratificación cruzada en artesa, basado en su geometría y simetría respecto a su eje axial y sus limbos.

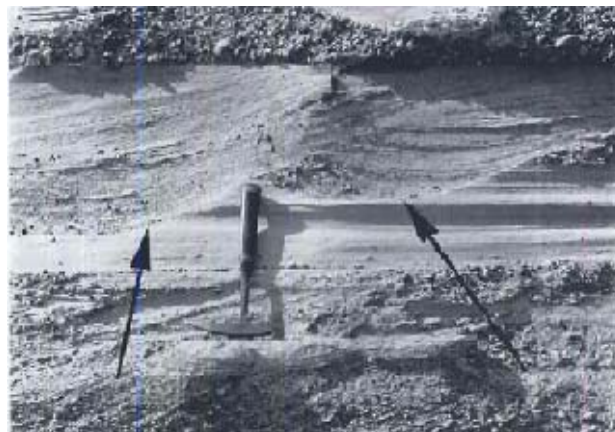
- **Estratificación Cruzada en Artesa**

Es un tipo de estratificación cruzada en la cual una o las dos superficies limitantes son curvas (Figura 24). Las unidades tienen forma de artesa o cubeta formada por sets que consisten de unas socavaciones elongadas llenadas por láminas curvas que comúnmente tienen una relación tangencial con la base del set.

Este tipo de estratificación se puede formar por migración de pequeñas ondulitas de corriente o a gran escala por migración de dunas con espesores de decenas de centímetros y anchos de menos de un metro a más de 4 metros.

Esta laminación se presenta en diversos ambientes siendo estos fluvial, eólico o marino con una velocidad de flujo que puede ser de media a alta (Boggs, 2006).

Figura 24. Se observa la forma plana hacia el techo y la forma curva en la base formando la estratificación cruzada en artesa con láminas inclinadas.



Fuente Boggs, 2006

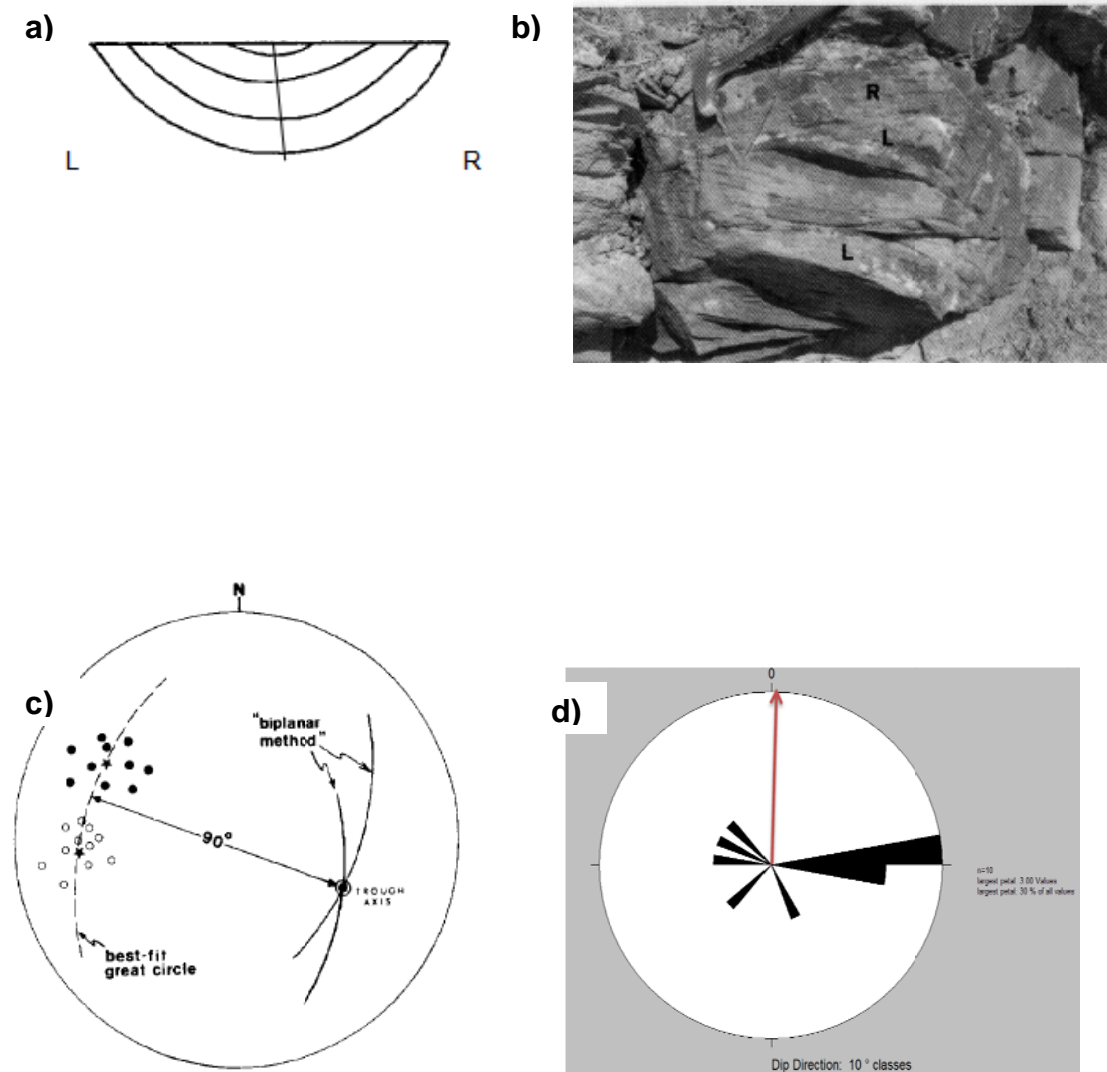
4.2.1 Metodología de DeCelles

- **Toma de Datos**

Se deben tomar de 15 a 30 medidas de rumbo y buzamiento divididas entre los dos limbos (limbo izquierdo L y limbo derecho R) (Figura 25a y 25b), adicionalmente se requiere tomar el dato estructural del estrato (rumbo y buzamiento).

Se realiza corrección por buzamiento de la capa y se plotean los datos para generar la dirección de paleocorriente (Figura 25c).

Figura 25. a) L y R son los dos limbos donde se toman las medidas. b) En campo generalmente aparecen los limbos de esta forma y de igual manera se toman de 15 a 30 medidas en cada limbo. c) Una imagen de los datos ya ploteados y corregidos en el software Stereonet. d) Diagrama de rosetas y dirección principal de paleocorrientes (flecha roja).

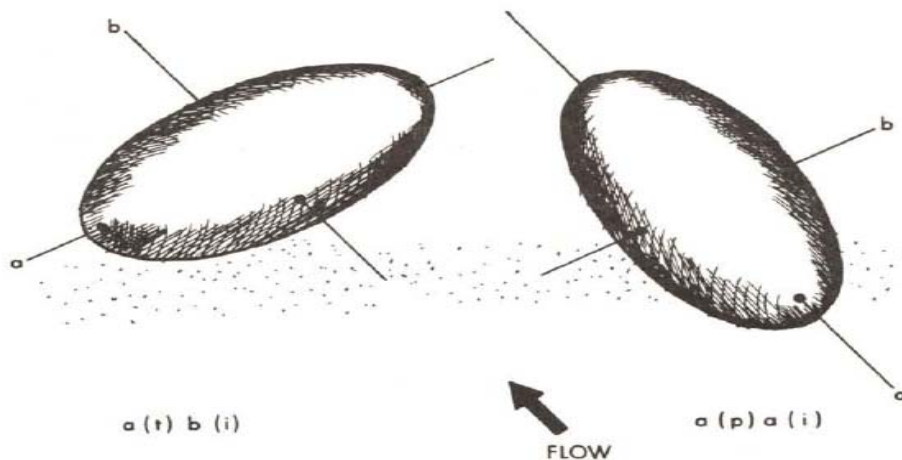


Fuente Decelles, 1983

- **Imbricación de Clastos**

Existen dos tipos de imbricación de acuerdo al eje del clasto que se coloque paralelo al flujo (Figura 26) y desarrollan fábricas que son de dos clases, una donde el eje **a** es transversal o perpendicular al flujo y el eje **b** esta buzando aguas arriba, otra en la cual el eje **a** es paralelo al flujo y esta buzando aguas arriba. Estos tipos de fábricas pueden ser codificadas como **a(t) b(i)** significando a(transversal) b(imbricado) y **a(p) a(i)** con a(paralelo) a(imbricado) (Figura 26). La primera fábrica **a(t) b(i)**, es característica por el rodamiento de clastos con el eje mayor “a” de más de 2 cm. La segunda clase de fábrica es poco común y ha sido observada en conglomerados asociados con turbiditas (Harms et al., 1975).

Figura 26. Tipos de imbricación. A la izquierda el eje mayor “a” es transversal al flujo y a la derecha el eje mayor “a” es paralelo al flujo

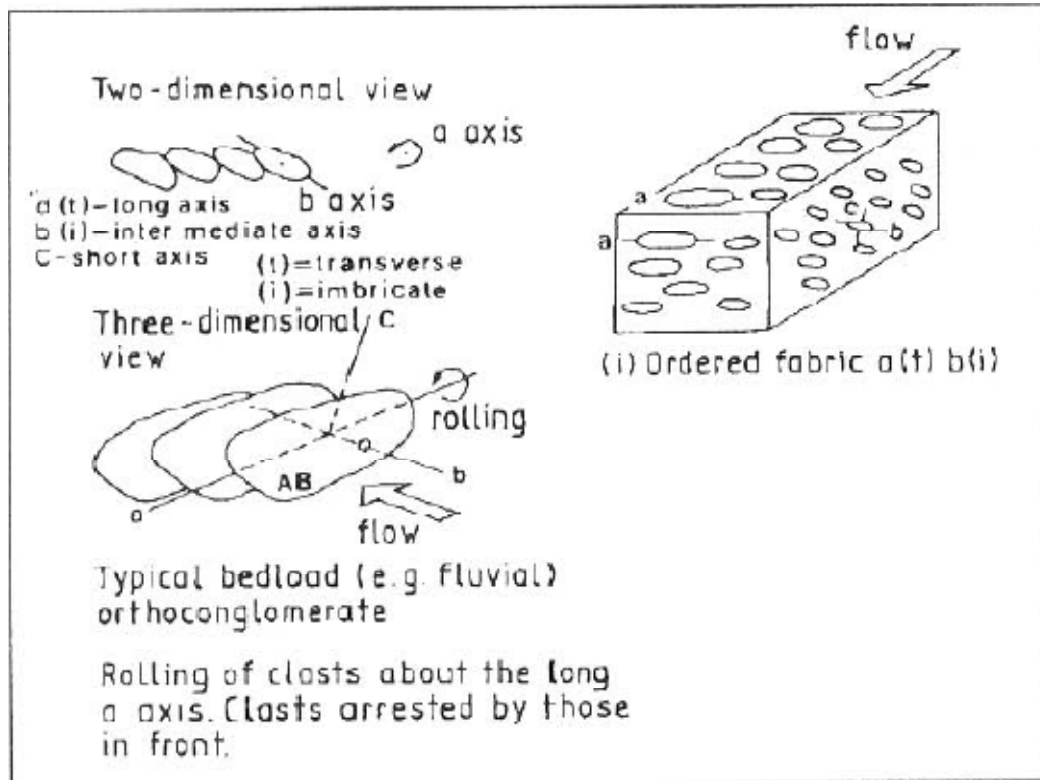


Fuente Harms et al., 1975

Para la medición de la imbricación se mide el rumbo y buzamiento de los clastos imbricados (Figura 27) (Mrinjek, 1993), se toma el rumbo y buzamiento de la capa donde se tomaron las medidas, se realiza la corrección por buzamiento de la capa de las medidas y se plotean los datos para generar la dirección de paleocorriente y

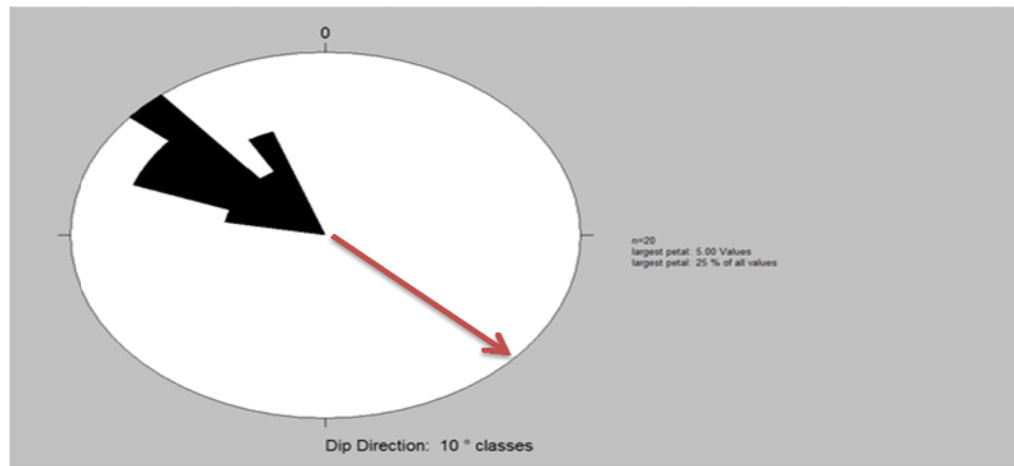
a esta dirección se le quitan 180 grados (Figura 28) debido a que la dirección del flujo va en dirección contraria al buzamiento de los clastos (Mrinjek, 1993).

Figura 27. Disposición de los clastos y toma de medidas de rumbo y buzamiento sobre los ejes a y b.



Fuente Mrinjek, 1993

Figura 28. Diagrama de rosetas para clastos imbricados. La flecha roja indica la dirección de la paleocorriente, 180 grados de las direcciones de imbricación



Fuente rosetas negras.

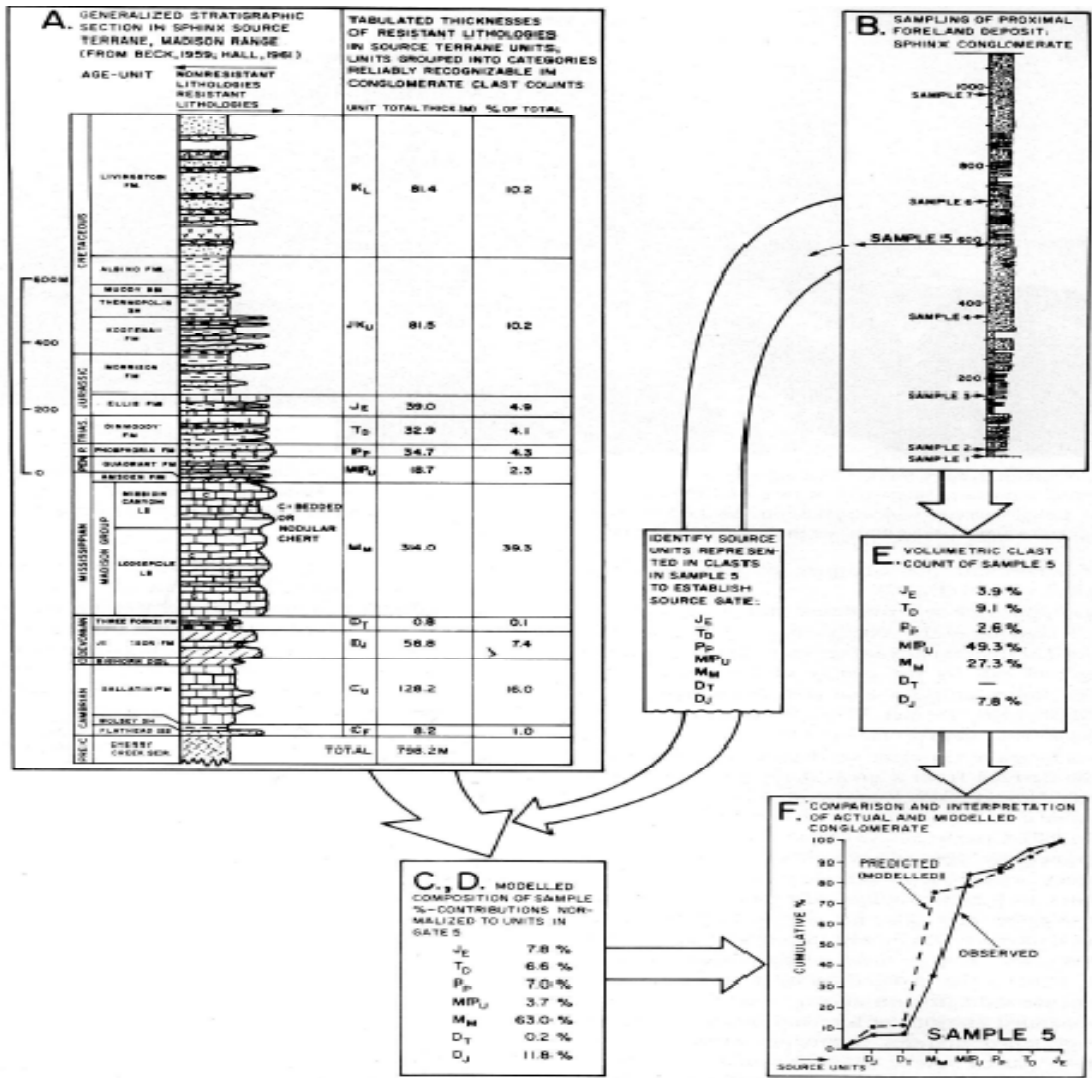
4.3 MARCO TEORICO DE PROVENIENCIA

Para el modelamiento de proveniencia se utilizan la metodologías de Graham et al (1986) y Decelles et al (1991).

Para la construcción de las curvas modeladas se procede a realizar la construcción de la columna generalizada de la posible área fuente, teniendo en cuenta los niveles más resistentes, para éste trabajo se tomó la columna generalizada de las Formaciones potenciales para generar clastos tamaño grava en la Cordillera Central de Caballero, 2010. Con estos datos de espesores y litologías de aporte se hace un recuento y se sacan los porcentajes de las diferentes litologías en la columna generalizada. Posterior a esto se tabulan los porcentajes de clastos medidos en afloramiento y se modelan los datos para cada litología, luego se realizan curvas acumulativas donde se compara el conteo hecho en campo con las curvas modeladas de la posible área fuente y en esta comparación se observa cómo es la relación de estas curvas y así se determina si

existe una relación con las curvas modeladas o si existen diferencias relacionadas con una sub estimación o sobre estimación del porcentaje acumulado utilizado para las curvas modeladas (Figura 29) (Graham et al., 1986; Decelles et al., 1991).

Figura 29. Aplicación del modelamiento de proveniencia. A) columna generalizada y datos de espesor y porcentaje para las formaciones resistentes del área fuente. B) muestreo de los afloramientos a comparar. C) y D) porcentaje de contribución de las Formaciones fuente. E) conteo volumétrico del muestreo de afloramiento. F) comparación de la curva modelada y la curva medida en afloramiento



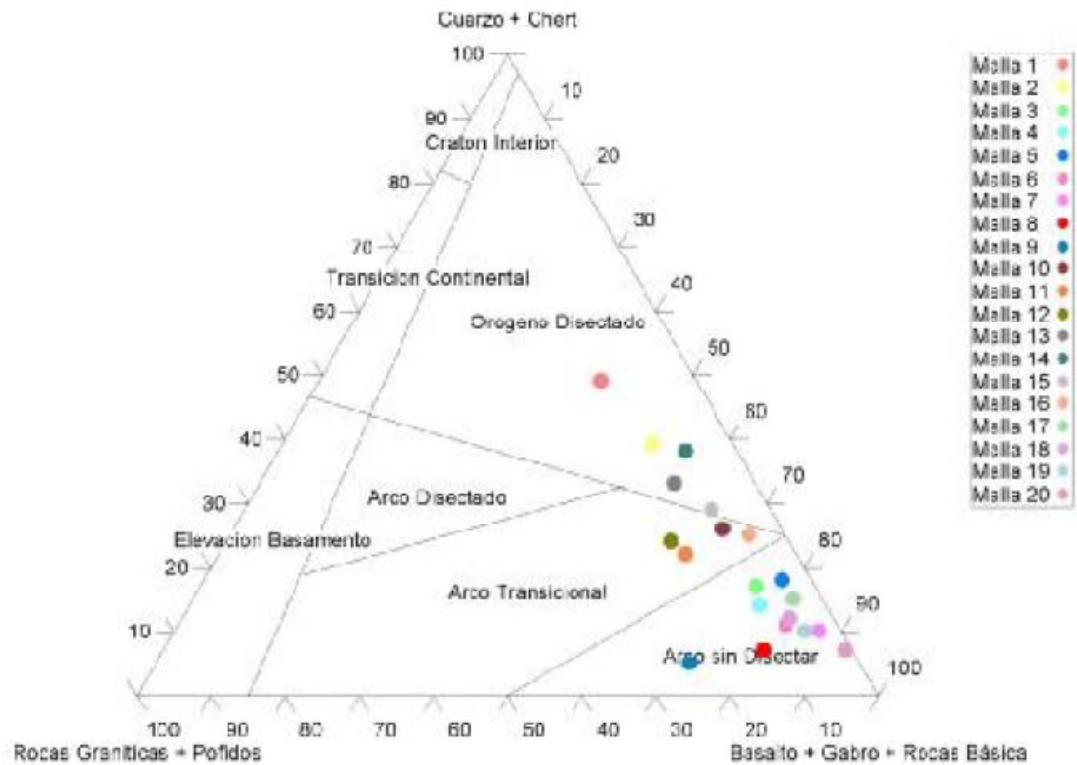
Fuente Graham et al., 1986

4.3.1 Diagramas Ternarios de Composición

Los diagramas ternarios de composición en conglomerados se usan para establecer la relación de estos con el ambiente tectónico y la relación entre diferentes afloramientos.

Estos diagramas ternarios se construyen de forma similar a los diagramas realizados para el conteo en arenas (Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson, 1985), en los cuales los vértices corresponden a Cuarzo, Feldespato y Líticos y se utiliza un tamaño de arena media para realizar los conteos, en el caso de los conglomerados se ha realizado diagramas de este tipo reemplazando los respectivos vértices por litologías equivalentes (Figura 30) (Gómez y Suarez, 2009). Para este trabajo los vértices fueron Cuarzo, Arenisca+Chert+Lodolitas y Cuarcita, lo cual impide un reemplazo a los diagramas para areniscas (Dickinson y Suczek, 1979; Dickinson, 1985), debido a la ausencia de litologías claras que reemplacen el contenido de feldespato y de esta manera no se pueden extrapolar los diagramas ternarios de ambiente tectónico. De esta forma la construcción de estos diagramas para este estudio se basa en las relaciones observadas entre los afloramientos, según su posición espacial y tamaño, cada diagrama ternario se hace para un determinado tamaño de clastos y así se determina si existe una correlación entre los afloramientos o si la dispersión de los datos obedece a cambio en el tamaño de grano, ubicación espacial o implicaciones faciales.

Figura 30. Los vértices Cuarzo + Chert, Rocas Graníticas + Pórfidos y Basalto+Gabro+Rocas Básicas; diagramas de este tipo en conglomerados han reemplazado los respectivos vértices por litologías equivalentes.



Fuente de Gómez y Suarez, 2009

4.3.2 Teoría del Conteo de Clastos

El conteo de clastos se realiza para generar datos en porcentaje cuantitativo de uno o más tipos de clastos dentro de una población y esta población puede ser toda la roca o una muestra o un intervalo dependiendo del tipo de estudio, pero en general la población será representativa del total de roca y para cumplir con esto se deben cumplir dos requerimientos:

a) El porcentaje medido en la muestra debe ser representativo de aquel en la población total de donde se extrajo la muestra, por ejemplo un afloramiento.

b) El encuentro con una partícula individual dentro de esa muestra debe ser solamente basado en abundancia y no sesgado por otros factores durante el conteo.

Una muestra es considerada representativa solo si la población es elegida aleatoriamente y de forma heterogénea, lo que significa que cada muestra tiene un igual e independiente chance de ser escogida.

Un procedimiento formal le dará validez al conteo y este debe asegurar que el punto exacto donde se llevo a cabo el conteo y el clasto en particular fueron elegidos al azar (Howard, 1993).

4.3.2.1 Formula CE (Error de Conteo). Un conglomerado puede ser considerado dicotómico desde el punto de vista del conteo y compuesto de una proporción p de clastos individuales que tienen ciertas características y otra proporción $1-p$ que no las tienen.

P es la proporción X/n donde X es el número de clastos que presentan las características específicas (por ejemplo clastos de chert). Si n es ≥ 30 o si np y $n(1-p)$ es mayor que 5, la distribución de X es aproximadamente normal con una media igual a p y una desviación estándar de $\sqrt{p(1-p)/n}$. Usando la proporción $X/n=p$ con $n \geq 30$, el error probable asociado con el conteo puede ser calculado como:

$$CE = \pm t \sqrt{p(1-p)/n}$$

Donde **CE** es el error de conteo o intervalo de confianza respecto a la media; **t** es el valor tabulado de distribución - **t** para $n-1$ grados de libertad y un nivel de

confianza de $\alpha/2$; p = proporción de un componente individual; y n = número total de clastos contados.

Como un ejemplo supongamos que de un total de 100 clastos contados, 43 son granito. El nivel de confiabilidad o confianza es de 0.05 con $n=100$, $t=1.98$, $p=X/n$, $p=43/100= 0.43$ entonces el valor de **CE** sería:

$$CE=\pm 1.98\sqrt{0.43(1 - 0.43)/100}=0.098$$

Esto significa que se puede establecer con un 95% de confianza que el porcentaje de clastos de granito es $43\pm 9.8\%$ o que el verdadero valor se encuentra entre 33.2 y 52.8%. La ecuación de error de conteo (**CE**), sin embargo, generalmente sólo es válida para $p=0.10 - 0.90$ (Howard, 1993).

4.3.2.2 Probable Error del Conteo de Clastos. El probable error asociado al conteo de clastos es el resultado de ambos errores analíticos y de muestreo de acuerdo a la relación:

$$\%TE= \sqrt{(e_1)^2 + (e_2)^2}$$

Donde TE es el error probable total y e_1 , e_2 son respectivamente, el error de muestreo y el error analítico en porcentaje.

El error de muestreo es una función de la homogeneidad del depósito y de la precisión del punto de muestreo, mientras el error analítico es una función de la identificación del clasto y su conteo. En contraste el tamaño de la partícula o los análisis de minerales pesados, el conteo de clastos es llevado a cabo directamente en afloramiento, por tanto los errores asociados con clastos partidos, tamizado, recolección mecánica de la muestra y así sucesivamente, son evitados.

Asumiendo que el error asociado a la identificación de clastos es despreciable, el error analítico es equivalente al error de conteo (CE), el cual puede ser calculado de acuerdo a la ecuación de CE.

En la Tabla 2 se comparan el conteo, muestras y el error total basado en conteo de clastos de 5 locaciones.

Tabla 2. Tabla de valores en porcentaje para 5 localidades donde se aplican las formulas de error de conteo, error de muestreo y error total.

Table 1. Errors associated with clast counting. Sample locations given in Fig. 1. All values are percentages.

| Clast type | Location 15 | | | | Location 9 | | | | Location 10 | | | | Location 14 | | | | Location 8a | | | | Location 8b | | | | Location 2 | | | | | | |
|--------------------|-------------|-----|------|------|------------|-----|------|------|-------------|-----|-----|------|-------------|-----|-----|------|-------------|-----|-----|------|-------------|-----|------|------|------------|-----|-----|-----|---|---|---|
| | \bar{X} | CE | SE | TE | \bar{X} | CE | SE | TE | \bar{X} | CE | SE | TE | \bar{X} | CE | SE | TE | \bar{X} | CE | SE | TE | \bar{X} | CE | SE | TE | \bar{X} | CE | SE | TE | | | |
| Metavolcanic* | 32.0 | 9.2 | 5.8 | 10.9 | — | — | — | — | — | — | — | — | 72.2 | 8.8 | 5.0 | 10.1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| Metarhyolite† | — | — | — | — | 29.1 | 8.9 | 11.3 | 14.4 | 44.3 | 9.7 | 3.2 | 10.2 | — | — | — | — | 19.6 | 6.4 | 4.8 | 8.0 | 10.7 | 4.9 | 2.7 | 5.6 | 10.1 | 4.2 | 8.1 | 4.2 | — | — | |
| Meta-andesite | — | — | — | — | 19.9 | 7.8 | 12.2 | 14.5 | 5.6 | 4.5 | 2.7 | 5.2 | — | — | — | — | 2.2 | 2.3 | 1.8 | 2.9 | 2.3 | 2.3 | 1.7 | 2.9 | — | — | — | — | — | — | |
| Metabasalt | 4.8 | 4.2 | 1.9 | 4.6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| Metatuff | 2.4 | 3.0 | 3.4 | 4.5 | 1.0 | 1.9 | 1.4 | 2.4 | 0.9 | 1.8 | 1.8 | 2.5 | 2.8 | 3.2 | 1.0 | 3.4 | 1.3 | 1.9 | 1.9 | 2.7 | 2.5 | 2.5 | 1.6 | 3.0 | 9.4 | 4.0 | 4.9 | 6.3 | — | — | |
| Gneiss | 3.3 | 3.5 | 2.6 | 4.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2.2 | 2.3 | 1.9 | 3.0 | 3.8 | 3.1 | 2.8 | 4.2 | — | — | — | — | — | — | |
| Quartzite | 21.4 | 8.0 | 11.1 | 13.7 | 30.0 | 9.0 | 10.1 | 13.5 | 21.1 | 8.0 | 3.8 | 8.9 | 18.5 | 7.6 | 1.9 | 7.8 | 5.5 | 3.6 | 4.2 | 5.5 | 3.0 | 2.7 | 1.4 | 3.0 | 54.0 | 6.9 | 5.3 | 8.7 | — | — | |
| Marble | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.2 | 0.7 | 0.4 | 0.8 | 0.3 | 0.7 | 0.6 | 0.9 | — | — | — | — | — | — | |
| Slate | — | — | — | — | 1.1 | 2.0 | 1.1 | 2.3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| Vein quartz | 4.0 | 3.8 | 2.3 | 4.4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| Granite | 2.5 | 3.1 | 1.9 | 3.6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 10.0 | 4.7 | 5.0 | 6.9 | 31.8 | 7.4 | 6.1 | 9.6 | — | — | — | — | — | — | — |
| Granite and gneiss | — | — | — | — | 14.5 | 6.9 | 5.0 | 8.5 | 26.2 | 8.6 | 3.1 | 9.1 | 6.5 | 4.8 | 4.4 | 6.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| Diorite | 28.5 | 8.8 | 7.5 | 11.6 | 2.2 | 2.9 | 4.4 | 5.3 | 0.8 | 1.7 | 1.6 | 2.3 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.2 | 0.7 | 0.4 | 0.8 | — | — | — | — | — | — | — |
| Diabase | — | — | — | — | 1.9 | 2.7 | 1.9 | 3.3 | 0.9 | 1.8 | 0.9 | 1.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| Basalt | — | — | — | — | 0.2 | 0.9 | 0.4 | 1.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.5 | 1.9 | 1.9 | 2.7 | 0.2 | 0.7 | 0.4 | 0.8 | — | — | — | — | — | — | |
| Chert | 1.1 | 2.0 | 1.6 | 2.6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| Limestone | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 3.3 | 2.9 | 1.9 | 3.5 | 2.0 | 2.2 | 3.3 | 4.0 | 1.0 | 1.4 | 1.3 | 1.9 | — | — | |
| Sandstone | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 53.9 | 8.0 | 9.7 | 12.6 | 43.6 | 7.9 | 10.6 | 13.2 | 9.8 | 4.1 | 9.0 | 9.9 | — | — | |
| n | 100 | — | — | — | 100 | — | — | — | 100 | — | — | — | 100 | — | — | — | 150 | — | — | — | 150 | — | — | — | 200 | — | — | — | — | — | |
| k | 6 | — | — | — | 3 | — | — | — | 3 | — | — | — | 3 | — | — | — | 3 | — | — | — | 3 | — | — | — | 4 | — | — | — | — | — | |

*Undifferentiated.
 †Includes metadacite-metalatite.
 Symbols: \bar{X} , mean; CE, counting error; SE, sampling error; TE, total error.

Fuente de Howard, 1993

La magnitud del error de muestreo fue evaluada para un sitio determinado realizando series de replicas del conteo de clastos a varios metros de distancia. El número de replicas (k) varia de 3 a 6 y el número de clastos contados (n) en cada replica varia de 100 a 200.

Las series de replicas del conteo en cada locación fueron normalizadas y la media (\bar{X}) y las desviaciones estándar de la muestra (S) fueron calculadas para cada tipo de clasto. El error de muestreo fue estimado usando la relación para el error estándar de la media: $SE=1.96(\frac{S}{\sqrt{k}})$, donde SE es el error de muestreo en

porcentaje; 1.96 es el valor tabulado del valor - t para n-1 grados de libertad con 0.05 de nivel de confidencialidad; y S es la medida de la desviación estándar asociada con algún número de replicas del conteo K.

El error de conteo, por lo tanto, parece ser una buena primera aproximación del error total. Debido a que el error de conteo varia inversamente con \sqrt{n} , el número total de clastos contados es un factor crítico controlando la precisión, sin embargo, un incremento del tamaño de la muestra por un factor de cuatro es requerido en orden para disminuir el error por mitad.

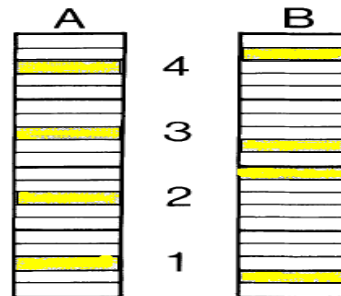
El número optimo de clastos para ser contados en cualquier muestra dada es de 400 por debajo de este valor la precisión disminuye considerablemente, pero aumentando el conteo a 1000 probablemente no aumenta la precisión suficiente para justificar la mano de obra adicional requerida, excepto tal vez en estudios muy detallados. Lo que significa que se deben realizar cuatro replicas del conteo para reducir el error, es decir cuatro conteos de 100 clastos (Howard, 1993).

4.3.2.3 Procedimiento de Campo. Se debe desarrollar un reconocimiento de las áreas de muestreo con el objeto de determinar la extensión de los afloramientos y accesibilidad e identificar los tipos de clastos para el conteo.

- **Estrategias de Muestreo**

En la Figura 31 se observan los dos tipos de estrategias para el conteo de clastos dentro de los intervalos de una secuencia, los dos métodos son válidos.

Figura 31. Estrategias para el muestreo en intervalos estratigráficos. En A los muestreos se realizan sistemáticamente en los cuatro intervalos, en B los muestreos son hechos al azar



Fuente de Howard, 1993

- **Procedimiento de Conteo**

El objetivo del conteo de clastos es determinar el número de clastos de algún tipo, dado en porcentaje e independiente del tamaño.

Existen tres métodos de conteo los cuales se observan en la Figura 32 siendo estos el método de la cuadrícula, el método lineal y el método del área.

Desde el punto de vista de la estadística los conteos convencionales entre los cuales el más utilizado es el método de la cuadrícula seguido por el lineal, no son representativos y tienden a sesgar el conteo probabilístico debido a que reducen la posibilidad de que los clastos tengan las mismas posibilidades de ser escogidos, esto debido a la diversidad de tamaños y formas en las rocas conglomeráticas por lo cual los clastos que mas sobresalen tienen mayor posibilidad que aquellos que estén más profundos además la diversidad de tamaños genera errores cuando hay grandes diferencias de tamaño debido a que un mismo clasto puede ocupar un área grande y ser contado varias veces.

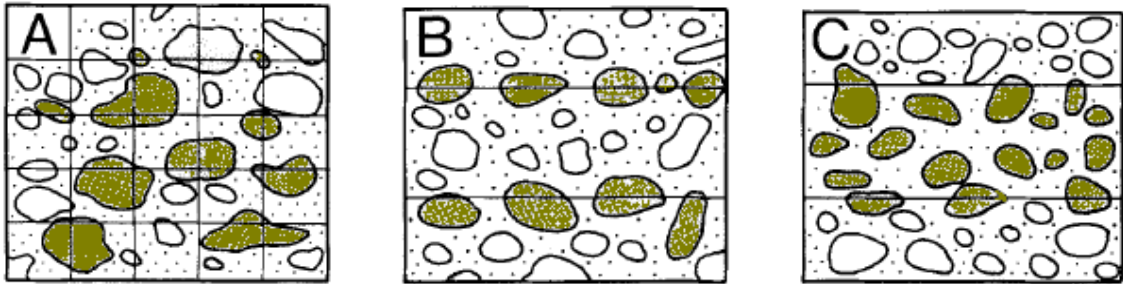
En el método de la cuadrícula se realiza un conteo dentro de una cuadrícula generalmente de 1 m por 1 m. El conteo se realiza con una separación de 10 cm entre conteo como se observa en la Figura 32A, de esta manera se hace el conteo de los 100 clastos, los cuales se cuentan sólo los que se encuentran en los vértices de los rectángulos de 10x10 cm.

El método lineal Figura 32B, se realiza el conteo de clastos en líneas transversas, tomando todos los clastos que corten estas líneas.

Como se describió anteriormente los métodos de la cuadrícula y lineal no son recomendables para un método estadístico por lo cual el método que mejores resultados puede arrojar es el método del área Figura 32C en este método se toma una área y no un punto ni una línea este hecho hace de este método el más confiable y el mejor para realizar análisis estadísticos más detallados y precisos.

El área debe ser al menos 2.5 veces el eje más largo del clasto mas grande. Un tamaño de 3 cm como límite inferior de tamaño del clasto puede ser tomado, bajo del cual la identificación es cuestionable, así se realiza el conteo dentro de un área y todos los clastos tienen las mismas posibilidades de ser contados lo que reduce el margen de error del muestreo. Marcar cada clasto con algún marcador o pintura evita contar el mismo clasto dos veces, además un conteo sistemático puede ser adoptado, por ejemplo realizar el conteo de izquierda a derecha e ir descendiendo como si se tratase de la lectura de un libro (Howard, 1993).

Figura 32. **A.** método de la cuadrícula. **B.** método lineal. **C.** método del área.



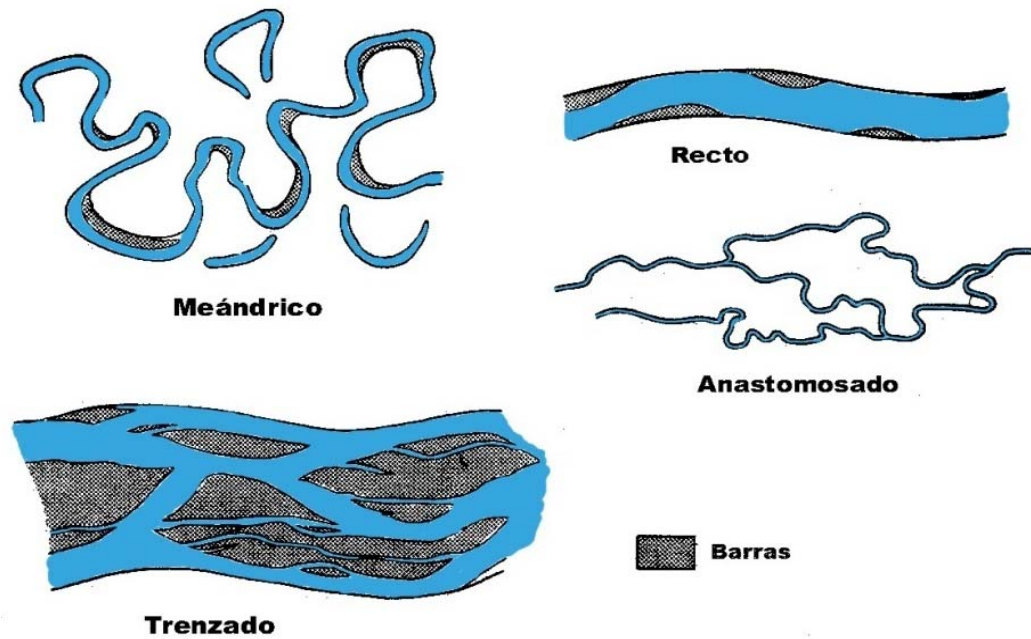
Fuente de Howard, 1993

4.4 MARCO TEÓRICO DE AMBIENTES Y FACIES

4.4.1 SISTEMAS FLUVIALES

Los depósitos fluviales están constituidos por sedimentos que se acumulan a partir de la actividad de los ríos. Estos depósitos se generan en diversas condiciones climáticas, desde desérticas hasta glaciales, sin embargo, en función de su sinuosidad (longitud del canal/longitud del valle) se reconocen tres sistemas fluviales bien definidos: sistema de ríos trenzados (braided), sistema de ríos meándricos (meandering), y sistema de ríos anastomosados (anastomosing) (Figuras 33 y 34). Se incluyen también dentro de la clasificación de depósitos fluviales a los procesos de deslizamiento por gravedad asociados (sistema de abanicos aluviales) (Miall, 1977).

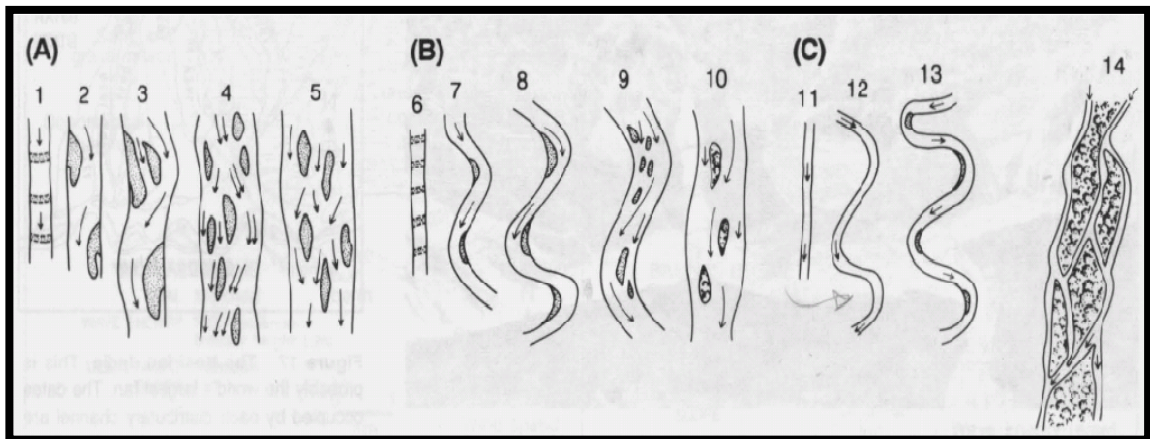
Figura 33. Diferentes tipos de canales dentro de los sistemas fluviales.



Fuente de Miall, 1977a

De estos tipos, los ríos rectos son poco frecuentes y los ríos anastomosados pueden ser considerados como un tipo especial de río meandriforme que tiene relativamente un sistema permanente y estable de canales con alta sinuosidad, con bancos cohesivos y separados por islas grandes, estables y cubiertas de vegetación (Miall, 1977). Por lo tanto, los ríos trenzados y los ríos meandriformes se consideran como los dos principales tipos de ríos (Walker, 1984) (Figuras 33 y 34).

Figura 34. El intervalo de modelos de canales aluviales. A) Los canales de carga de fondo, B) canales de carga mixta, C) canales de carga suspendida. Los cuatro estilos principales de canales son meándricos (7, 8, 12,13), trenzados (3-5, 9, 10), anastomosados (14) y rectos (2). Los canales rectos (1, 6, 11) son raros en la naturaleza



Fuente Schumm, 1981 en Miall, 1992a

4.4.1.1 Sistemas de Ríos Trenzados. Configuración y Procesos de Deposición:

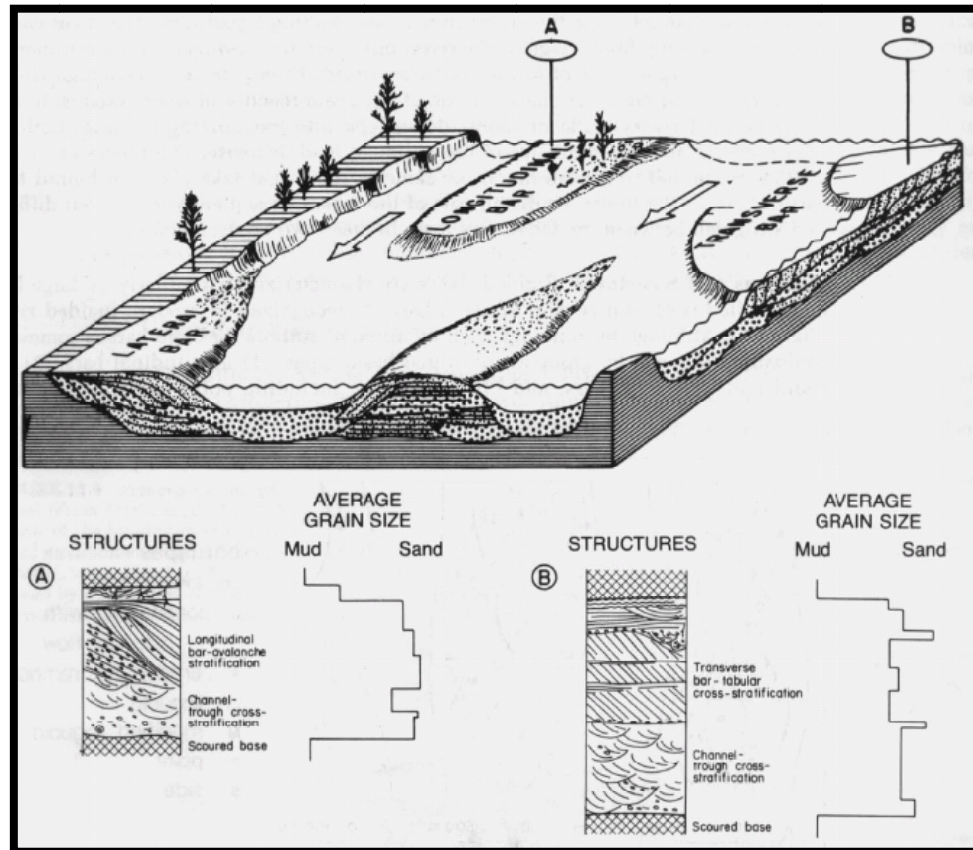
Los ríos trenzados se distinguen de los ríos meandriformes por su menor sinuosidad, la cual se define como la relación entre la longitud del canal y la longitud del valle sobre el cual se desarrollan (Einsele, 1992), los sistemas de ríos trenzados tienen una baja sinuosidad de entre 1.1 y 1.2 (Figuras 33 y 34), mientras que los sistemas de ríos meándricos alcanzan valores por lo menos de 1.5.

Un sistema fluvial trenzado es caracterizado por muchos canales separados por barras y pequeñas islas (Figura 35). Los ríos trenzados se desarrollan mejor en las partes distales de los abanicos aluviales, en las llanuras glaciales y alcanzan sistemas de ríos de montañas. En estas áreas los sedimentos son abundantes, las descargas de agua son altas y comúnmente esporádicas, y la poca vegetación podría dificultar la escorrentía. Bajo estas condiciones, los ríos son generalmente

sobrecargados con sedimentos; conduciendo a la rápida depositación. Durante los períodos de descarga alta, la corriente en los canales es rápidamente sobrecargada de sedimentos gruesos, formando barras alrededor de las cuales la corriente se desvía; un desarrollo repetitivo de estas barras y la separación consecuente de los canales, genera el aspecto trenzado de este sistema fluvial. Los sistemas de ríos trezados son definidos a partir de los diferentes tipos de barras que en ellos se generan, y que pueden ser agrupadas en tres tipos básicos (Figura 35) (Miall, 1977).

- **Barras Longitudinales:** Son las barras que se forman en la parte media de los canales cuando los sedimentos más gruesos incluidos en la corriente (gravas y arenas), son depositados debido a la pérdida de competencia en el transporte, orientándose con el eje principal paralelo a la dirección de la corriente. La fracción gruesa del material se concentra a lo largo del eje principal y en la parte basal de la barra, tendiendo a existir una disminución en el tamaño del grano hacia arriba de la misma y corriente abajo. La estructura interna de las barras longitudinales está representada por una estratificación principalmente masiva, aunque pueden presentarse capas con una estratificación horizontal pobremente desarrollada.
- **Barras Transversales:** Se forman de manera transversal al flujo principal de la corriente, y son muy características en sistemas de ríos trezados que transportan una mayor carga de detritos de tamaño arena. Las barras transversales presentan formas rómbicas, llegando a representar rizaduras de gran escala por la inclinación característica de las capas.
- **Barras Laterales:** Son barras muy largas que se desarrollan en áreas de energía relativamente baja a lo largo de las porciones laterales de la corriente principal.

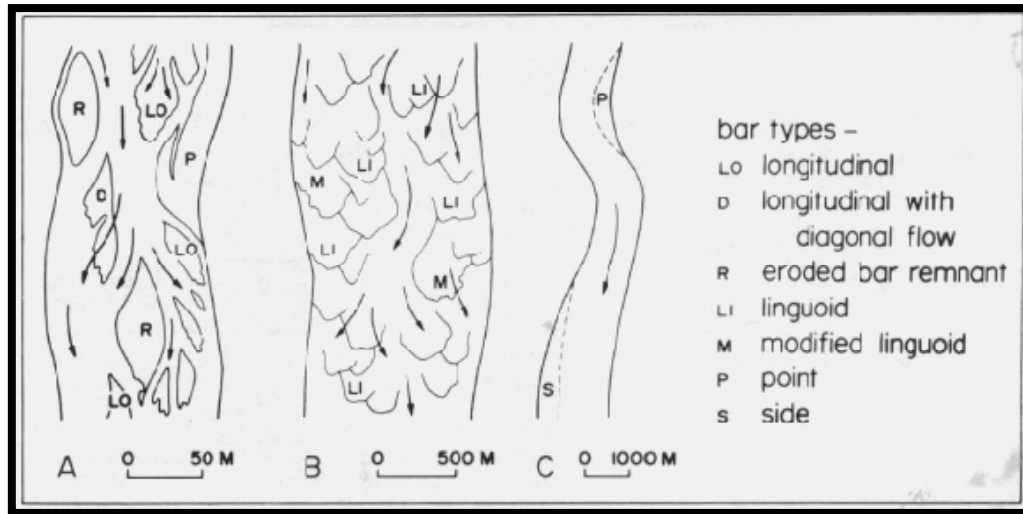
Figura 35. Estructuras de barras en ríos trenzados. La secuencia A es dominada por migración de gravas de barra longitudinal. La secuencia B registra depositación de una barra transversal sucesiva de sets de capas cruzadas a un canal trenzado.



Fuente de Miall, 1977

Estructuras y Formas de las Capas: Los ríos trenzados se caracterizan particularmente por las grandes estructuras llamadas barras siendo reconocidas en los sistemas fluviales trenzados modernos (Figura 36). La terminología utilizada por diferentes autores para las barras trenzadas es confuso, pudiéndose agrupar en tres tipos básicos: (1) barras longitudinales, (2) barras transversales y (3) barras laterales o diagonales, incluidas las barras de punto y barras laterales (point bars y side bars) (Figura 36).

Figura 36. Tipos principales de barras en ríos trezados.



Fuente de Miall, 1977

Las principales litofacies y estructuras sedimentarias que caracterizan los depósitos de ríos trezados se resumen en la Tabla 3. Tanto ríos trezados en arenas como en gravas migran lateralmente dejando depósitos en forma de cuña y láminas de complejas barras y canales (Cant, 1982). La migración lateral combinada con agradación conduce a la depositación de areniscas o conglomerados en láminas delgadas y shales no persistentes englobados dentro de sedimentos más gruesos.

El análisis de facies conglomeráticas en este estudio se basó en la clasificación establecida por Miall (1996; Tabla 3) para sistemas aluviales, la cual es usada ampliamente para estudios de afloramiento en superficie y análisis de núcleos en subsuelo.

Tabla 3. Clasificación de facies.

| CÓDIGO DE FACIES | FACIES | ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS | INTERPRETACIÓN |
|-------------------------|---|---|--|
| Gmm | Grava masiva, matriz soportada | Gradación pobre | Flujo de detritos plástico (alta resistencia, viscoso) |
| Gmg | Grava matriz soportada | Gradación inversa a normal | Flujo de detritos pseudoplástico (baja resistencia, viscoso) |
| Gci | Grava clasto soportada | Gradación inversa | Flujo de detritos rico en clastos (alta resistencia) o flujo de detritos pseudoplástico (baja resistencia) |
| Gcm | Grava masiva clasto soportada | Ninguna | Flujo de detritos pseudoplástico (carga de fondo inercial, flujo turbulento) |
| Gh | Grava con estratificación gruesa clasto soportada | Estratificación horizontal, imbricación | Estructuras sedimentarias longitudinales, depósitos de lag, depósitos de sieve |
| Gt | Grava estratificada | Estratificación en artesas | Colmatación de canales menores |
| Gp | Grava estratificada | Estratificación cruzada planar | Estructuras sedimentarias transversales, crecimientos deltaicos de remanentes de antiguas barras |
| St | Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa | Estratificación en artesas solitarias o agrupadas | Dunas de cresta sinuosa o lingüiforme (3 - D) |
| Sp | Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa | Estratificación cruzada planar solitarias o agrupadas | Estructuras sedimentarias transversas y lingüiformes (dunas 2 - D) |
| Sr | Arena, muy fina a gruesa. | Estratificación cruzada con ondulitas | Ondulitas (régimen de flujo bajo) |
| Sh | Arena, muy | Laminación horizontal, | Flujo de estratificación |

| | | | |
|------------|--|--|--|
| | fina a gruesa. Puede ser guijarrosa | particionada o de corriente | planar (flujo crítico) |
| Sl | Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa | Estratificación cruzada de bajo ángulo (< 15°) | Llenado de estructuras erosivas, dunas de canal erosionado o de tipo humpback, antidunas |
| Ss | Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa | Estructuras erosivas de fondo anchas y someras | Llenado de estructuras erosivas |
| Sm | Arena, fina a gruesa. | Laminación masiva o poco clara | Depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales |
| Fl | Arena, limo, lodo | Laminación fina, muy ondulitas pequeñas | Llanura de inundación, canales abandonados o depósitos de inundación en su etapa final |
| Fsm | Limo, lodo | Masiva | Depósitos de pantano o canal abandonado |
| Fm | Lodo, limo | Masiva, grietas de desecación | Llanura de inundación, canales abandonados o depósitos de drape |
| Fr | Lodo, limo | Masiva, raíces, bioturbación | Capas de raíces, suelo incipiente |
| C | Carbón, lodo carbonáceo | Improntas de plantas en el lodo | Depósitos de pantanos ricos en vegetación |
| P | Carbonato paleosuelo (calcita, siderita) | Características pedogénicas: nódulos, filamentos | Suelo con precipitación química |

Fuente Miall, 1996

4.4.2 Litofacies y Elementos Arquitecturales

4.4.2.1 Litofacies . Una litofacies es definida como un cuerpo de rocas (sedimentos) con características específicas. Puede ser una simple capa o un grupo de ellas. Idealmente, ésta debería ser una roca distintiva que se formó bajo ciertas condiciones de sedimentación, reflejando procesos particulares, set de condiciones o ambientes (Reading, 1996).

Para describir diferentes litofacies, Miall (1996) propone el uso de un sistema de códigos que identifican las distintas facies que pueden existir en los sistemas fluviales (Tabla 3). El funcionamiento de éste se explica a continuación:

- La letra mayúscula (G = grava, S = arena, F = facies finas, incluyendo arena muy fina, limo y lodo) indica el tamaño de grano dominante.
- La letra minúscula acompañante caracteriza la textura o estructura de las litofacies.
- Si existe una segunda letra minúscula (c, m), correspondiente a la letra en la parte media, ésta indicará si las facies son clasto soportadas (c), o matriz soportadas (m).

4.4.2.2 Arquitectura Fluvial. Un río se compone de diferentes canales que alcanzan rectas y curvas, con grandes áreas de grava expuesta, arena o lodo y barras terminadas. En muchos ríos la forma y la distribución de estas variadas características pueden parecer caóticas, pero la mayoría de estas unidades tienen distintas formas de superficie, como las condiciones para las barras de punto y laterales (point bar; side bar), los canales de desbordamiento (crevasse splays), etc., los cuales constituyen la geomorfología fluvial. El desarrollo y la distribución

de estas características siguen ciertos patrones relativamente predecibles que dejan su registro en los depósitos resultantes. Los canales y las barras son los elementos básicos de depositación del río y los sedimentos que los componen se denominan elementos arquitecturales. Un elemento arquitectural puede ser definido como un componente de un sistema depositacional equivalente en tamaño o más pequeño que un relleno del canal y más grande que una unidad de facies individual, caracterizados por un conjunto de facies distintivas, geometría interna, forma externa y en algunos casos un perfil vertical. Este término es utilizado para unidades delimitadas por superficies en un rango de tercer a quinto orden (Figura 37) (Miall, 1996).

Figura 37. Jerarquía de las unidades de sedimentación en depósitos aluviales

| Grp | Time scale of process (a) | Examples of processes | Instantaneous sedimentation rate (m/ka) | Fluvial, deltaic depositional units | Rank and characteristics of bounding surfaces |
|-----|---------------------------|--|---|--|---|
| 1 | 10^{-6} | Burst-sweep cycle | | Lamina | 0th-order, lamination surface |
| 2 | 10^{-5} -10^{-4} | Bedform migration | 10^5 | Ripple (microform) | 1st-order, set bounding surface |
| 3 | 10^{-3} | Bedform migration | 10^5 | Diurnal dune increment, reactivation surface | 1st-order, set bounding surface |
| 4 | 10^{-2} -10^{-1} | Bedform migration | 10^4 | Dune (mesoform) | 2nd-order, coset bounding surface |
| 5 | 10^0 -10^1 | Seasonal events, 10-year flood | 10^{2-3} | Macroform growth increment | +3rd-order, dipping 5-20° in direction of accretion |
| 6 | 10^2 -10^3 | 100-year flood, channel and bar migration | 10^{2-3} | Macroform, e.g., point bar, levee, splay immature paleosol | +4th-order, convex-up macroform top, minor channel scour, flat surface bounding floodplain elements |
| 7 | 10^3 -10^4 | Long-term geomorphic processes, e.g. channel avulsion | 10^0-10^1 | Channel, delta lobe, mature paleosol | +5th-order, flat to concave-up channel base |
| 8 | 10^4 -10^5 | 5th-order (Milankovitch) cycles, response to fault pulse | 10^{-1} | Channel belt, alluvial fan, minor sequence | 6th-order, flat, regionally extensive, or base of incised valley |
| 9 | 10^5 -10^6 | 4th-order (Milankovitch) cycles, response to fault pulse | $10^{-1}-10^{-2}$ | Major dep. system, fan tract, sequence | 7th-order, sequence boundary; flat, regionally extensive, or base of incised valley |
| 10 | 10^6 -10^7 | 3rd-order cycles. Tectonic and eustatic processes | $10^{-1}-10^{-2}$ | Basin-fill complex | 8th-order, regional disconformity |

Fuente de Miall, 1996

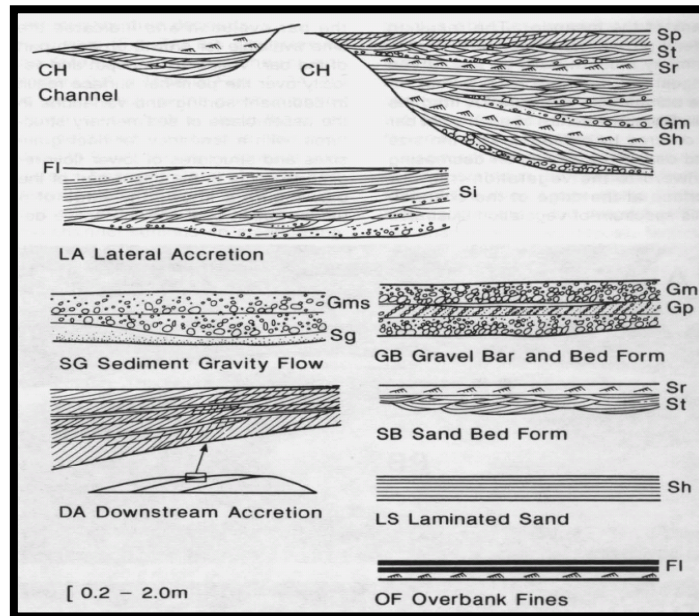
Los elementos arquitecturales están sujetos de una clasificación descriptiva y una genética, así como sus componentes de litofacies. Miall (1985) propone los siguientes componentes de una clasificación descriptiva:

- Naturaleza del límite de superficie inferior y superior: erosional o gradacional, planar, irregular, curvo (cóncavo o convexo).
- Geometría externa: láminas, lentes, cuñas, artesas, rellenos en forma de U.
- Escala: espesor, extensión lateral paralela y perpendicular a la dirección del flujo.
- Litología: conjunto de litofacies y secuencia vertical.
- Geometría interna: naturaleza y disposición de los límites de superficie internos; relación de estratificación y superficies de primer a segundo orden para superficies (paralelas, truncadas, onlap, downlap).
- Patrones de paleocorrientes: orientación de los indicadores de flujo en relación con los límites de superficie internos y la forma externa del elemento (Miall, 1996).

Miall (1985) sugirió que hay ocho elementos arquitecturales básicos en los depósitos fluviales (Figura 38), sin embargo, trabajos recientes como Fielding, 1993b; Cowan, 1991; Eberth y Miall, 1991; han modificado su clasificación original de elementos de 1985 por el esquema mostrado en la Figura 39. En ésta figura se presentan los elementos arquitecturales, con sus respectivos códigos o símbolos, las agrupaciones de facies principales, las geometrías y relaciones que se pueden presentar (Miall, 1996).

Para emplear la clasificación de elementos arquitecturales en campo, tres consideraciones deben tenerse en cuenta (Miall, 1996):

Figura 38. Los 8 elementos arquitecturales básicos en depósitos fluviales.



Fuente de Miall, 1996

Figura 39. Elementos arquitecturales en depósitos fluviales

| Element | Symbol | Principal facies assemblage | Geometry and relationships |
|--------------------------------|--------|--|--|
| Channels | CH | Any combination | Finger, lens or sheet; concave-up erosional base; scale and shape highly variable; internal concave-up 3rd-order erosion surfaces common |
| Gravel bars and bedforms | GB | Gm, Gp, Gt | Lens, blanket; usually tabular bodies; commonly interbedded with SB |
| Sandy bedforms | SB | St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss | Lens, sheet, blanket, wedge, occurs as channel fills, crevasse splays, minor bars |
| Downstream-accretion macroform | DA | St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss | Lens resting on flat or channeled base, with convex-up 3rd-order internal erosion surfaces and upper 4th-order bounding surface |
| Lateral-accretion macroform | LA | St, Sp, Sh, Sl, Se, Ss, less commonly Gm, Gt, Gp | Wedge, sheet, lobe; characterized by internal lateral-accretion 3rd-order surfaces |
| Scour hollows | HO | Gh, Gt, St, Sl | Scoop-shaped hollow with asymmetric fill |
| Sediment gravity flows | SG | Gmm, Gmg, Gci, Gcm | Lobe, sheet, typically interbedded with GB |
| Laminated sand sheet | LS | Sh, Sl; minor Sp, Sr | Sheet, blanket |
| Overbank fines | FF | Fm, Fl | Thin to thick blankets; commonly interbedded with SB; may fill abandoned channels |

Fuente de Miall, 1996).

- **La Escala:** Esto es muy importante debido a que algunos elementos ocurren a diferentes escalas dentro de un mismo depósito, por lo que se debe tener en cuenta la escala a la que se está trabajando. Así, muchos depósitos pueden ser simplemente subdivididos en canales (CH) y finos de planicies de inundación (FF). Esto no es muy útil. La mayoría de los detalles importantes se derivan de la subdivisión de estos elementos en canales y barras más pequeños, en diferentes tipos de planicies de inundación, etc. A una pequeña escala de observación, los afloramientos limitados pueden permitir que la clasificación de un conjunto de litofacies de areniscas o conglomerados con estratificación cruzada sea un elemento SB o GB respectivamente; mientras que una mejor exposición de la geometría interna de las capas, puede permitir el reconocimiento de la unidad como parte de una macroforma, tal como una DA o LA.

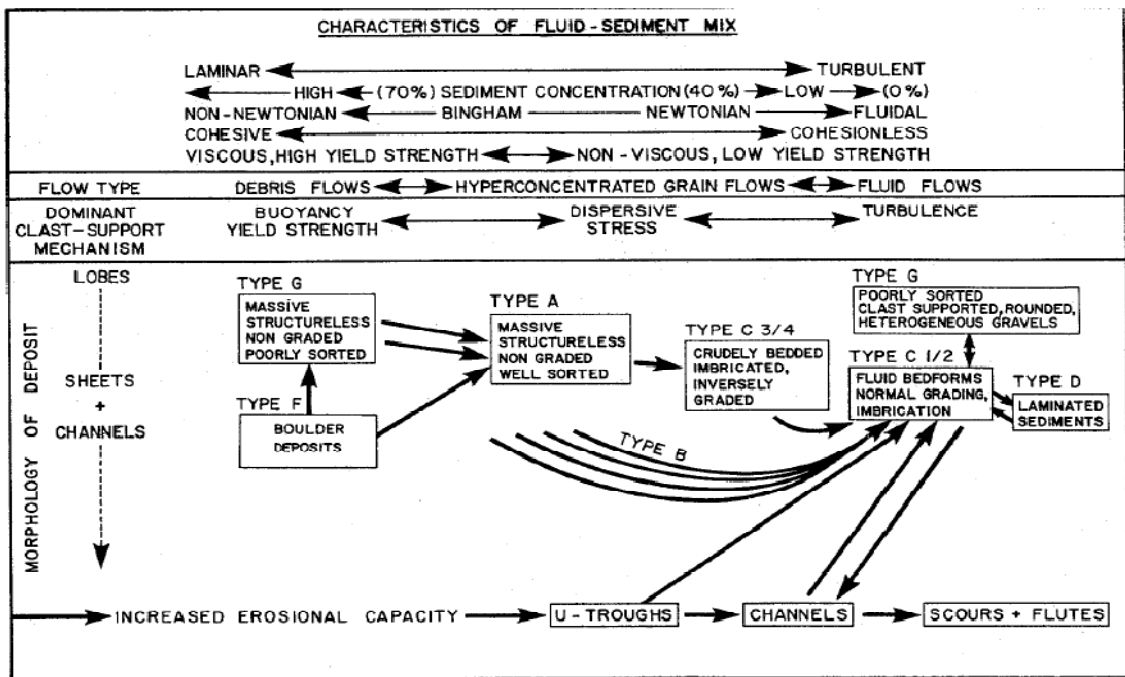
- **La Interestratificación:** Los elementos pueden estar interestratificados a la escala de las litofacies individuales de un set o coset, por lo que puede resultar problemático clasificar según litofacies o según elementos arquitecturales. Por ejemplo, los conglomerados aluviales comprenden elementos GB apilados y comúnmente contienen delgadas capas de areniscas con estratificación cruzada (SB). Muchas macroformas arenosas son cubiertas por delgados lentes de lodolitas, representando el abandono o preservación de los depósitos de FF. Por lo tanto el generalizar o dividir estas subdivisiones depende de la disponibilidad de los datos que se tenga y la conveniencia descriptiva de dichos elementos arquitecturales.

- **La Intergradación:** Los elementos tienden a gradar lateralmente y transformarse en otro elemento arquitectural. Esto puede ser indicador de la evolución de la macroforma estudiada.

4.4.3 Procesos Depositacionales en Ríos Gravosos

El transporte de grava toma lugar bajo un amplio espectro de condiciones físicas que permiten establecer características (texturales y estructurales) muy diferentes en los depósitos y los factores más importantes que controlan dichas características son: (1) las condiciones del flujo, ya sea turbulento o laminar, y (2) la concentración de sedimentos. Lo anterior lleva a hacer una diferenciación entre dos tipos de procesos: (A) los flujos que son turbulentos y tienen baja concentración de sedimentos, donde el transporte y el depósito se lleva a cabo por tracción y muy rara vez por suspensión; y (B) flujos en los cuales una alta viscosidad asociada con una alta concentración de sedimentos minimiza la turbulencia permitiendo un flujo laminar y grano soportado por flotabilidad, este último, es conocido con el término general de flujo de sedimentos gravitacionales (sediment-gravity flow).

Figura 40. Relaciones entre las características físicas de una mezcla fluido – sedimento, el tipo de flujo resultante y su depósito correspondiente.



Fuente de Miall, 1996

Las respuestas específicas de sedimentación (litofacies) están asociadas con determinados procesos, pero los flujos individuales pueden evolucionar a partir de una serie de condiciones a otras, de modo que el depósito final puede revelar un amplio rango de texturas y estructuras dentro de un litosoma. La Figura 40 muestra un modelo que trata de resumir las relaciones entre los diferentes procesos y sus resultados (Miall, 1996).

4.4.3.1 Corrientes de Tracción, Flujos Fluidos. Los procesos de transporte de gravas y la formación de estructuras, barras y canales en ríos gravosos son menos comprendidos que aquellos ríos con carga de arena. Es mucho más difícil observar el transporte en ríos con carga de gravas activos debido a las altas energías de transporte, lo que hace difícil y peligroso su observación y muestreo.

El análisis de los ríos con gravas y sus depósitos puede llevarse a cabo en dos escalas distintas. Por un lado, en la interface agua-sedimento, las variaciones en los patrones de turbulencia, tasas de transporte de sedimentos, velocidades del flujo y la profundidad, controlan las características estructurales y texturales, de tal forma que se reflejan en patrones de estratificación y litofacies bien características. Estos procesos, a su vez, forman parte de un desarrollo a gran escala de los canales y las barras que gobiernan los elementos arquitecturales en el depósito final. Por otro lado, además de los cambios en las condiciones impuestas por factores externos tales como las variaciones en descarga y temperaturas diurnas y por estación, el depósito y erosión a escala de la barra y las estructuras mayores, tienen sus propios efectos continuos sobre las velocidades del agua, profundidades y carga de sedimentos inmediatamente sobre, alrededor y corriente debajo de cada elemento, resultando en cambios localizados en las condiciones limítrofes.

Las variaciones en la textura y estructura de los depósitos de grava a partir de corrientes de tracción reflejan la inestabilidad extrema del flujo y las tasas de transporte en los ríos de naturaleza gravosa.

Las gravas en estos ríos tienden a ser transportadas en pulsos repetitivos definidos como lóbulos. Esto refleja patrones de turbulencia en el río y también la forma en la cual las gravas son liberadas espasmódicamente dentro de éste por la migración de la estructura y la erosión del borde (cutbank). Bajo condiciones de esfuerzo de cizalla alto, solo los clastos más gruesos son depositados, permitiendo conglomerados clasto soportados. Los clastos más finos y las arenas se infiltran en el almacén de los clastos en velocidades de flujo bajas. Los cambios en las velocidades de flujo y el esfuerzo de cizalla pueden ocurrir en períodos de tiempo muy cortos, reflejando cambios en la descarga de los ríos y responde a la migración del canal y a los patrones de avulsión. Como resultado de lo anterior, la textura de los depósitos puede mostrar cambios verticales muy rápidos.

Los clastos depositados por corrientes de tracción comúnmente presentan una fábrica regular llamada imbricación. Esta es, una orientación de cada uno de los clastos en donde el plano formado por el eje mayor y el intermedio del clasto, está buzando corriente arriba y es la posición más estable para que un clasto tome. La imbricación es una característica de los ríos con gravas o gravosos y comúnmente se preserva en conglomerados clasto soportados, donde proporciona un importante indicador de paleocorrientes. La suspensión de los clastos durante inundaciones puede generar una fábrica con el eje mayor paralelo al flujo.

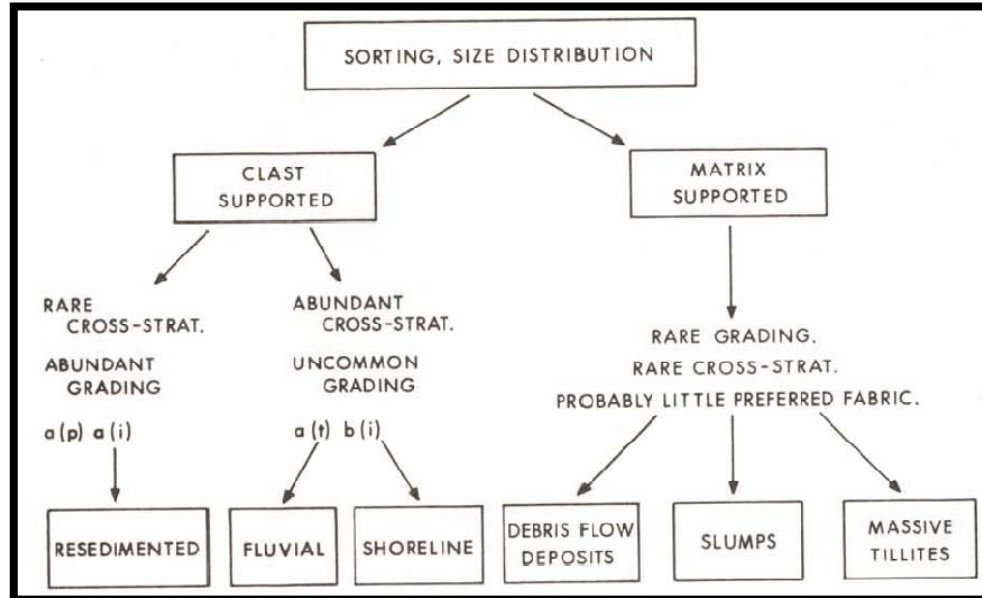
Modelos de Facies para Conglomerados: Hay relativamente pocos ambientes modernos en los que los conglomerados se van acumulando y donde hay alguna posibilidad de preservación. Los ambientes principales son: (1) abanicos aluviales, (2) ríos trenzados, (3) líneas de costa, (4) abanicos submarinos de mar profundo y (5) ambientes de influencia glacial (marino y no marino) (Figura 41). Los modelos

de facies para ambientes depositacionales de conglomerados están poco desarrollados, principalmente debido a la ausencia general de un marco descriptivo, es decir, hay poco acuerdo en cuanto a las características que deben ser observadas y registradas en afloramientos de conglomerados. Esto es evidente cuando se considera la abundancia comparativa entre las características descriptivas en areniscas y al hecho que ahora hay una cierta comprensión de cómo estas características sedimentarias podrían ser genéticamente relacionadas y cómo pueden ser agrupadas para definir facies y modelos de facies (Harms et al., 1975).

En conglomerados, es muy importante la distinción entre el tipo matriz-soportado y clasto-soportado. El término matriz soportado indica que los clastos y la matriz fueron depositados juntos, una característica de flujos de detritos. El otro tipo está asociado a corrientes de tracción (Miall, 1992a).

La Figura 40 muestra las diferencias básicas entre tres modelos de facies para conglomerados tales como fluviales trenzados y resedimentados (ambiente de abanico submarino) que son distinguidos por una fábrica definida y abundancia relativa de gradación y estratificación cruzada. Los conglomerados de flujos de detritos, los cuales incluyen tanto ambientes subaéreos y submarinos, se distinguen por ser matriz soportados y tener una fábrica más al azar.

Figura 41. Asociaciones de las características más comunes y abundantes en conglomerados.



Fuente de Harms et al., 1975

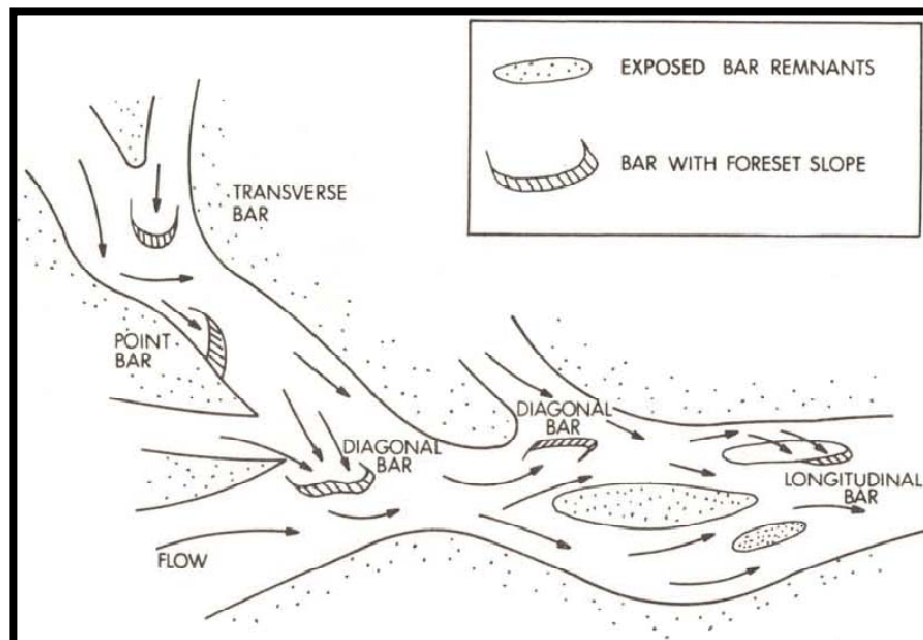
En este trabajo nos enfocamos en los modelos de facies para conglomerados de ambientes fluviales trenzados y depósitos de flujos de detritos, basados en las características sedimentarias de éstos. Estas características descriptivas del modelo en conglomerados fluviales trenzados incluyen observaciones morfológicas de barras y canales, junto con estimaciones de los parámetros del flujo (Harms et al., 1975).

Ore (1964) y Smith (1970) diferenciaron las barras "longitudinales" y "transversales". Smith (1970) señaló que las barras longitudinales tienden a ser de grano más grueso y se producen en los tramos aguas arriba de los ríos, en comparación con las barras transversales (Ore, 1964 y Smith, 1970 en Harms et al., 1975).

Muchas de las "barras" que se pueden encontrar en los ríos trenzados son restos o remanentes erosionales que tienen una historia de formación larga y compleja. Consecuentemente, Smith (1974) sugirió el término "unidad de barra" para "barras

relativamente sin modificar, es decir, aquellas cuya morfología es determinada principalmente por procesos depositacionales". Smith (1974) y Hein (1974) reconocieron cuatro tipos de barras en el Río Kicking Horse, en British Columbia: barras longitudinales, transversales, diagonales y barras de punto (point bars) (Figura 42) (Smith, 1974 y Hein, 1974 en Harms et al., 1975).

Figura 42. Esquema de los tipos de barras gravosas en el Río Kicking Horse de British Columbia.



Fuente de Hein, 1974 en Harms et al., 1975.

Rust (1972a) y Gustavson (1974) han sugerido que la migración de barras longitudinales tienden a formar capas horizontales pobremente definidas con una fábrica preferencial a(t) b(i) (el eje mayor **a** transversal al flujo con el eje **b** imbricado). Smith (1974) también señaló que “la estratificación es predominantemente masiva o crudamente horizontal, con imbricación de guijos preservada en muchas secciones”. Además que la estratificación inclinada de bajo

ángulo es bastante común, derivada de la migración de barras; y la estratificación cruzada planar de alto ángulo ocurre en las márgenes de algunas barras, pero es generalmente escasa y la mayoría limitada a gravas más finas. (Rust, 1972a; Smith, 1974; y Gustavson, 1974 en Harms et al., 1975).

Hein (1974) mostró la presencia de "láminas de gravas difusas", las cuales se componen de capas de carga más gruesas y se mueven sólo en las más altas descargas. En los flujos ligeramente menores, las láminas de gravas difusas dejan de moverse y forman un pavimento de lag grueso que es el núcleo para el crecimiento de la barra. (Hein, 1974 en Harms et al., 1975).

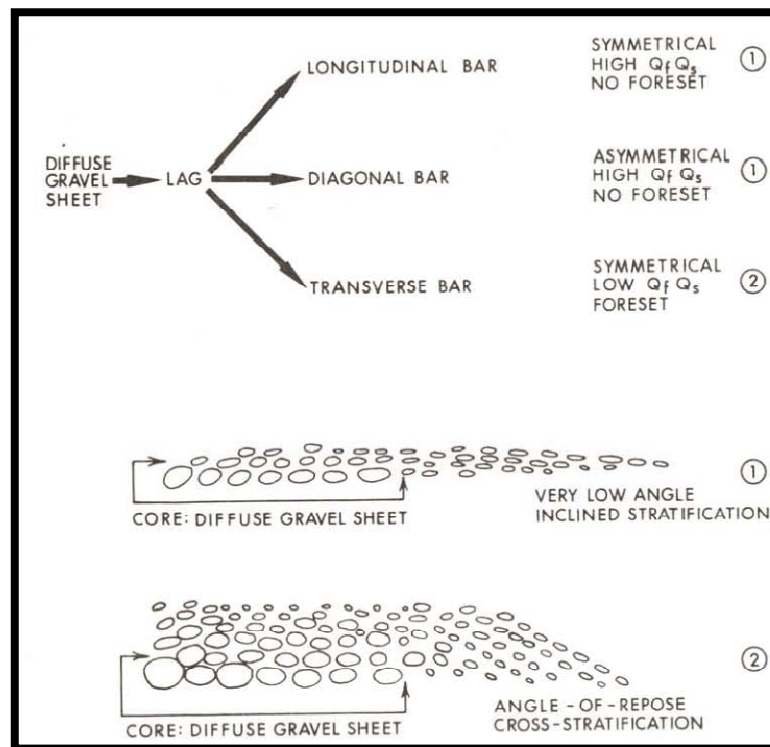
El modelo propuesto en Harms et al., 1975 por Hein y Walker, 1977 para el desarrollo de estructuras en gravas, está basado en: (1) cómo el lag se convierte en una barra longitudinal, transversal o diagonal y (2) si la barra resultante tiene un ángulo de reposo en la pendiente del foreset.

Si la descarga de fluidos (Q_f) y la descarga de sedimentos (Q_s) siguen siendo grandes lags que han sido depositados, la barra tenderá a crecer aguas abajo más rápido que la sedimentación vertical. En estas condiciones, la pendiente del foreset no se desarrollará y la estratificación tenderá a ser horizontal, o muy suavemente inclinada aguas abajo (Figura 43).

Sin embargo, si Q_f y Q_s ambos disminuyen rápidamente después que el lag es depositado, la barra puede sedimentarse más rápido creciendo aguas abajo. La relación entre la morfología de las barras a medida que evolucionan desde el lag será principalmente una función de la simetría del flujo en ambos lados de la barra de crecimiento. De este modo podemos resumir que cuando las láminas de gravas difusas dejan de moverse, forman un lag, el cual puede convertirse en una barra longitudinal si el flujo en ambos lados de la barra es simétrico. Si el flujo es asimétrico (la descarga es más alta en un lado que en el otro), la barra será diagonal a la dirección de la corriente principal. Si el fluido de descarga Q_f y el sedimento de descarga Q_s son altos, la grava se moverá través del tope de la barra y el crecimiento será aguas abajo. Si Q_s y Q_f son bajos, la barra tenderá a la agradación, construyéndose un frente más pronunciado aguas abajo y finalmente

formando estratificación cruzada con un ángulo de reposo. La estratificación de bajo ángulo o horizontal (1 en la Figura 43) está asociado con barras longitudinales y diagonales sin ángulo de reposo en la pendiente del foreset. La estratificación cruzada de alto ángulo (2 en la Figura 43) tiende estar asociada con barras transversales con foresets.

Figura 43. La relación entre los tipos de barras y la estratificación.



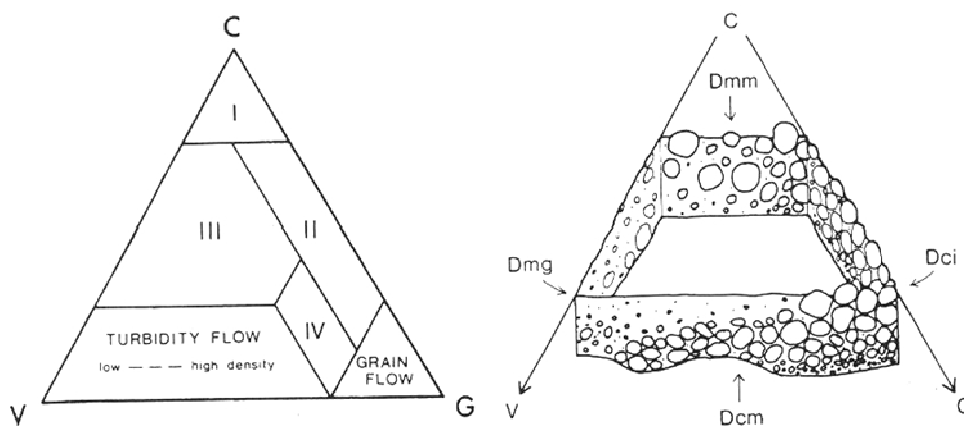
Fuente de Harms et al., (1975).

4.4.3.2 Flujo de Sedimentos por Gravedad o Gravitacionales. Los depósitos fluviales abarcan un amplio rango de sedimentos generados por las actividades de los ríos, arroyos y los procesos asociados a flujos de sedimentos gravitacionales. En los flujos con una alta concentración de sedimento, el transporte de los granos resulta de la flotabilidad de los mismos o del “esfuerzo de la matriz”. A niveles modestos de concentración de sedimentos el flujo no es cohesivo y podría ser internamente turbulento y resultar una laminación incipiente con imbricación de

clastos. Estos flujos son erosivos y podrían producir estrías y ciertas estructuras de erosión basal. Por otro lado, a niveles mayores de concentración de sedimentos (>40%), al flujo se le conoce como hiperconcentrado. El esfuerzo de cizalla (shear stress) es transmitido a través del flujo por una presión dispersiva resultando de la colisiones intergranulares. Los granos más gruesos se mueven a regiones de menor cizalla, en los bordes del flujo, desarrollando una gradación inversa. Este tipo de flujos comúnmente contiene grandes clastos aislados que han sido llevados al tope o a las orillas del flujo. Aún con estas altas concentraciones de sedimentos, el flujo tiene características pseudoplásticas. La matriz es cohesiva y tiene un esfuerzo adecuado para soportar grandes bloques (boulders). Esto puede llegar a desarrollar una selección interna, aunque los clastos más grandes van depositándose gradualmente y tanto verticalmente como corriente abajo puede haber una gradación de clastos incipiente. La parte superior del flujo es sometido a poca cizalla interna y puede ser transportado como un plug semi-rígido. Eventos de este tipo son llamados flujo de detritos y son comunes en algunos ambientes de abanico aluvial. Su alta viscosidad conduce a esquemas de flujo lobulado, con márgenes convexas. El tamaño de los clastos que pueden ser transportados en flujos de detritos depende de la pérdida de fuerza del flujo, el cual es relacionado a su viscosidad y su espesor. Por esta razón, los tamaños de clastos varían comúnmente con el espesor del flujo.

Los flujos individuales pueden evolucionar a través de tres estados del incremento de la concentración como resultado de la pérdida de agua corriente abajo, mediante filtración en el sustrato. La reducción en la pendiente de la corriente aguas abajo, resulta en una pérdida de impulso y energía para el transporte. Finalmente, el aumento de la fricción interna como resultado de una pérdida de impulso y de la lubricación interna del fluido conduce a la “congelación” del flujo. Mientras esto ocurre la cizalla interna puede desarrollar laminación de cizalla y un armazón de clastos incipiente. La relación entre los diferentes tipos de flujo y sus litofacies, están dadas en la Figura 44. (Tomado de Miall, 1996).

Figura 44. Izquierda. Clasificación conceptual de los flujos de detritos. Los vértices representan el comportamiento cohesivo-plástico con el incremento del contenido de arcilla (C), el comportamiento viscoso-fluido con el incremento del contenido de agua (V), y el comportamiento granular-colisional con el incremento del contenido de clastos (G). I: Flujo de detritos plástico, II: flujo de detritos dominados por clastos, III: flujo de detritos pseudoplástico, y IV: flujo de detritos pseudoplástico con carga importante. Los códigos de las litofacies de la derecha son los mismos Gmm, Gmg, Gcm, Gci.



Fuente de Schultz, 1984 en Miall, 1996

Depósitos de Flujos de Detritos Matriz Soportados: Una clase importante de conglomerados matriz-soportados y brechas son los depositados por flujos de detritos. Los flujos de detritos se han observado en ambientes continentales y se deduce que han operado en ambientes submarinos. El término incluye los flujos de lodo, que consisten principalmente de arena y sedimento más finos y sus depósitos de materiales deslizados por gravedad, lodolitas guijarrosas o bloques de lodolitas, dependiendo del tamaño de los clastos y sus dimensiones. Middleton y Hampton, 1973 utilizan el término "para referirse al movimiento lento pendiente abajo de mezclas de sólidos granulares (por ejemplo, los granos de arena,

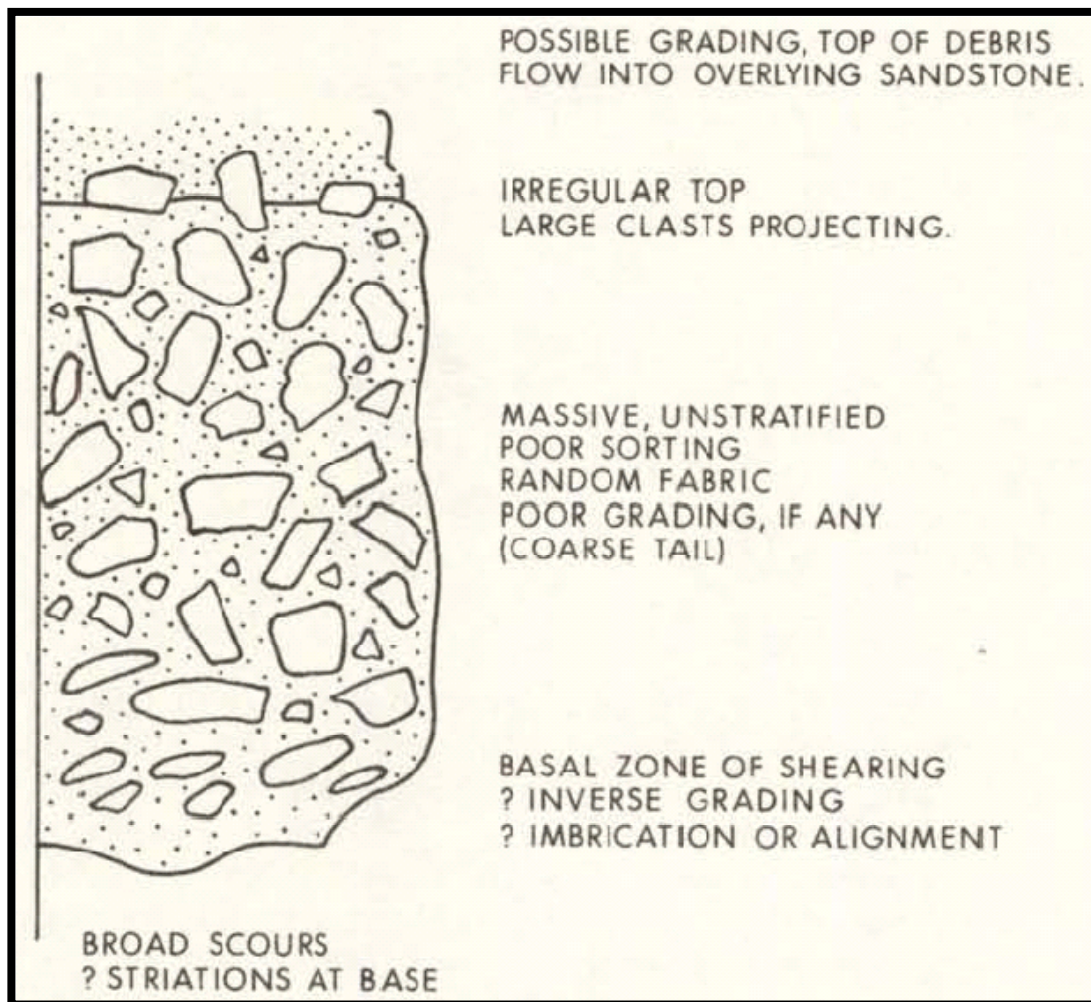
bloques), minerales de arcilla y agua en respuesta a la atracción de la gravedad".

A continuación algunos rasgos característicos de los flujos de detritos:

- Un flujo de detritos está formado por grandes clastos en una matriz de material más fino y agua. El agua y el material fino actúan como un solo fluido, y este puede tener viscosidad sustancial o en algunas circunstancias, esfuerzo de cizalla.
- Los clastos de gran tamaño pueden ser soportados dentro y en el tope de los flujos de detritos debido al esfuerzo de la matriz (Johnson, 1970 en Harms et al., 1975).
- Los flujos de detritos pueden consistir en partes que se están siendo cizalladas y partes que se están comportando como tapones rígidos o semirrígidos (Johnson, 1970 en Harms et al., 1975). La mayoría del cizallamiento se realiza en la base del flujo y lo largo de las paredes del canal, si el flujo es canalizado. Como resultado de este cizallamiento, los clastos pueden ser rotados y alineados. En el taponamiento rígido o semirrígido, hay menos cizallamiento y oportunidad para el desarrollo de un armazón preferido.
- El flujo parece ser laminar, de acuerdo a la descripción de Johnson, 1970. La circulación a gran escala ocurre cerca al frente del flujo o debido a las irregularidades del canal, por lo que algunas mezclas lentas del material son posibles.
- Los clastos grandes tienden a trabajar su camino hacia la parte superior del flujo y caer sobre el borde. Así, las márgenes de un flujo tienden a ser fuertes y gruesas.
- La Figura 45 en Harms et al., 1975 presenta un modelo de secuencia vertical para depósitos de flujo de detritos subacuáticos basados en Middleton y Hampton (1973) pero ha sido ligeramente modificado para permitir la posibilidad de desarrollo de un armazón preferido y gradación inversa en la zona basal. Ninguna de estas características ha sido registrada consistentemente en depósitos de flujo de detritos antiguos. Este modelo de flujo de detritos se contrasta con otros tipos

de flujos de sedimentos gravitacionales por Middleton y Hampton (1973).
(Middleton y Hampton, 1973 en Harms et al., 1975).

Figura 45. Modelo de secuencia vertical para depósitos de flujo de detritos.



Fuente Modificado de Middleton y Hampton, 1973 en Harms et al., 1975

5. ANTECEDENTES

- **Wheeler en Pilsbry y Olsson, (1935):** Usó el nombre “Chorro Series” para capas reconocidas ahora como formaciones La Paz (parte inferior) y Esmeraldas (parte superior), del Grupo Chorro (sensu Morales, et al., 1958).

- **Morales, et al., 1958:** La Formación La Paz es definida por los geólogos de la Tropical Oil Company. En la nomenclatura propuesta por Morales et al., (1958) la Formación La Paz representa la parte inferior del Grupo Chorro. Consta de areniscas masivas, conglomeráticas, de color gris claro, con estratificación cruzada y con intercalaciones dispersas de limolitas y shales que se encuentran principalmente en los dos tercios inferiores de la formación. En la parte inferior de la formación se encuentra un nivel de lutitas arenosas que constituyen el Miembro Toro. La Colombian Soc. Petr. Geoph. (1965) ha señalado que dentro de la Concesión de Mares la Formación La Paz comprende el Miembro Toro en la base y el resto de la sucesión constituye la llamada Zona-E. En los campos de Galán, Llanito y La Cira-Infantes la Formación La Paz está representada casi exclusivamente por la Zona-E que presenta un cambio notable en la litología, por cuanto consta de shales duras, masivas, moteadas y ocasionalmente con areniscas de grano fino y shales arenosos. La Formación La Paz varía considerablemente de espesor de unas áreas a otras. En la sección tipo su espesor es de unos 1000 m.

La base de la Formación La Paz, es decir el Miembro Toro, descansa discordante sobre la Formación Lisama. El límite superior con la Formación Esmeraldas es concordante y transicional. Este límite se coloca donde empiezan las capas delgadas de areniscas y limos que señalan un cambio notable en relación con la sedimentación en bancos masivos que caracteriza a la Formación La Paz. (Tomado de Porta, 1974).

La Formación Esmeraldas es definida por los geólogos de la Gulf Oil Company. La cual descansa concordante sobre la Formación La Paz y el límite es transicional. Siendo colocado donde termina la sedimentación másiva de la Formación La Paz y empieza la aparición de areniscas y limolitas en bancos delgados que corresponden a la Formación Esmeraldas. El contacto superior entre el Horizonte Los Corros y la Formación Mugrosa queda determinado por una discordancia aunque Morales et al., (1958) señalan que la presencia de una litología similar en la base de la Formación Mugrosa puede oscurecer esta discordancia. Por su parte la Colombian Soc. Petr. Geol. Geoph. (1965) indica que en los numerosos pozos abiertos en los Campos Colorado y La Cira-Infantas no se ha observado esta discordancia. (Tomado de Porta, 1974).

- **Ward y Goldsmith, (1973):** El Grupo Chorro (Formaciones La Paz y Esmeraldas) aunque se adelgazan hacia al Oeste, estas formaciones pasan y se vuelven aparecer en la parte NW del Sinclinal de Nuevo Mundo. La Paz alcanza su espesor máximo en el área del río Sogamoso. Taborda, 1965 menciona 1.280 m, medidos a lo largo del río, pero solo 460 m en la Quebrada Putana, unos 14 km al suroeste. Más al oeste, en los campos petroleros del Cuadrángulo H-11. La Paz tiene solamente 170 – 210 m de espesor. En la base de La Paz ocurre en algunos sitios un shale rosáceo grisáceo a crema, duro, denso, de unos 30 m de grueso, que fue originalmente denominado “shale alterado” (Taborda, 1965), pero que ahora se designa como “Miembro Toro”. La Formación Esmeraldas en la sección tipo tiene un espesor de 1.200 m pero varía su espesor en diferentes localidades (Tomado de Ward et al., 1973).

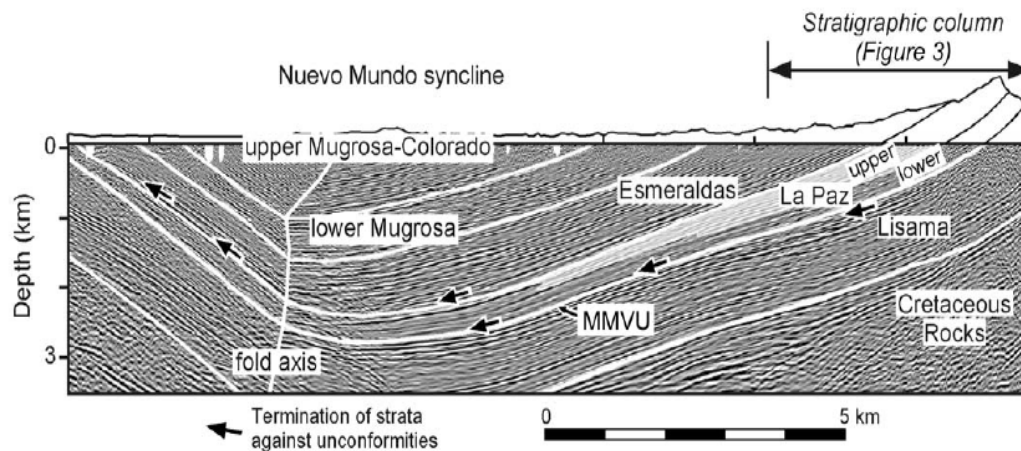
- Wheeler, 1935; Morales et al., 1958; Taborda, 1965; Bueno, 1966 y Ward y Goldsmith, 1973 están de acuerdo con la presencia de una arcillolita muy dura o endurecida que se encuentra en algunas partes de la cuenca del Valle Medio del Magdalena directamente sobre la “inconformidad del Pre-Eoceno Superior” y es considerada como el miembro basal de la Formación La Paz. Su color varía de

gris claro, gris azulado a crema y algunas veces verdusco, con moteamiento rojizo; es denominada el "Toro Shale" o el Miembro Toro (Ward y Goldsmith, 1973). Según Bueno, 1966 este intervalo se localiza en los sinclinales de la zona de Mares alcanzando más de 50 m de espesor y está ausente en el resto de la cuenca. (Tomado de Cruz, 1988).

- **Aguiar y Reyes, (1982):** Proponen una fuente de sedimento para la Formación La Paz del Macizo de Santander al este (Aguiar y Reyes, 1982; Fabre, 1983), los cuales fueron levantados desde el Paleoceno y de la Cordillera Central al oeste (Irving, 1975; Aguilar y Reyes, 1982).
- Los depósitos de la Formación La Paz corresponden a rellenos de canal y barras fluviales (longitudinales y transversales) según de la Cruz, 1988. Ambientes similares de depositación fueron descritos por Aguilar y Reyes, 1982 en la Quebrada La Putana y afluentes; también por reportes de Ecopetrol, 1983 en el área de Las Monas.
- **Cruz, (1988):** Diferentes espesores han sido reportados en el área del río Sogamoso para la Formación La Paz entre ellos tenemos Morales et al., 1958 reportó 1.000m; Taborda, 1965 reportó 1.280m; Gallo, 1970 (reporte no publicado de Intercol) 920m; Ward et al., 1973 reportó 1.102m; disminuyendo su espesor al oeste del Sinclinal de Nuevo Mundo de aproximadamente 1.000m en la parte oriental del sinclinal disminuye a 520m en la Quebrada La Putana y a 90m más al oeste (Aguilar y Reyes, 1982). En el área de Las Monas la Formación adelgaza al oeste y eventualmente se acuña en el flanco oriental del Anclinal de Las Monas (Ecopetrol, 1983; reporte no publicado).
- Determinaron paleocorrientes con dirección de transporte N-NE en el área de la quebrada La Putana y sus afluentes al sur del río Sogamoso en el Sinclinal de Nuevo Mundo.

- Las medidas de paleocorrientes en Esmeraldas indican un flujo NE hasta el E en el área Las Monas (Colcitco, 1983; reporte no publicado). Una tendencia N20-40E tiende a aparecer en la Quebrada La Putana y afluentes (Aguiar y Reyes, 1982). En la sección del río Sogamoso las paleocorrientes tienden también al NE (Gallo, 1970, reporte no publicado de Intercol). (Tomado de la Cruz, 1988).
- **Suarez, (1996):** Formula que La distribución de la Formación La Paz fue controlada por la paleotopografía de la inconformidad del Eoceno Medio y que esta principalmente presente en la parte más profunda de la cuenca Terciaria, rellenando canales en los principales paleoaltos durante el Eoceno Tardío.
- La estratigrafía sísmica interpretada en el Sinclinal de Nuevo Mundo por ejemplo **Aguiar y Reyes, (1982), Otero, (2001) y Gómez et al., (2005) entre otros** interpretan que la Formación La Paz se acuña hacia el Oeste del SNM pero no hay claridad en la continuidad de la Formación La Paz hacia la parte NW del Sinclinal, ya que Otero (2001) deduce continuidad del Grupo Chorro (Formaciones La Paz y Esmeraldas) hacia este sector y Gómez et al., (2005) interpreta que el Grupo Chorro se adelgaza hacia el W por acuñamiento del Miembro Superior de la Formación La Paz y se pierde hacia el eje del Sinclinal de Nuevo Mundo (Figura 46).

Figura 46. Sección sísmica convertida a profundidad en el Sinclinal de Nuevo Mundo, se observa una fina inconformidad angular que separa la Formación Lisama haciendo onlapping a la Formación La Paz. Otra fina inconformidad angular constituye el límite entre la Formación La Paz y la suprayacente Formación Esmeraldas. Los estratos del Eoceno Medio al Oligoceno Inferior como lo son las Formaciones La Paz, Esmeraldas y Mugrosa Inferior adelgazan hacia el Oeste.



Fuente de Gómez et al., 2005).

- Según **Caballero, (2010)** la Formación La Paz adelgaza hacia el W del Sinclinal de Nuevo Mundo hasta desaparecer, a diferencia de la Formación Esmeraldas la cual continua hacia el W pero se va adelgazando paulatinamente suprayaciendo directamente sobre la Formación Lisama hacia la parte noroccidental del Sinclinal de Nuevo Mundo, Esta conclusión es contraria a lo postulado por Ward y Goldsmith (1973) quienes interpretan que la Formación La Paz es continua en todo el Sinclinal de Nuevo Mundo y no desaparece.

Según **Caballero, (2010)** existe una buena correlación con el pozo Corazón 8 y se pudo observar que a partir del cabalgamiento de la Falla de La Salina, las unidades La Paz y Esmeraldas continúan adelgazándose hacia el W pero las unidades Mugrosa, Colorado y Real son más gruesas en el bloque yacente justo debajo del bloque cabalgante y comienzan a adelgazarse hacia el W.

6. MARCO GEOLÓGICO

6.1 MARCO ESTRATIGRÁFICO

A continuación se describen a manera general las Formaciones presentes en el área de estudio (Sinclinal de Nuevo Mundo); pertenecientes a la secuencia Paleógena y Neógena conformadas por rocas siliciclásticas depositadas principalmente bajo condiciones continentales con alguna influencia (Barrero et al., 2007) (Figura 2).

Formación Lisama: La sección tipo de Lisama, está en la quebrada del mismo nombre y queda justamente al sur del río Sogamoso. Las capas de Lisama son de carácter transicional y siguieron al final de la depositación marina y Cretácea de la Formación Umir. Son principalmente shales moteados con colores marrones y grises, que llevan intercalaciones de areniscas de grano medio a fino, gris, gris verdoso y marrón. Hacia el tope de la Formación, las areniscas son de grano más grueso. Se encuentran mantos de carbón pero son más delgados que los de Umir. El contacto con el Umir es conforme y gradacional y se coloca generalmente en la primera arenisca bien desarrollada encima de los shales de éste. El contacto con la suprayacente Formación La Paz, es inconforme, localmente con pronunciada discordancia angular (Taborda, 1965). (Tomado de Ward et al., 1973).

El depósito de estos sedimentos ocurrió en un ambiente bajo condiciones lagunares deltáicas. El espesor alcanza hasta 1.225 m. La edad es Paleoceno (Vander Hammen, 1958). Se le ha correlacionado con las formaciones Barco y Los Cuervos de la cuenca de Catatumbo-Maracaibo. (Tomado de Royero y Clavijo, 2001).

Grupo Chorro: Wheeler usó el nombre “Chorro Series” (Pilsbry y Olsson, 1935) para capas reconocidas ahora como formaciones La Paz (parte inferior) y Esmeraldas (parte superior), del Grupo Chorro. (Morales, et al., 1958). Este grupo aflora en el sector occidental de Santander y ocupa parte del Valle Medio del Magdalena. (Tomado de Ward et al., 1973).

Formación La Paz: Los autores son los geólogos de la Tropical Oil Company (en Morales, et al., 1958) y su sección tipo está en la angostura del Río Lebrija, por la vía férrea, abajo de Vanegas. La secuencia estratigráfica está compuesta por areniscas grises conglomeráticas, conglomerados, limolitas y grandes paquetes de lutitas grises. El depósito de los sedimentos de esta unidad se desarrolló en un ambiente de corrientes trenzadas. El espesor en la sección tipo es de 1.000 m, pero generalmente presenta variaciones locales.

La Formación La Paz descansa discordantemente sobre la Formación Lisama. Su contacto superior con la Formación Esmeraldas es concordante y transicional. Conforme a su posición estratigráfica, la unidad se considera del Eoceno superior. Es correlacionable con la parte inferior de la Formación Mirador. (Tomado de Royero y Clavijo, 2001).

En la vía Bucaramanga-Barrancabermeja sobre el cañón del río Sogamoso, la parte basal de la Formación La Paz consiste de areniscas de grano grueso alternando con arcillolitas, seguidas de areniscas masivas de grano grueso a conglomeráticas con intercalaciones delgadas de arcillolitas grises (Morales et al., 1958; Taborda, 1965; Gallo, 1970; Ward et al., 1973). Que a diferencia de Royero y Clavijo, 2001 agregan a la descripción estratigráfica de la Formación La Paz conglomerados.

Paleontología y Edad: Las primeras publicaciones sitúan de una manera general a esta unidad dentro del Terciario. Anderson (1926, 1927a) por su equivalencia

entre La Paz y Guaduas le da una edad del Eoceno (edad que entonces se daba al Guaduas). Las citas genéricas de Anderson (1928) *Melania*, *Ampullaria*, *Corbula* y *Cyrena* no son fáciles de interpretar. Quizás puedan corresponder al Horizonte fosilífero Los Corros. Van Der Hammen (1958) sitúa la Formación La Paz en el Eoceno Inferior y Medio basándose en correlaciones palinológicas, pero nunca se han publicado estas asociaciones.

La ausencia de fósiles en esta formación ha obligado a establecer su edad a partir de su posición estratigráfica. Teniendo en cuenta la edad Paleocena que tiene la Formación Lisama infrayacente y la edad Eocena de la Formación Esmeraldas suprayacente, se ha determinado una edad del Eoceno para la Formación La Paz. La Colombian Soc. Petr. Geol. Geoph. (1965) le asigna una edad más precisa: Eoceno superior.

Más recientemente Germeraad, Hopping and Muller (1968) señalan que en la parte inferior de la Formación La Paz está representada la parte superior de la Zona de *Foveotricolpites perforatus* y que el resto de la formación contiene la Zona de *Retibrevitricolpites triangulatus* y la base de la Zona de *Retitricolporites guianensis* que se situaría hacia la parte superior de esta unidad. Según las edades asignadas a estas zonas la Formación La Paz tendría una edad comprendida entre el Paleoceno y el Eoceno medio. (Tomado de Porta, 1974).

No se han encontrado fósiles con los cuales datar la continental La Paz, pero su posición con respecto a las Formaciones superior e inferior que sí lo están, indica una edad Eoceno. (Tomado Ward y Goldsmith, 1973).

La edad de la Formación La Paz es del Eoceno Tardío determinado por análisis palinológicos en la sección río Sogamoso (Gallo, 1970; Morales, 1984; reportes no publicados Intercol). El registro fósil en las formaciones arriba (Esmeraldas) y abajo (Lisama) refuerza esta determinación. (Tomado de Cruz, 1988). Suárez,

1996 también considera ésta edad para la Formación La Paz basado en relaciones estratigráficas y estructurales.

Formación Esmeraldas: Esta Formación superior del Grupo Chorro fue bautizada por el caserío La Esmeralda, sobre el río Sogamoso, donde la sección tipo está expuesta en la parte occidental del Cuadrángulo H-12 y está cerca del caserío Esmeraldas, junto al río Sogamoso. Este término fue utilizado por primera vez por los geólogos de la Gulf Oil Company (Morales, et al., 1958). Esta unidad se compone de areniscas grises y verdosas, de grano fino, de estratificación fina a laminada con intercalaciones de limolitas y lutitas moteadas de rojo, púrpura y pardo; contiene algunas capas delgadas de carbón.

El ambiente depositacional fue bajo condiciones lagunares deltaicas. El espesor se ha calculado en unos 1.200 m. El contacto inferior con la Formación La Paz es concordante, mientras que el contacto superior está determinado por una posible discordancia con la Formación Mugrosa. La unidad es del Oligoceno. Es correlacionable con la parte superior de la Formación Mirador y parte inferior de la Formación Carbonera. (Tomado de Royero y Clavijo, 2001).

La Formación Esmeraldas tiene un origen fluvial. Esta fue depositada por canales meandriformes como barras de punto arenosas, depósitos de canales y depósitos de llanura de inundación. (Tomado de Cruz, 1988).

Paleontología y Edad: Los fósiles hallados en esta formación corresponden principalmente a los Moluscos del Horizonte Los Corros situado en la parte más superior de esta unidad y fueron determinados por Pilsbry and Olsson (1935). Basándose en la semejanza de algunas formas de este horizonte con las faunas de la Formación Saman en el Perú, Pilsbry and Olsson dieron a esta unidad una edad del Eoceno superior. Van Der Hammen (1957b y c, 1958) por correlaciones palinológicas le asigna también esta edad. Según Morales et al., (1958)

correlaciones palinológicas con la Formación Carbonera realizadas por Sarmiento (informe privado) dan también una edad del Eoceno superior a esta formación. Según Morales et al., las capas estudiadas por Sarmiento en la Formación Carbonera se encuentran debajo de la fauna de Hannatoma que era considerada como perteneciente al Eoceno superior. Germeraad, Hopping y Muller (1968) han indicado que en la base de la Formación Esmeraldas se encuentra la Zona de Retitricolporites guianensis y también la Zona de Verrucatosporites usmensis, que darían a esta formación una edad del Eoceno Medio-Superior. Desgraciadamente los datos publicados por Germeraad, Hopping y Muller son incompletos y no cubren toda la sucesión por lo que no se sabe a qué zona corresponde la parte superior de la Formación Esmeraldas. (Tomado de Porta, 1974).

Gasterópodos y pelecípodos de agua salobre a dulce del horizonte fosilífero de los Corros que ocurren localmente en el tope de la Formación, se han identificado como formas del Eoceno Superior (Pilsbry y Olsson, 1935). Los estudios de polen indican también una edad del Eoceno Superior sobre la base de correlación con polen de Eoceno Superior (parte inferior de la Formación Carbonera) de la Cuenca de Maracaibo (Morales et al., 1958). Se indica para la Formación un origen deltaico y lagunal. (Tomado de Ward y Goldsmith, 1973).

Gallo, 1970 determinó la edad del Eoceno Tardío para La Formación Esmeraldas basado en análisis de polen.

Grupo Chuspas: Las capas encima del horizonte fosilífero de los Corros y debajo de los gruesos estratos clásticos de la Formación Real, fueron originalmente llamados Formación Chuspas. La sección fue después dividida en las Formaciones Mugrosa y Colorado por Wheeler (Pilsbry y Olsson, 1935), con base en el horizonte fosilífero de la Mugrosa en el tope de la Formación Mugrosa. (Tomado de Ward y Goldsmith, 1973).

Formación Mugrosa: La sección tipo está en la quebrada Mugrosa del área anticlinal del mismo nombre. En esta área general la parte inferior consiste de arenisca de grano fino a medio, raramente de grano grueso y guijarroso, gris a verde grisáceo, con intercalaciones de shale gris y azul (Taborda, 1965). La parte media contiene shales manchados, azul opaco y marrón, masivos con poca intercalaciones delgadas de arenisca de grano fino a grueso, raramente guijarrosa, gris, con intercalaciones menores de shale verde y manchado. La proporción de arena a shale aumenta hacia el este en la parte inferior, mientras en la parte superior la proporción de shale a arena aumenta (Morales et al, 1958). Se encuentra un poco de glauconita oolítica. La Formación por meteorización da origen a relieve topográfico bajo.

El contacto con la subyacente Esmeraldas es una inconformidad regional según Morales et al (1958), pero Taborda (1965) afirma que la inconformidad no se ha hallado en el área del río Sogamoso y se reporta conformable con la suprayacente Formación Colorado. (Tomado Ward y Goldsmith, 1973).

El ambiente de depósito se considera como continental fluvial. El espesor varía entre 500 y 800 m. (Tomado de Royero y Clavijo, 2001).

Formación Colorado: Esta formación reside su nombre del río Colorado, donde está localizada la sección tipo. Allí el límite inferior es el tope de la zona fosilífera en la parte más alta de la Formación Mugrosa. Consiste de Shales gris claro manchados de púrpura y rojo, compactos, masivos, con intercalaciones de arenisca de grano fino grueso, blanca y marrón amarillenta y estratificación cruzada (Morales et al 1958). Los shales son más rojizos y las areniscas más gruesas y más conglomeráticas que las de la Formación Mugrosa. La zona fosilífera de La Cira, marca el tope del Colorado, que es inconforme con el suprayacente Grupo Real. Se considera que los sedimentos de esta unidad se depositaron bajo condiciones fluviales. Es espesor total en la sección tipo es de 1250m. En otras partes varía hasta 2500m. (Tomado de Ward y Goldsmith, 1973).

Grupo Real: Fue descrito por Wheeler (en De Porta, et al., 1974) y su sección tipo se ubica en el sitio Bandera Real, cerca del Río Opón, donde fue subdividido en cinco formaciones que de base a techo son: Formación Lluvia, compuesta por conglomerados polimícticos; Formación Chontorales, areniscas conglomeráticas y arcillolitas; Formación Hiel, arcillolitas grises y gris rojizas con areniscas; Formación Enrejado, consistente en arcillolitas con alternancia de areniscas, y Formación Bagre, areniscas conglomeráticas. El ambiente de depósito de estos sedimentos es interpretado como fluvial. Su espesor total es de 3.600 m.

Regionalmente existen inconformidades estratigráficas bien definidas entre el Grupo Real con la infrayacente Formación Colorado y el suprayacente Grupo Mesa. La edad es considerada del Mioceno medio al Plioceno. El Grupo Real es equivalente al Real de las compañías Intercol y Shell. (Tomado de Royero y Clavijo, 2001).

6.2 MARCO ESTRUCTURAL

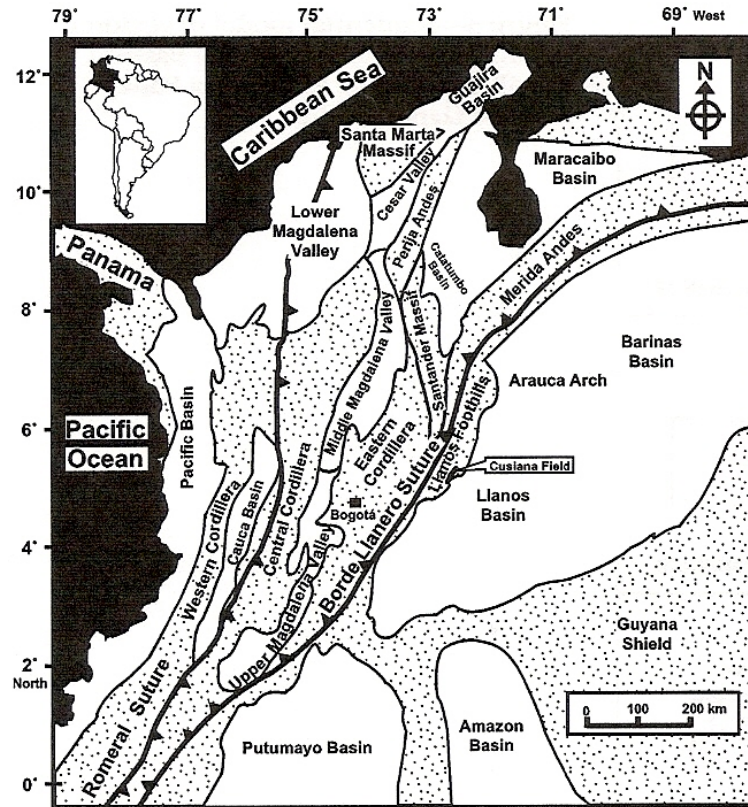
6.2.1 Algunos Rasgos Estructurales De La Zona

Grandes eventos tectónicos han influenciado el desarrollo de las cuencas Colombianas y están todos estrechamente vinculados con la evolución del margen activo de la parte occidental de Suramérica. (Tomado Cooper et al., 1995).

El basamento de Colombia es dividido en tres zonas separadas por grandes suturas (Suarez, 1990 en Cooper et al., 1995) (Figura 47):

1. El escudo Guyana Precámbrico en el este.
2. La Provincia Central de rocas metamórficas del Precámbrico – Paleozoico Temprano.
3. La acreción de la corteza oceánica y subducción relacionada con sedimentos y fragmentos volcánicos, los cuales forman la Cordillera Occidental. (Tomado Cooper et al., 1995).

Figura 47. Muestra el mapa de las principales provincias tectónicas de Colombia, con las cuencas sedimentarias actuales entre ellas la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, las cuales se aprecian en blanco.



Fuente de Cooper et al., 1995

Según Fabre, 1984 los principales eventos tectónicos que dieron lugar a la formación de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena están relacionados con la separación del Norte y Suramérica y el levantamiento de la Cordillera Oriental durante la Orogenia Andina. (Tomado de Otero, 2001).

La Cuenca del Valle Medio del Magdalena documenta datos del Cretácico Tardío y el levantamiento de la Cordillera Central con una transferencia posterior de deformación de la Cordillera Oriental, de manera coherente con la evolución del espesor del margen Andino. (Tomado de Gómez et al, 2005).

El estilo estructural del área de estudio se interpreta dentro de un régimen compresivo caracterizado por un sistema de fallas de cabalgamiento de vergencia noroccidental que han generado pliegues anticlinales estrechos (Anticlinal de Lisama) separados por sinclinales amplios (Sinclinal de Nuevo Mundo).

Al oeste de la Falla La Salina, la secuencia Terciaria solo se encuentra en el Sinclinal de Nuevo Mundo, en los demás sectores hacia la cordillera, esta se ha erosionado o no se ha depositado (Figura 1).

El principal evento erosivo está representado por la discordancia del Eoceno, se observa angular al oeste de la Falla La Salina y casi paraconforme al este según las características sísmicas.

De acuerdo a la sísmica se identificaron al menos 3 eventos a los que ha sido sometida el área. Un evento distensivo para el Pre-Cretáceo que iría hasta el Aptiano (Formación Paja) evidenciado por la presencia de fallas normales. Un segundo evento para el Santoniano que reactivó como inversas las fallas normales preexistentes evidenciadas por la discordancia que marca el límite entre los estilos estructurales del Cretácico y del Terciario. El tercer y último evento empezó en el Oligoceno (Villamil, 1999) y tuvo su máxima expresión en el Mioceno Medio el cual creó y levantó la actual Cordillera Oriental y en el área reactivó las fallas de Arrugas, San Luis y La Salina las cuales levantaron y cortaron toda la secuencia Terciaria como se observa actualmente en superficie.

La principal Falla es La Salina: Es una falla de cabalgamiento de vergencia noroccidental. Tiene una longitud aproximada de 130 km, con una orientación aproximada N30E. Asociado a su bloque levantado se encuentra el sinclinal de nuevo mundo, esta falla pone el contacto formaciones del Cretácico al este con formaciones del Terciario al oeste. Se interpreta su zona de despegue la Formación Girón. Esta falla fue normal en el Pre-Cretácico y se reactivó como inversa en el Cretácico Tardío y se comporta como una falla de límite de cuenca.

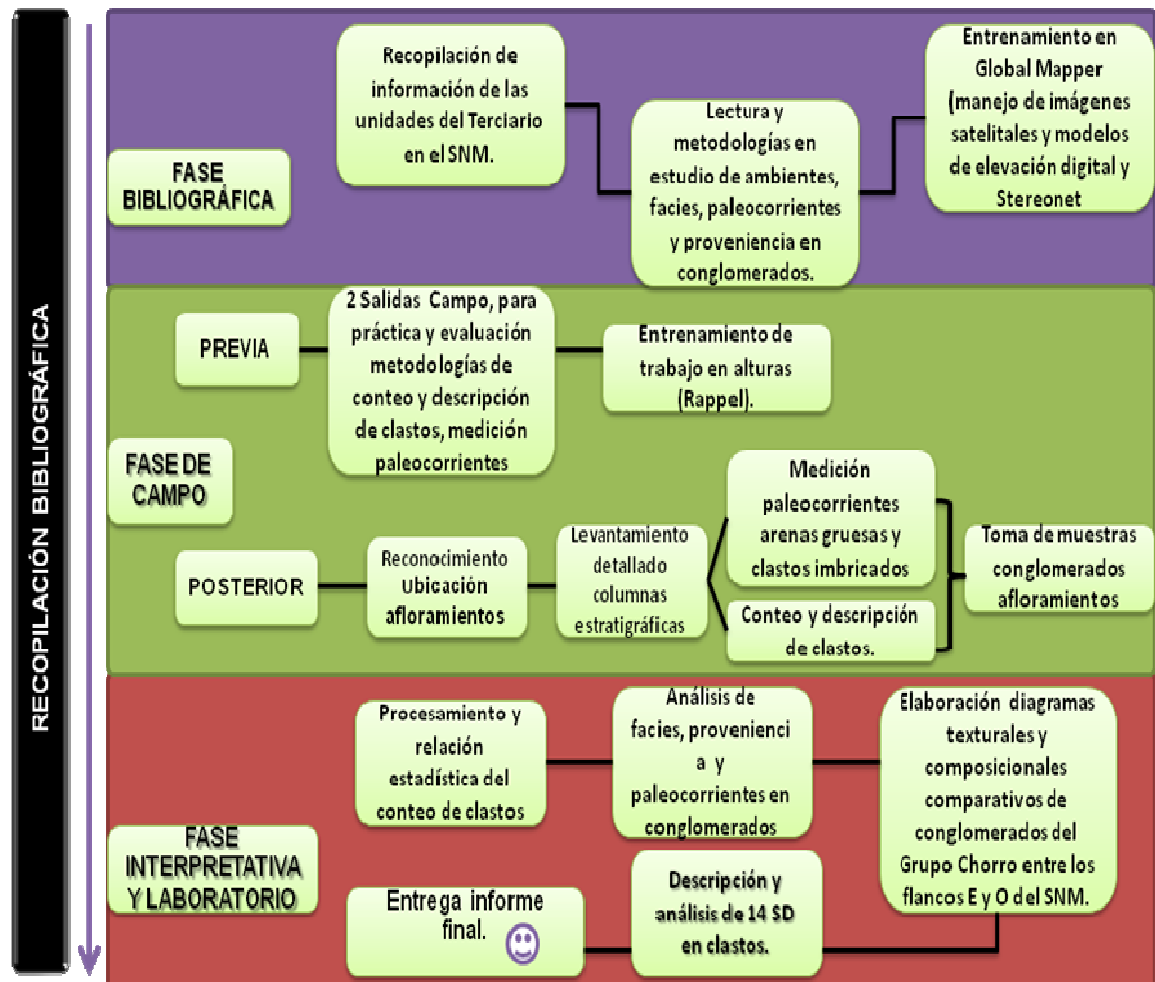
El Sinclinal de Nuevo Mundo: Es una estructura asimétrica su flanco occidental tiene en promedio 60 grados de inclinación y su flanco oriental entre 30 y 40 grados. Tiene 50 km de longitud. Está asociado al bloque levantado de la Falla de la Falla La Salina; involucra las Formaciones Terciarias desde el Paleoceno (Formación Lisama) hasta el Mioceno (Formación Real). Al sur del río Sogamoso su rumbo es N-S y al norte su eje se desplaza 5 km al oeste y su orientación se vuelve N25E. (Tomado de Otero, 2001).

Según Otero, 2001 en el borde oriental del Valle Medio del Magdalena en la estribación occidental de la Cordillera Oriental, hay dos estilos estructurales bien definidos, uno para el Cretácico el cual se clasificó como "compressive fault blocks and basement thrust" y otro estilo para el Terciario clasificado como "Decollement thrust - fold assemblages".

7. METODOLOGÍA

Para este proyecto se definieron tres fases de trabajo, una fase de recopilación bibliográfica (1), una fase de campo (2), una fase Interpretativa y de Laboratorio (3). (Figura 48).

Figura 48. Flujo de Trabajo aplicado en la metodología desarrollada para este estudio.



Fuente autores

7.1 FASE 1: Recopilación Bibliográfica. En esta fase se compila la información cartográfica y bibliográfica referente al área de estudio, las metodologías a realizar y manejo de software. Desarrollándose entre otros:

- Recopilación de información de las unidades del Terciario en el SNM y metodologías en el estudio de conglomerados.
- Lectura de ambientes, facies, paleocorrientes y proveniencia en conglomerados.
- Entrenamiento en Global Mapper (manejo de imágenes satelitales y modelos de elevación digital del área de estudio, SNM) y Stereonet (proyección de paleocorrientes).

7.2 FASE 2: Campo. En donde se realizaron una salida de campo previa y una posterior.

Salida Previa:

- Dos Salidas de Campo, para práctica y evaluación de las metodologías de conteo, descripción de clastos y medición paleocorrientes.
- Entrenamiento de trabajo en alturas (Rappel).

Salida Posterior:

Reconocimiento del área de estudio y ubicación de los siguientes afloramientos (Figura 3):

Tabla 4. Conglomerados basales de la Formación La Paz propuestos por Caballero, 2010.

| FLANCO | SITIO (FM LA PAZ) | ESTE | NORTE | UNIDAD | ESPESOR |
|--------------|---------------------------------|------------------|---------|-----------------------------|---------|
| F. Occidente | Vía Barranca Campo Lisama | 1060782 | 1280631 | Cong. Basal | 1.5 m |
| | Arriba Pozo LS Norte 2P | 1060839 | 1276161 | Cong. Basal | 4.5 m |
| | Cerro La Aurora | 1060845 | 1266208 | Cong. Basal | 24 m |
| | Sur Cerro La Aurora | 1060913 | 1265111 | Cong. Basal | 15.3 m |
| F. Oriental | Extremo Sur | 1064058 | 1260401 | Cong. Basal | 14 m |
| | Altamira | 1073679 | 1270568 | Cong. Basal | 10 m |
| | Represa Sogamoso | 1075558 | 1276886 | Cong. Basal | 8 m |
| | Vía Uribe - Puente Rojo | 1082347 | 1291116 | Cong. Basal | 4 m |
| | Columna Compuesta Fm Esmeraldas | Base: 1082366 | 1291087 | Niveles conglomeráticos (2) | |

Fuente autores

- Levantamiento detallado de columnas cercanas a los conglomerados a escala 1:50 en afloramientos.
- Conteo de clastos de 100 a 400 clastos en capas de conglomerados presentes, mediante la metodología de Graham et al., 1986 y Howard et al., 1993.
- Descripción de clastos: textural, composicional, tamaño, forma, redondez, tipo de matriz y facies; aplicando la metodología de Folk (1980), Harms et al. (1975).
- Medición de paleocorrientes en arenas gruesas y clastos imbricados, mediante la metodología de Harms et al. (1975), DeCelles y Langford (1983).

- Verificación de la relación estratigráfica de los afloramientos con las unidades infrayacentes y suprayacentes.

7.3 FASE 3:

Interpretativa y de Laboratorio. Esta fase corresponde al procesamiento, integración y análisis de la información obtenida en campo y elaboración del informe final.

- Procesamiento del conteo y medición de clastos mediante la metodología de Graham et al., 1986 y Howard et al., 1993.
- Relación estadística de los conteos en cada flanco del SNM (textura, composición (porcentajes del conteo de clastos), matriz, redondez, tamaño, forma, facies).
- Análisis de facies en conglomerados basados en Miall, (1996); Walker, (1984); Harms et al., (1975).
- Análisis de proveniencia y paleocorrientes mediante la metodología de Dickinson y Suczek (1979); Dickinson (1985), DeCelles et al. (1991), Graham et al., 1986, Howard et al., 1993, DeCelles y Langford (1983) y Harms et al. (1975).
- Elaboración de diagramas texturales y composicionales comparativos de los conglomerados del Grupo Chorro entre los flancos Este y Oeste del Sinclinal de Nuevo Mundo.
- Descripción y análisis de 14 secciones delgadas en clastos para comprobar su composición.
- Elaboración del informe final.

8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

8.1 DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS DEL GRUPO CHORRO EN EL FLANCO E DEL SINCLINAL DE NUEVO MUNDO

Para el desarrollo de este estudio se tomaron las coordenadas de ocho afloramientos reportados por Caballero, 2010 como conglomerados basales de la Formación La Paz a través del Sinclinal de Nuevo Mundo (Tabla 5) y dos afloramientos con areniscas conglomeráticas de la Formación Esmeraldas.

Tabla 5. Afloramientos donde se realizó el levantamiento estratigráfico a niveles conglomeráticos y areniscas conglomeráticas de las Formaciones La Paz y Esmeraldas

| FLANCO | SITIO | ESTE | NORTE | UNIDAD | ESPEJOR MEDIDO (COLUMNA) |
|--------------|--|---------|---------|----------------------|--------------------------|
| Flanco Este | Río Sucio | 1082346 | 1291099 | Formación La Paz | 7.15 m |
| | Vía Bucaramanga-Barrancabermeja | 1075580 | 1276875 | Formación La Paz | 5.71 m |
| | Altamira | 1073777 | 1270725 | Formación La Paz | 3.50 m |
| | Esmeraldas 1 | 1073384 | 1277685 | Formación Esmeraldas | 2.50 m |
| | Esmeraldas 2 | 1073712 | 1277700 | Formación Esmeraldas | 3.10 m |
| Flanco Oeste | Extremo Sur | 1064045 | 1260371 | Formación La Paz | 7.71 m |
| | Tienda La Aurora | 1060913 | 1265113 | Formación La Paz | 13.75 m |
| | Cerro La Aurora-Cascada | 1060867 | 1266223 | Formación La Paz | 1.83 m |
| | Pozo LN - 2P | 1060837 | 1276151 | Formación La Paz | 2.30 m |
| | Vía La Fortuna – Finca Aguas Calientes | 1060781 | 1280643 | Formación La Paz | 13.80 m |

Fuente Grupo Chorro) en el Sinclinal de Nuevo Mundo (Figura 3).

8.1.1 RÍO SUCIO

X: 1082346

Y: 1291099

Z: 356 m Error: +/- 4 m

Descripción: El afloramiento asociado a litologías conglomeráticas levantado en Río Sucio tiene un espesor de 7.15 m (Tabla 6), está dividido en tres partes, una parte basal constituida por niveles paraconglomeráticos y ortoconglomeráticos, una parte media conformada por areniscas con estratificación cruzada en artesas y hacia el tope ortoconglomerados con arenisca de grano medio a grueso, masiva. En el nivel paraconglomerático hacia el tope de la capa presenta un lente de arenisca media a gruesa, formando artesas con guijarros (pebbles) (Figura 49, Anexo 1.1). En general el afloramiento está conformado por conglomerados polimícticos, moderadamente bien seleccionado predominando guijarros gruesos de tamaños entre 16 a 32 mm (-4, -5 phi) con una tendencia bimodal, simétrica y curtosis (forma o apuntamiento de las distribuciones) platicúrtica (Figura 50), una alta esfericidad de 0.6 a 0.8, con clastos subangulares a subredondeados (Figura 19) y sus formas principales son compactas laminares, elongadas y compactas elongadas (Figuras 51 y 52). Su composición principal es de cuarzo, chert amarillo, chert negro, chert gris y en menor cantidad cuarcita (9%) (Figura 53, Tabla 7).

En la parte analizada del afloramiento Río Sucio se encontraron las siguientes facies: Gmm, Gcm, Gp, St y Sm (Anexo 1.1).

Figura 49. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área de Río Sucio. Espesor 7.15 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3.

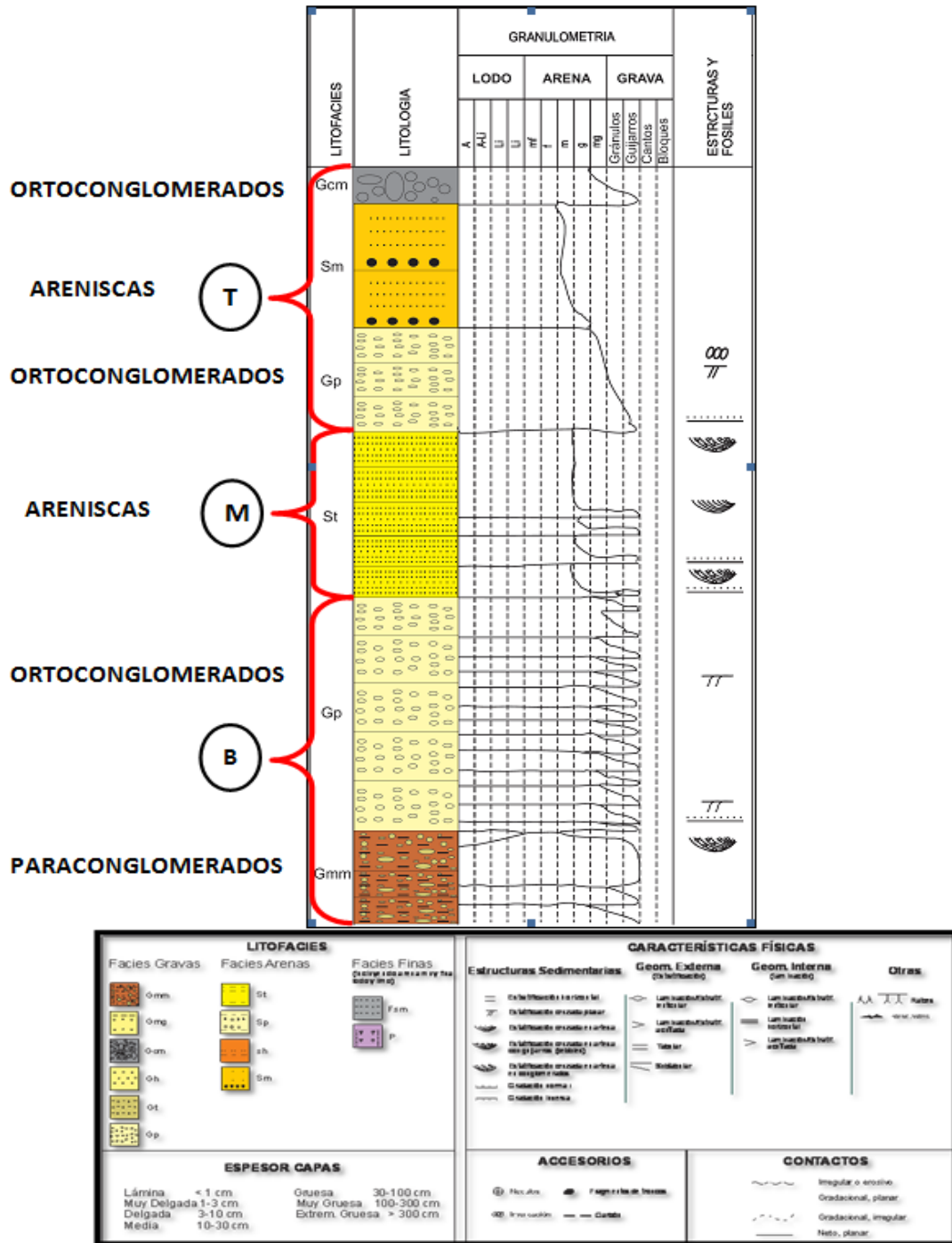


Figura 50. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Río Sucio.

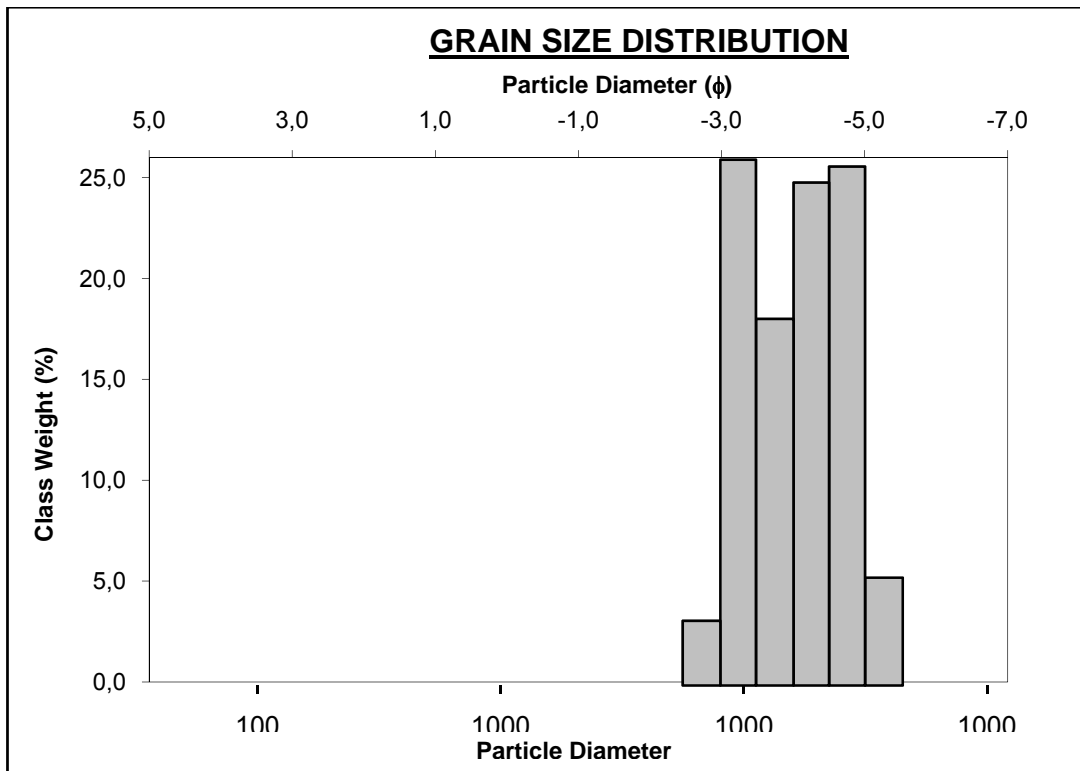


Figura 51. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en aplanadas y otro pico en elongadas. (Ver Figura 18).

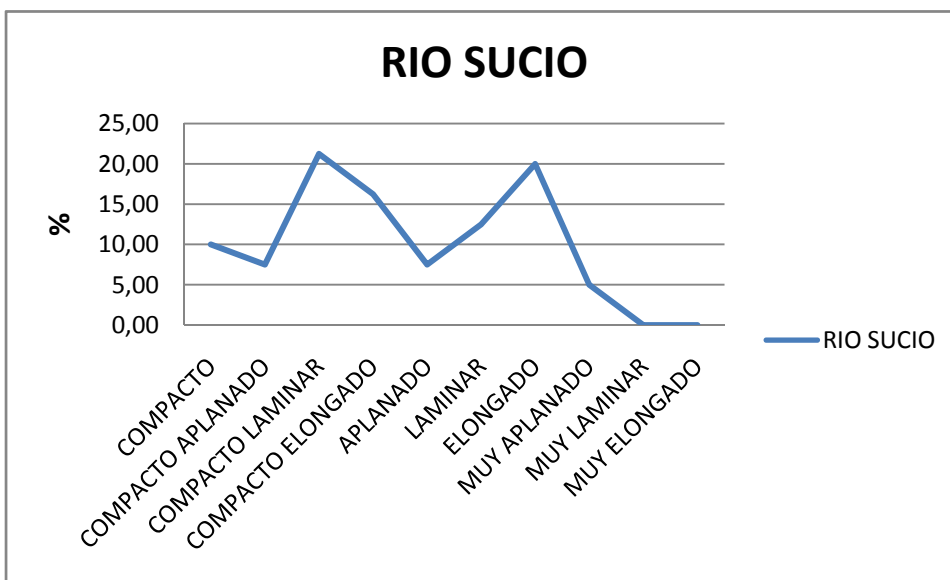


Figura 52. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 21% de formas compactas laminares y un 20% en elongadas.

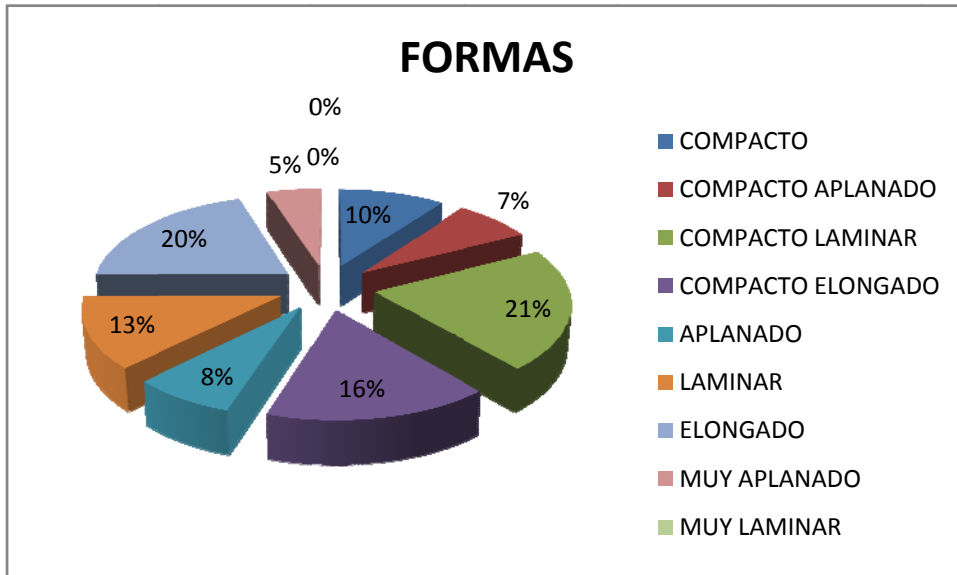


Figura 53. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Río Sucio. Se resalta la abundancia de alrededor del 30% del Chert amarillo y Cuarzo.

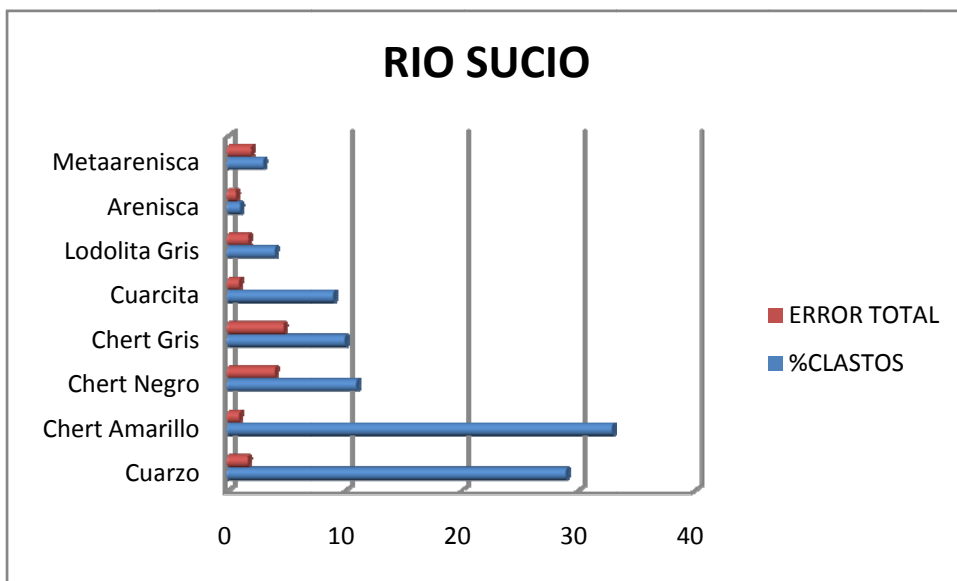


Tabla 6. Composición de clastos del afloramiento Río Sucio, donde se realizaron 4 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo.

| COMP. | %CLASTOS | CE | SE | ERROR TOTAL |
|----------------|----------|------------|------------|-------------|
| Cuarzo | 29 | 0,08984489 | 1,67366863 | 1,67607839 |
| Chert Amarillo | 33 | 0,09310212 | 0,93827857 | 0,942886351 |
| Chert Negro | 11 | 0,06195217 | 4,00083325 | 4,001312877 |
| Chert Gris | 10 | 0,0594 | 4,75914208 | 4,759512758 |
| Cuarcita | 9 | 0,05666399 | 0,93827857 | 0,939988018 |
| Lodolita Gris | 4 | 0,03879992 | 1,72855752 | 1,728992928 |
| Arenisca | 1 | 0,01970075 | 0,65333333 | 0,653630296 |
| Metaarenisca | 3 | 0,03377627 | 1,96 | 1,960291008 |

8.1.2 VÍA BUCARAMANGA – BARRANCABERMEJA

X: 1075580

Y: 1276875

Z: 359 m Error: +/- 8 m

Descripción: El afloramiento asociado a litologías conglomeráticas levantado en la Vía Bucaramanga - Barrancabermeja tiene un espesor de 5.71 m (Tabla 6), en su parte basal está conformado por niveles paraconglomeráticos granocrecientes seguidos de intercalaciones de niveles ortoconglomerados que presentan estratificación horizontal con areniscas sublíticas con estratificación cruzada en artesa formando una secuencia granodecreciente (Figura 54, Anexo 1.2). En general el afloramiento está conformado por conglomerados polimícticos, moderadamente seleccionado predominando guijarros medios de tamaños entre 8 a 16 mm (-3, -4 phi) con una tendencia bimodal, simétrica y curtosis (forma o apuntamiento de las distribuciones) platicúrtica (Figura 55), una alta esfericidad de 0.6 a 0.9, con clastos muy angulosos a subredondeados (Figura 19) y sus formas principales son compactas elongadas, compactas laminares, compactas y

Figura 55. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Vía B/ga-B/bermeja.

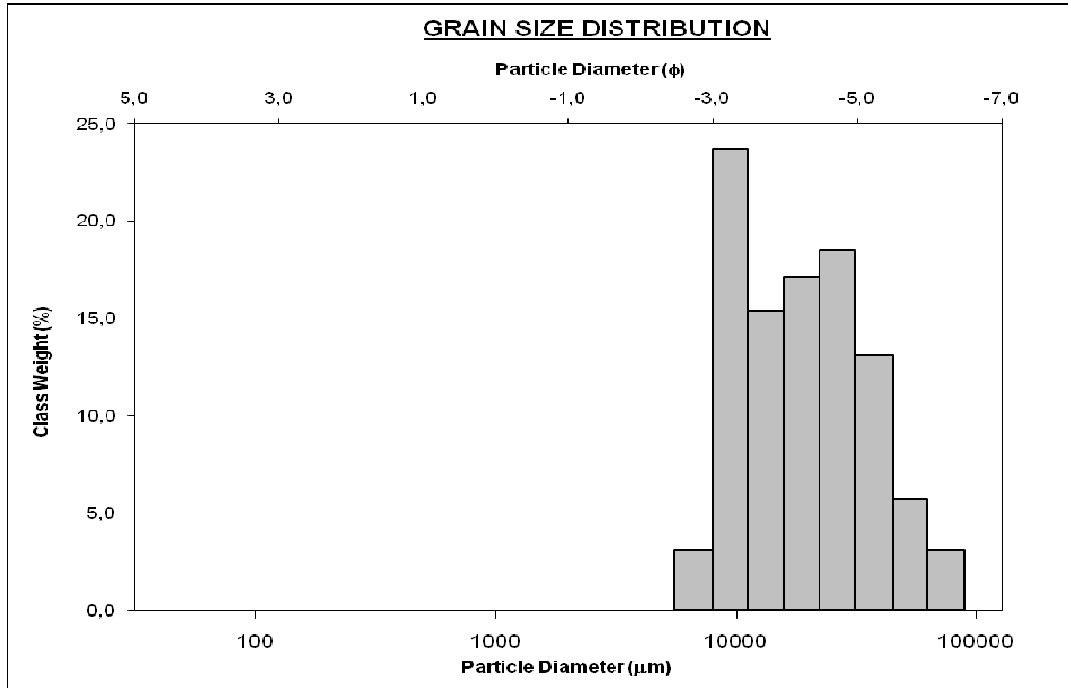


Figura 56. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas elongadas, una caída en aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18).

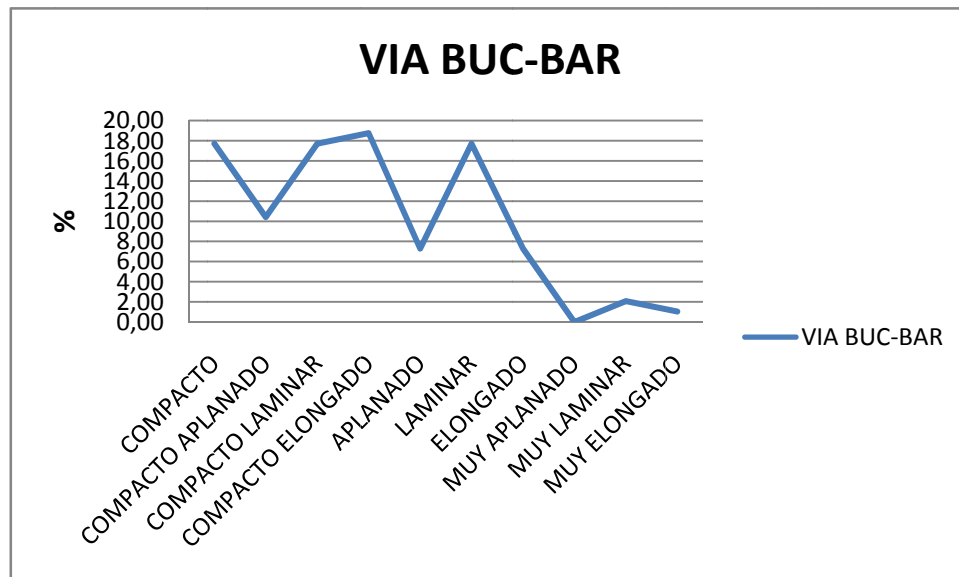


Figura 57. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 19% de formas compactas elongadas y un 18% en compactas laminares, compactas y laminares.

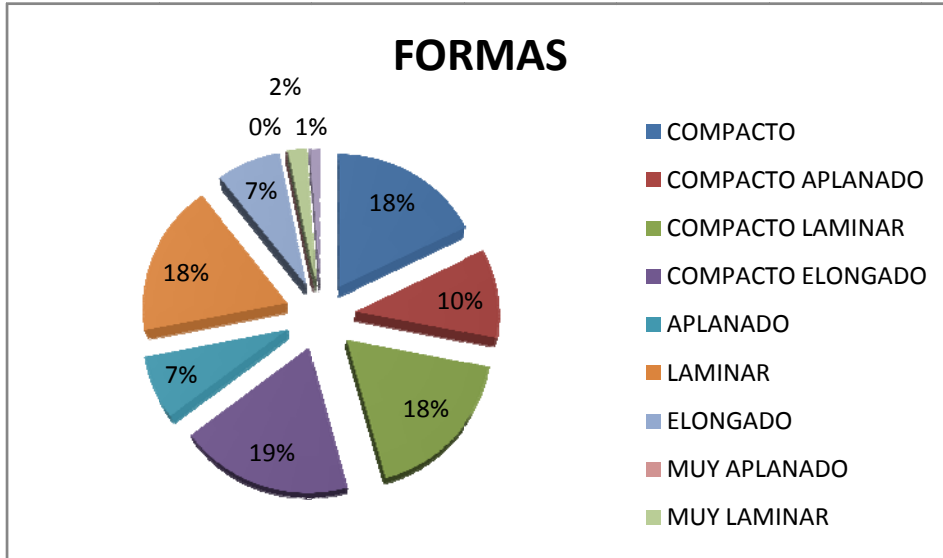


Figura 58. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Vía B/ga-B/bermeja. Se resalta la abundancia de alrededor del 50% de Cuarzo y 10 % de Cuarcita.

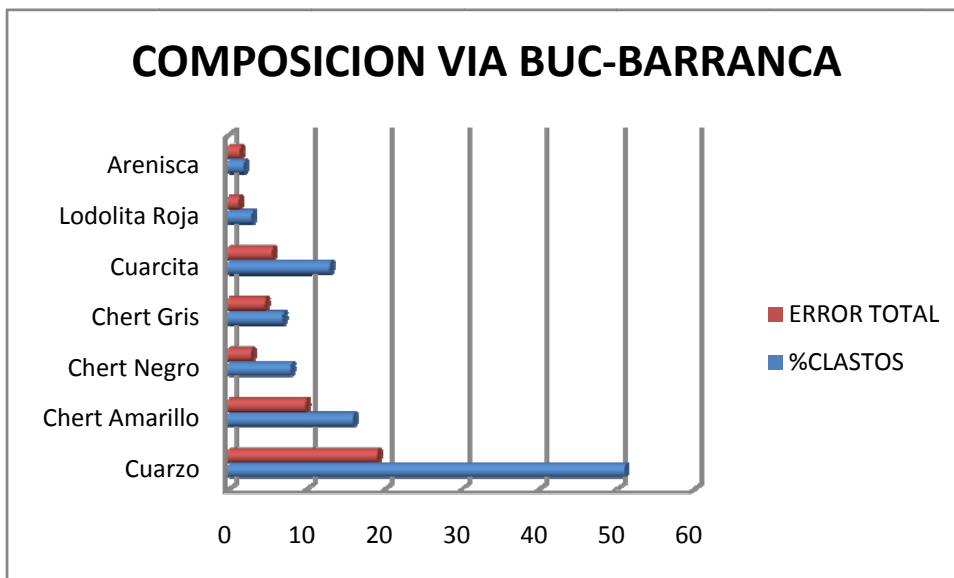


Tabla 7. Composición de clastos del afloramiento Vía B/ga-B/bermeja, donde se realizaron 4 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo.

| COMP. | %CLASTOS | CE | SE | ERROR TOTAL |
|-------------------|----------|------------|------------|-------------|
| Cuarzo | 51 | 0,0989802 | 19,1267448 | 19,12700091 |
| Chert Amarillo | 16 | 0,072588 | 9,96199445 | 9,962258898 |
| Chert Negro | 8 | 0,05371605 | 2,92635723 | 2,926850198 |
| Chert Gris | 7 | 0,05051911 | 4,69139283 | 4,691664827 |
| Cuarcita | 13 | 0,06658808 | 5,62967139 | 5,630065184 |
| Lodolita Roja | 3 | 0,03377627 | 1,30666667 | 1,307103138 |
| Arenisca | 2 | 0,02772 | 1,47 | 1,470261337 |

8.1.3 ESTACIÓN ALTAMIRA

X: 1073777

Y: 1270725

Z: 663 m Error: +/- 6 m

Descripción: El afloramiento asociado a litologías conglomeráticas levantado en Altamira tiene un espesor de 3.50 m (Tabla 6), está conformado por niveles de arenisca sublífticas con laminación horizontal las cuales presentan pulsos guijos de 10, 20 y 30 cm; granodecrecientes, con estratificación horizontal e imbricación de clastos (Figura 59, Anexo 1.3). En general el afloramiento está conformado por conglomerados polimícticos, bien seleccionado predominando guijarros medios de tamaños entre 8 a 16 mm (-3, -4 phi) con una tendencia unimodal, altamente sesgada y curtosis (forma o apuntamiento de las distribuciones) muy leptocúrtica (Figura 60), una alta esfericidad de 0.6 a 0.8, con clastos subangulosos a subredondeados (Figura 19) y sus formas principales son compactas laminares, elongadas y compactas elongadas (Figuras 61 y 62). Su composición principal es

de cuarzo, cuarcita, chert gris y en menor cantidad chert amarillo (6%) (Figura 63, Tabla 9).

En la parte analizada del afloramiento Altamira se encontraron las siguientes facies: Sh y Gh (Anexo 1.3).

Figura 59. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Altamira. Espesor 3.50 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3.

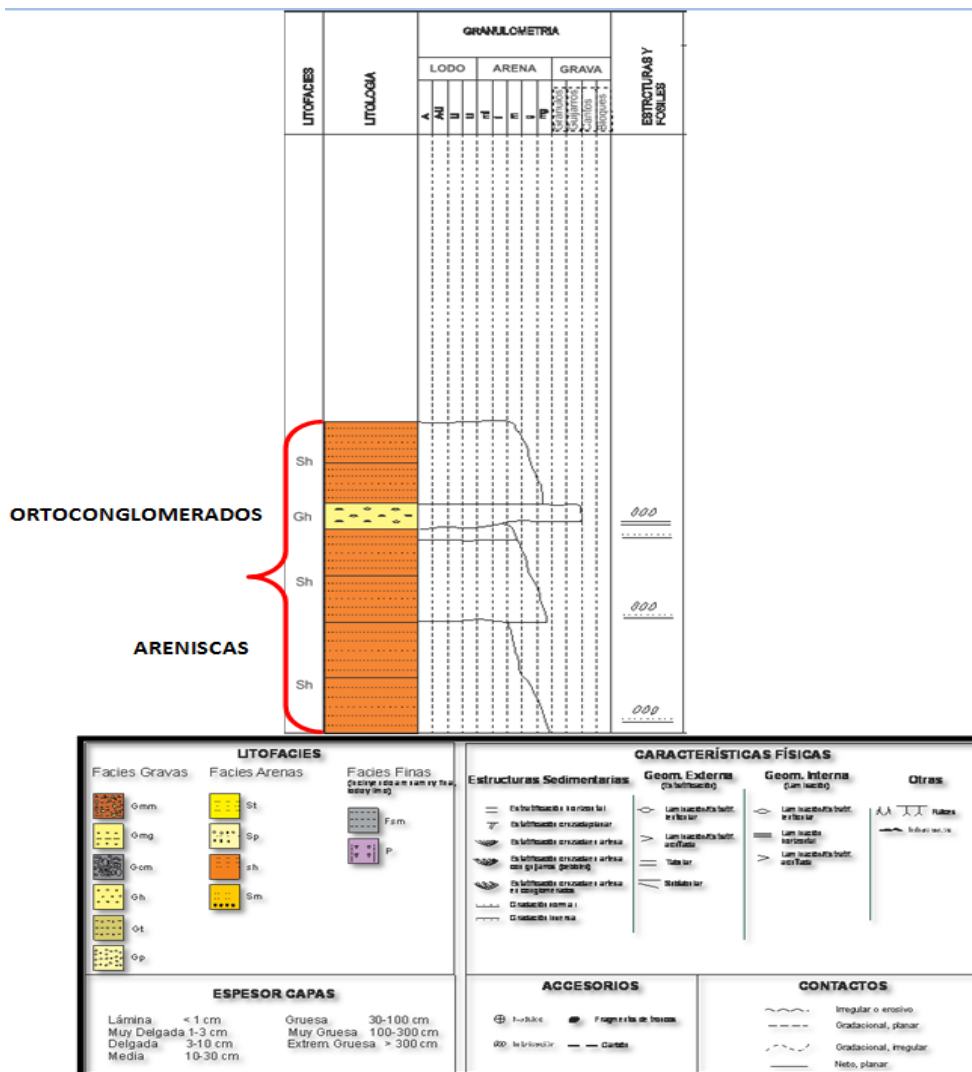


Figura 60. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Altamira.

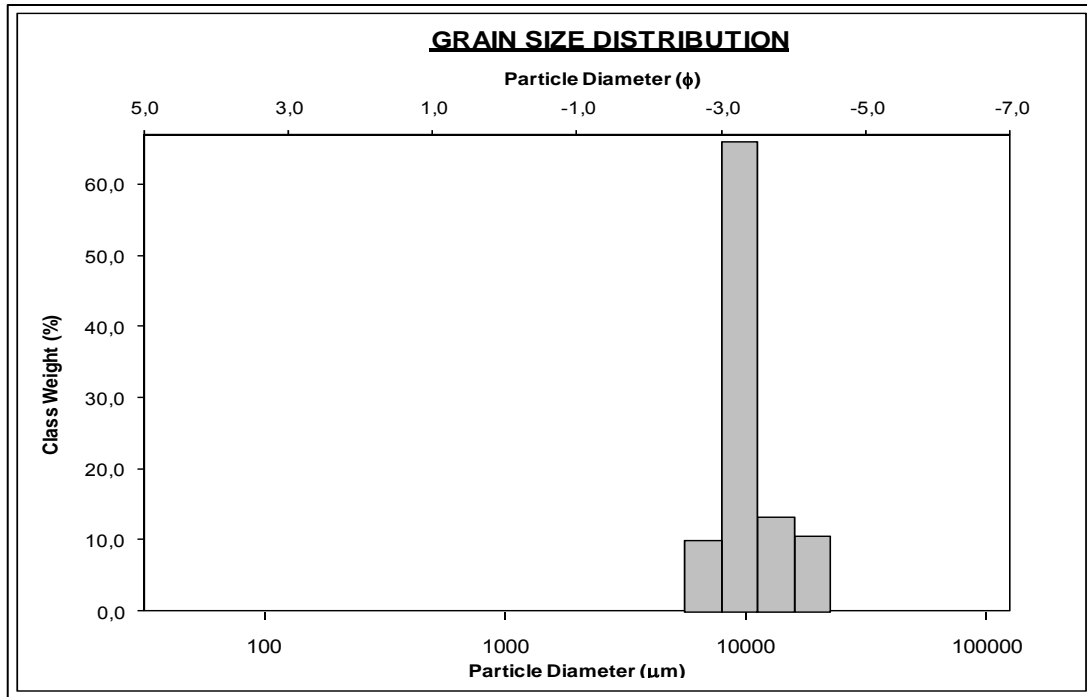


Figura 61. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en aplanadas y otro pico en elongadas. (Ver Figura 18).

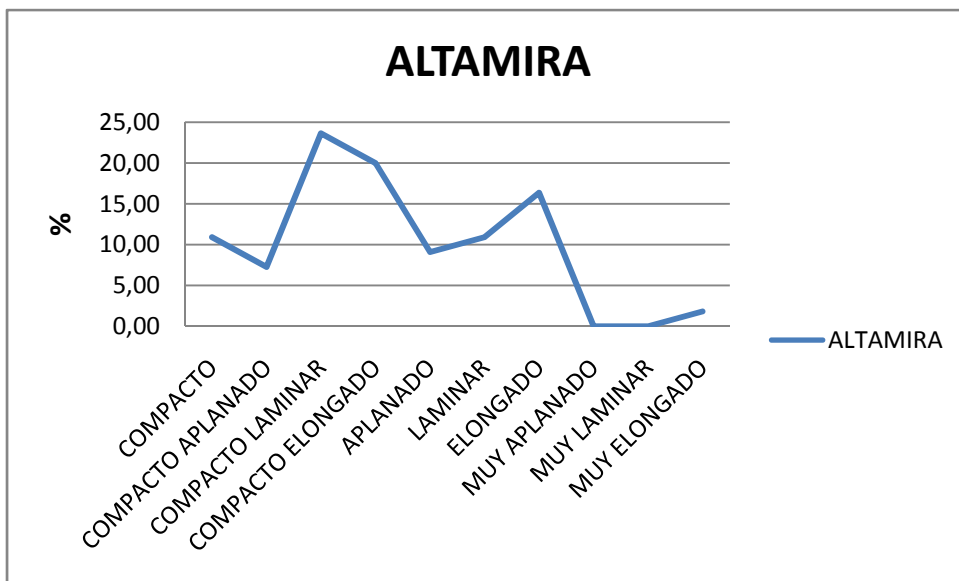


Figura 62. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 24% de formas compactas laminares, y un 20% en compactas elongadas.

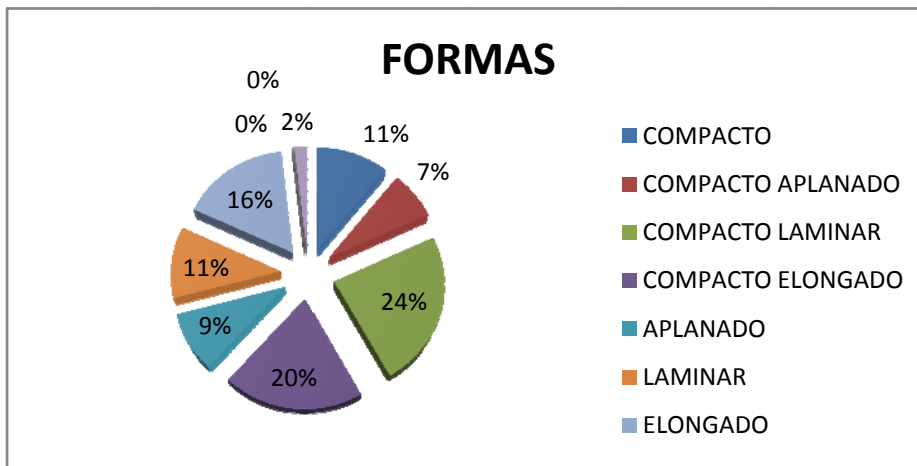


Figura 63. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Altamira. Se resalta la abundancia de alrededor del 60% de Cuarzo y 20% de Cuarcita.

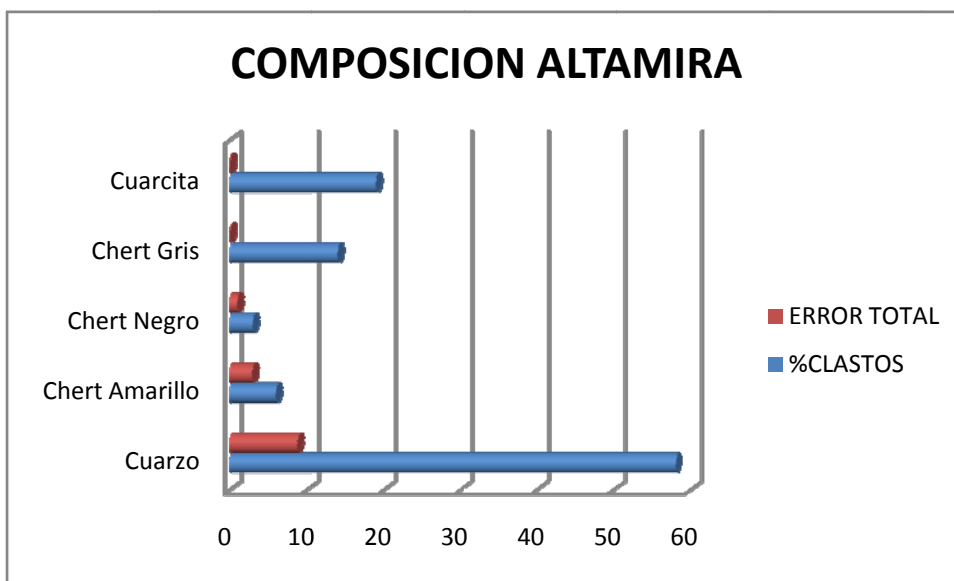


Tabla 8. Composición de clastos del afloramiento Altamira, donde se realizaron 2 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo.

| COMP. | %CLASTOS | CE | SE | ERROR TOTAL |
|-------------------|----------|------------|------|-------------|
| Cuarzo | 58 | 0,09772458 | 8,82 | 8,820541372 |
| Chert Amarillo | 6 | 0,04702239 | 2,94 | 2,940376014 |
| Chert Negro | 3 | 0,03377627 | 0,98 | 0,980581887 |
| Chert Gris | 14 | 0,06870343 | 0 | 0,068703432 |
| Cuarcita | 19 | 0,07767558 | 0 | 0,077675579 |

8.1.4 ESMERALDAS 1

X: 1073384

Y: 1277685

Z: 246 m Error: +/- 6 m

Descripción: El afloramiento de interés asociado a litologías conglomeráticas levantado en Esmeraldas 1 tiene un espesor de 2.50 m (Tabla 6), está compuesto de una secuencia de niveles areniscas sublíticas con estratificación cruzada en artesa en su mayoría intercaladas con pequeños niveles de aproximadamente 20 y 30 cm de areniscas conglomeráticas masivas (Figura 64, Anexo 1.4). El análisis a los clastos encontrados en la arenisca masiva se presentan bien seleccionados predominando guijarros medios de tamaños entre 8 a 16 mm (-3, -4 phi) con una tendencia unimodal, muy altamente sesgados y curtosis (forma o apuntamiento de las distribuciones) leptocúrtica (Figura 65), una moderada a alta esfericidad de 0.6 a 0.9, con clastos muy angulosos a subredondeados (Figura 19) y sus formas principales son laminares, compactas laminares y compactas (Figuras 66 y 67). Su composición principal es de cuarzo y en menor cantidad lodolita gris (6%), lodolita roja (5%) y cuarcita (5%) (Figura 68, Tabla 10).

En la parte analizada del afloramiento Esmeraldas 1 se encontraron las siguientes facies: St y Sm (Anexo 1.4).

Figura 64. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Esmeraldas 1. Espesor 2.50 m, Escala 1:50. Para su ubicación ver Figura 3.

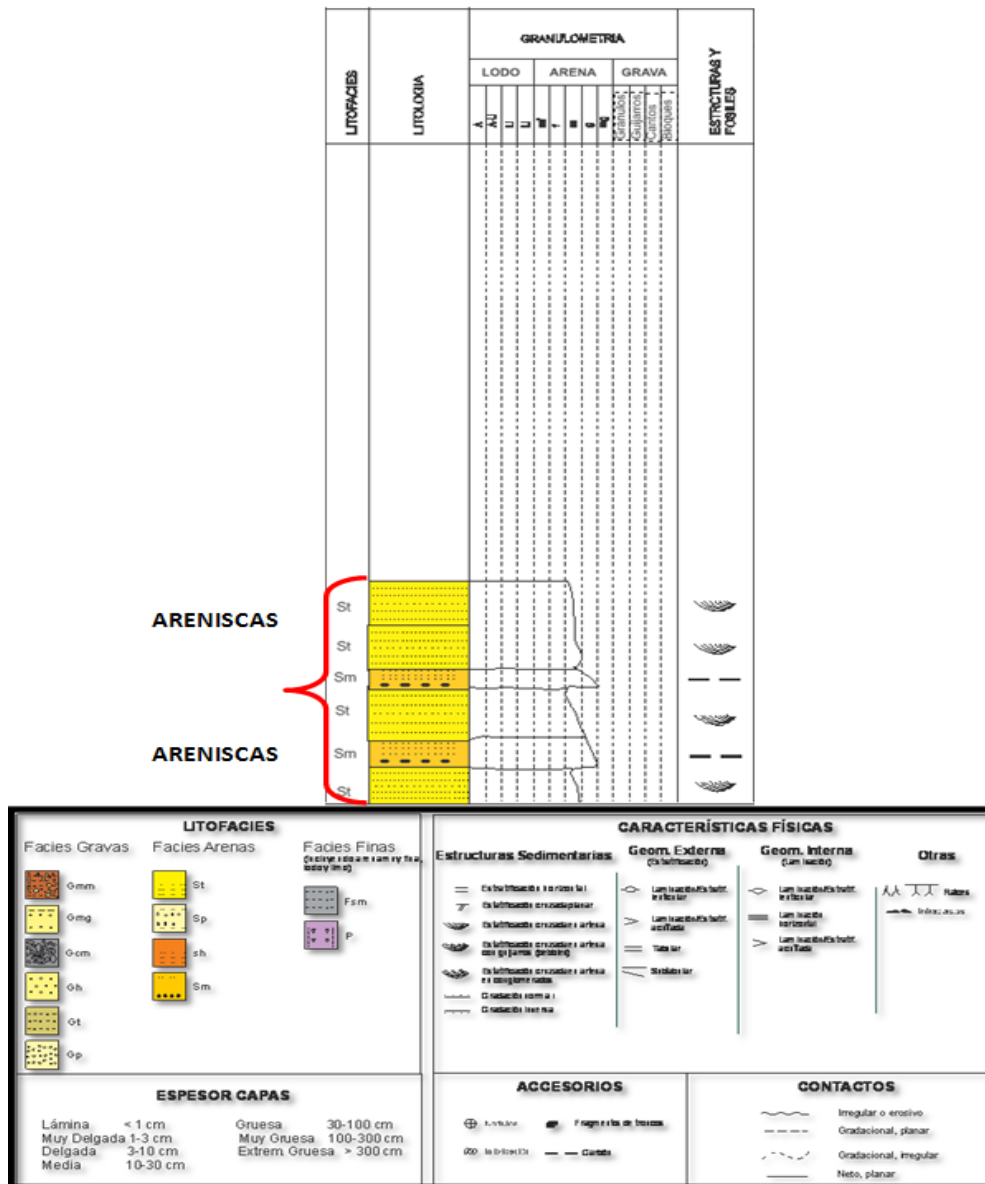


Figura 65. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Esmeraldas 1.

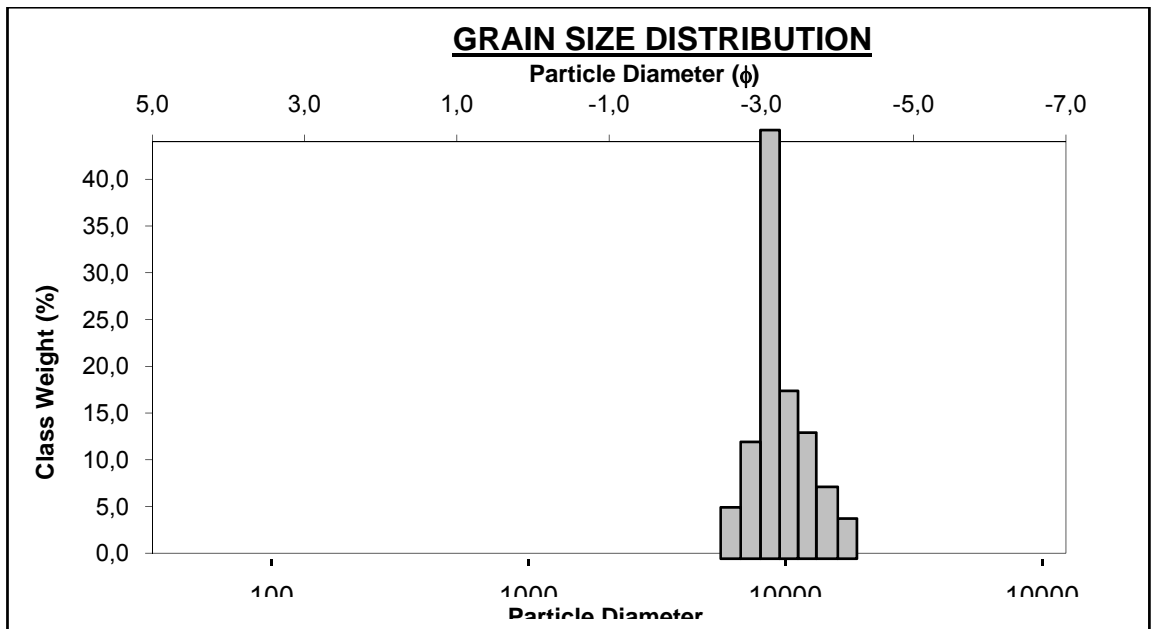


Figura 66. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18).

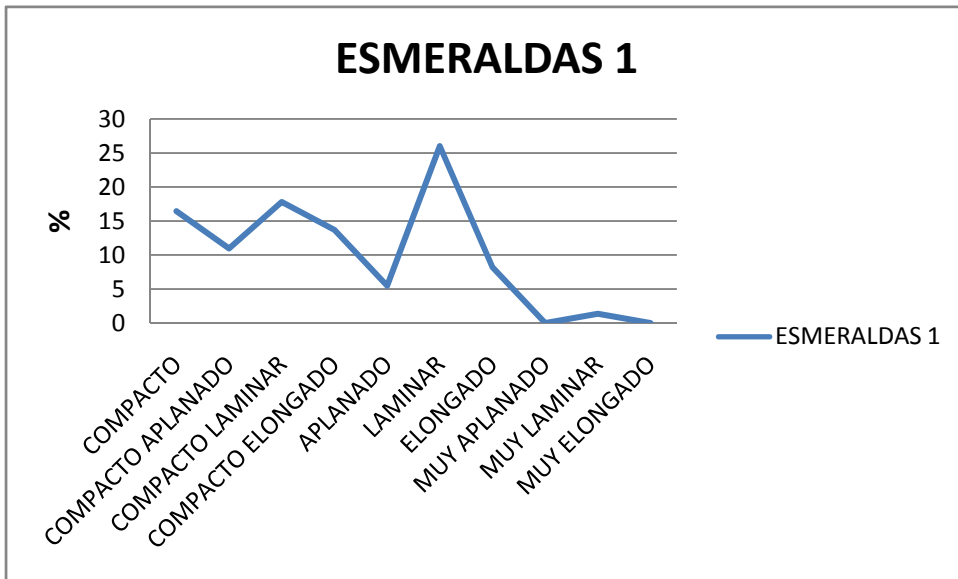


Figura 67. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 26% de formas laminares y un 18% en compactas laminares.

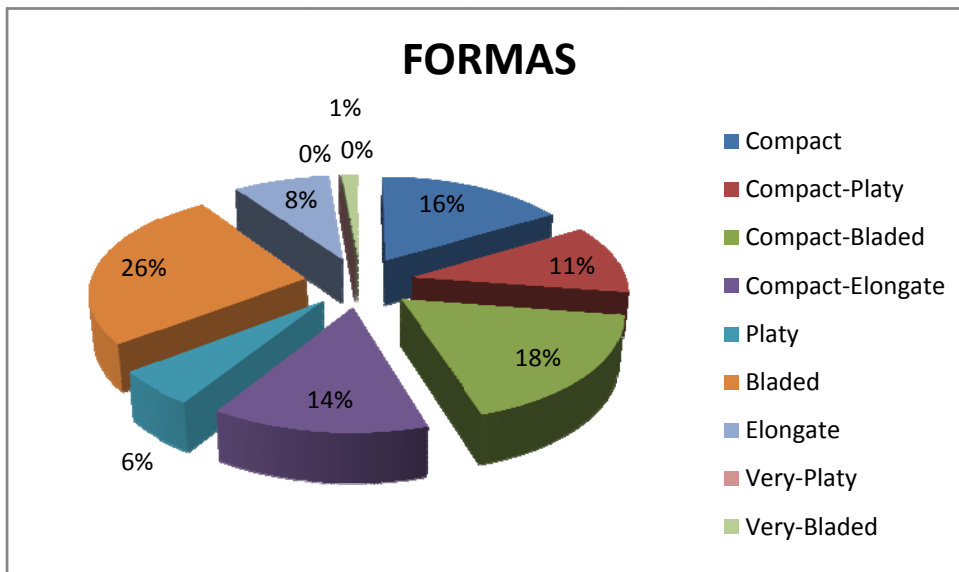


Figura 68. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Esmeraldas 1. Se resalta la abundancia de alrededor del 80% de Cuarzo.

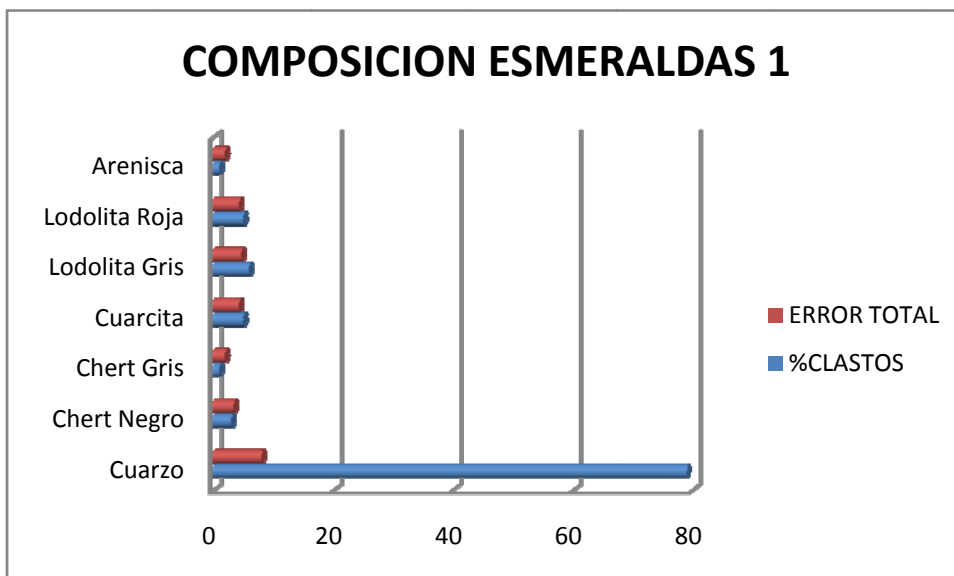


Tabla 9. Composición de clastos del afloramiento Esmeraldas 1, donde se realizó sólo un conteo. CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo.

| COMP. | %CLASTOS | CE | SE | ERROR TOTAL |
|---------------|----------|------------|----|-------------|
| Cuarzo | 79 | 0,08064703 | 0 | 8,064703094 |
| Chert Negro | 3 | 0,03377627 | 0 | 3,377626978 |
| Chert Gris | 1 | 0,01970075 | 0 | 1,970075125 |
| Cuarcita | 5 | 0,0431531 | 0 | 4,315309954 |
| Lodolita Gris | 6 | 0,04702239 | 0 | 4,702239466 |
| Lodolita Roja | 5 | 0,0431531 | 0 | 4,315309954 |
| Arenisca | 1 | 0,01970075 | 0 | 1,970075125 |

8.1.5 ESMERALDAS 2

X: 1073712

Y: 1277700

Z: 281 m Error: +/- 6 m

Descripción: El afloramiento asociado a litologías conglomeráticas levantado en Esmeraldas 2 tiene un espesor de 3.10 m (Tabla 6), compuesto la parte basal por paleosuelos y lodolitas grises seguidos de niveles de ortoconglomerados intercalados con areniscas sublíticas con estratificación cruzada en artesa y más hacia el tope se observan niveles paraconglomeráticos interrelacionados con areniscas sublíticas con estratificación cruzada en artesa (Figura 69, Anexo 1.5). En general el afloramiento está conformado por conglomerados polimícticos, bien seleccionado predominando guijarros medios de tamaños entre 8 a 16 mm (-3, -4 phi) con una tendencia trimodal, simétrica y curtosis (forma o apuntamiento de las distribuciones) platicúrtica (Figura 70), una moderada a alta esfericidad de 0.6 a 0.8, con clastos subangulosos a subredondeados (Figura 19) y sus formas principales son compactas laminares, laminares y compactas (Figuras 71 y 72). Su composición principal es de cuarzo, chert gris y en menor cantidad chert negro (8%) (Figura 73, Tabla 11).

En la parte analizada del afloramiento Esmeraldas 2 se encontraron las siguientes facies: Gmm, Gcm, St, Fsm y P (Anexo 1.5).

Figura 69. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Esmeraldas 2. Espesor 3.10 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3.

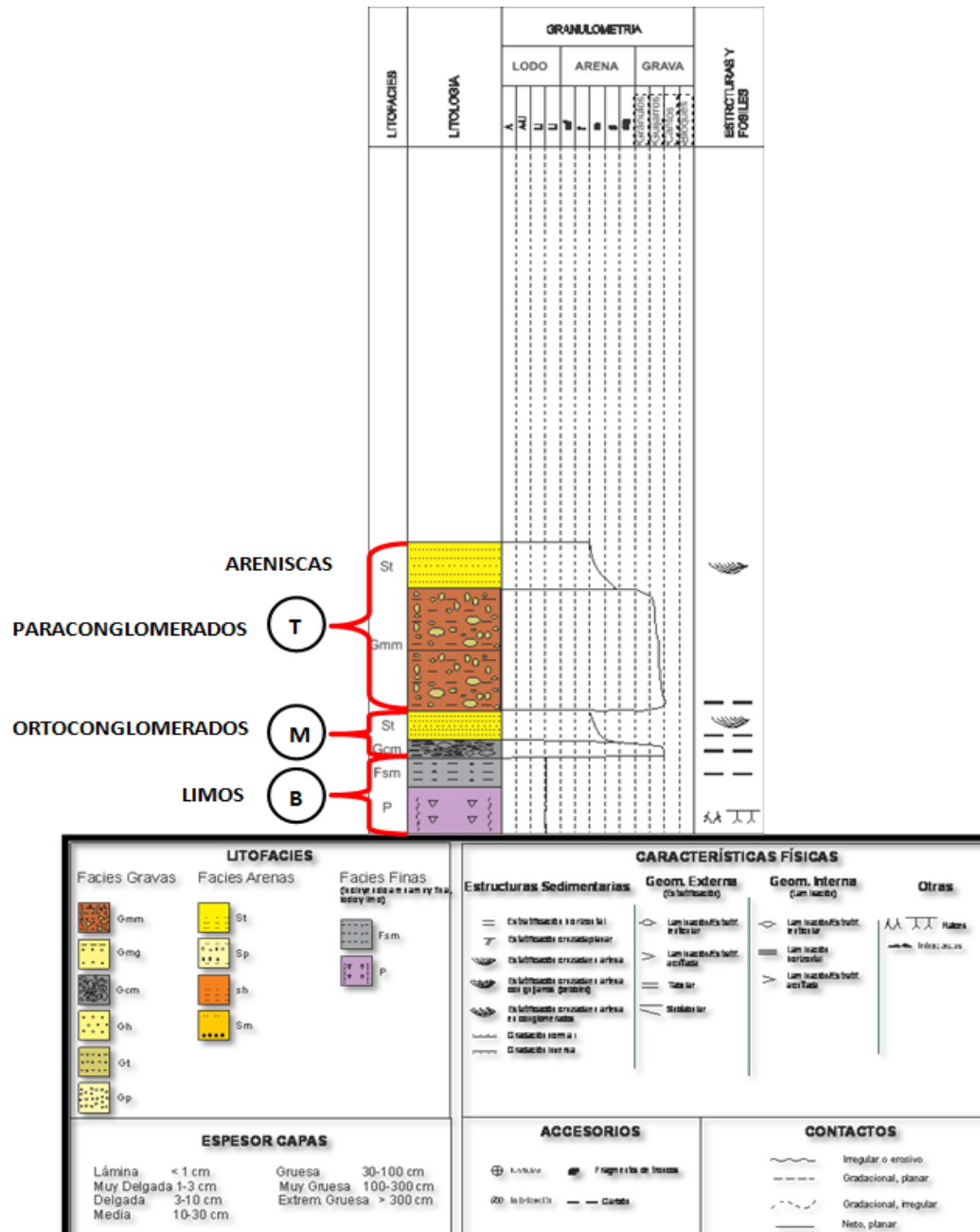


Figura 70. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Esmeraldas 2.

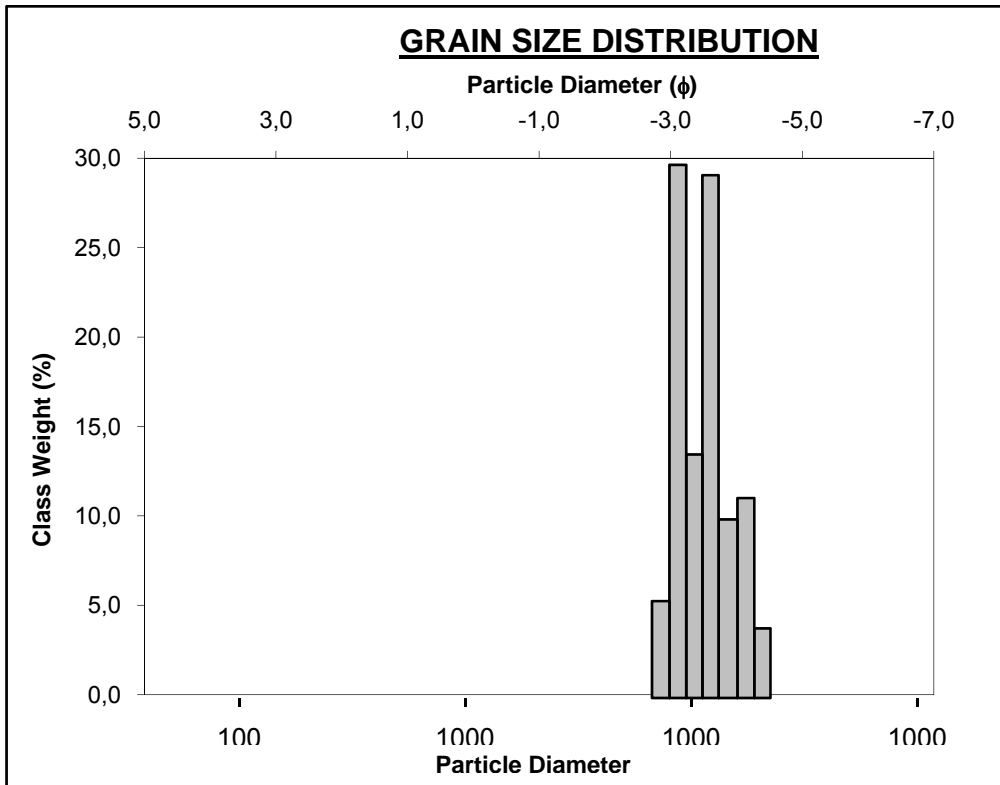


Figura 71. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en compactas elongadas a aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18).

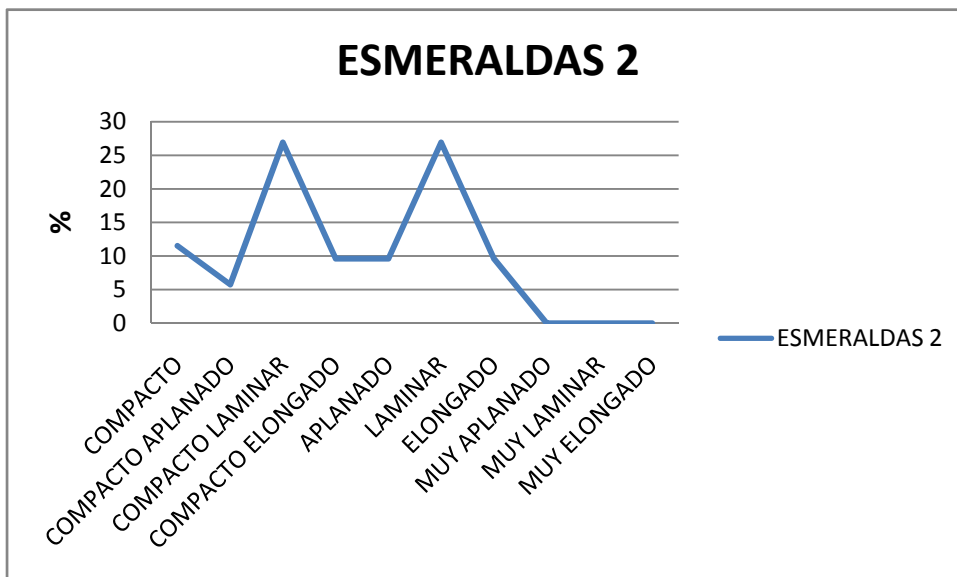


Figura 72. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 27% de formas laminares y compactas laminares.

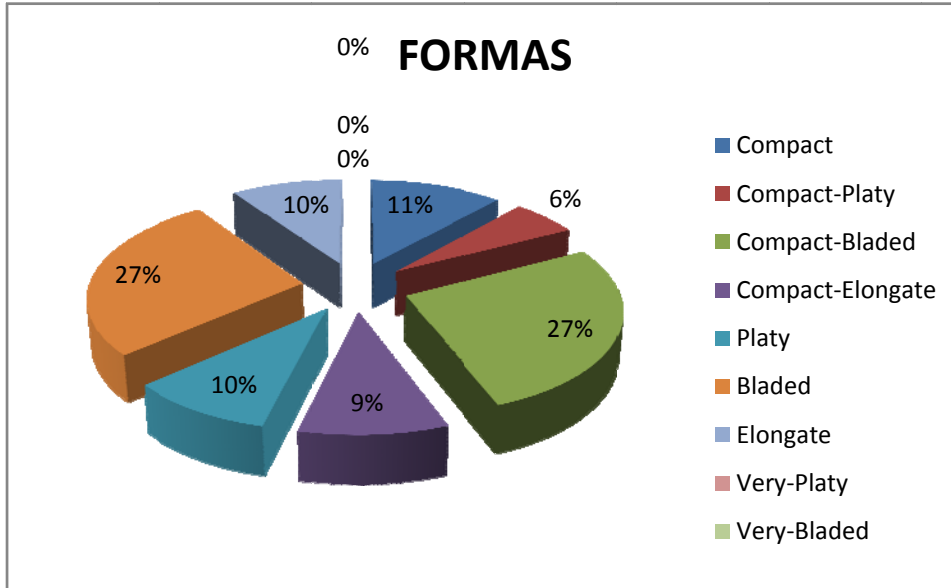


Figura 73. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Esmeraldas 1. Se resalta la abundancia de alrededor del 50% de Cuarzo y 30% de Chert gris.

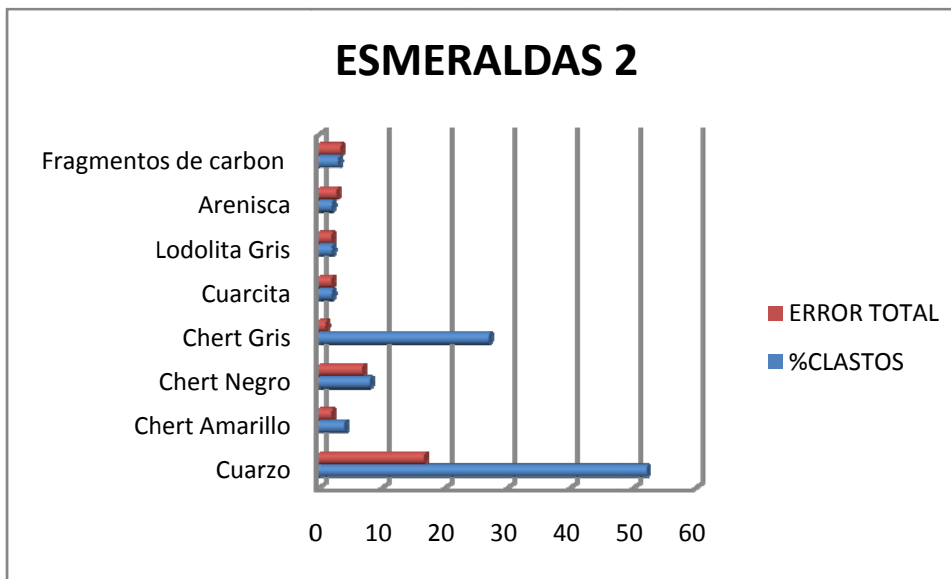


Tabla 10. Composición de clastos del afloramiento Esmeraldas 2, donde se realizaron 2 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo.

| COMP. | %CLASTOS | CE | SE | ERROR TOTAL |
|----------------------|----------|------------|-------|-------------|
| Cuarzo | 52 | 0,09892077 | 16,66 | 16,66029367 |
| Chert Amarillo | 4 | 0,03879992 | 1,96 | 1,960384002 |
| Chert Negro | 8 | 0,05371605 | 6,86 | 6,860210304 |
| Chert Gris | 27 | 0,08790397 | 0,98 | 0,983934504 |
| Cuarcita | 2 | 0,02772 | 1,96 | 1,96019601 |
| Lodolita Gris | 2 | 0,02772 | 1,96 | 1,96019601 |
| Arenisca | 2 | 0,02772 | 0 | 2,772 |
| Fragmentos de carbón | 3 | 0,03377627 | 0 | 3,377626978 |

8.2 DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS DEL GRUPO CHORRO EN EL FLANCO W DEL SINCLINAL DE NUEVO MUNDO

8.2.1 ESTACIÓN EXTREMO SUR

X: 1064045

Y: 1260371

Z: 703 m Error: +/- 7 m

Descripción: El afloramiento asociado a litologías conglomeráticas levantado en Extremo Sur tiene un espesor de 7.71 m (Tabla 6), está conformado en parte basal por niveles de arenisca sublíticas con estratificación cruzada planar intercaladas con niveles ortoconglomeráticos y un nivel paraconglomerático con estratificación cruzada planar, hacia el tope presenta una secuencia de niveles de arenisca sublíticas con estratificación cruzada planar intercaladas con niveles paraconglomeráticos (Figura 74, Anexo 1.6). En general el afloramiento está conformado por conglomerados polimícticos, moderadamente seleccionado predominando guijarros muy gruesos de tamaños entre 32 a 64 mm (-5, -6 phi) con una tendencia bimodal, simétrica y curtosis (forma o apuntamiento de las

distribuciones) platicúrtica (Figura 75), una alta esfericidad de 0.6 a 0.9, con clastos muy angulosos a subredondeados (Figura 19) y sus formas principales son compactas laminares, compactas elongados y compactas (Figuras 76 y 77). Su composición principal es de cuarzo, chert gris, cuarcita y en menor cantidad chert amarillo (9%) (Figura 78, Tabla 12).

En la parte analizada del afloramiento Extremo Sur se encontraron las siguientes facies: Gmm, Gh, Gp y Sp (Anexo 1.6).

Figura 74. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Extremo Sur. Espesor 7.71 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3.

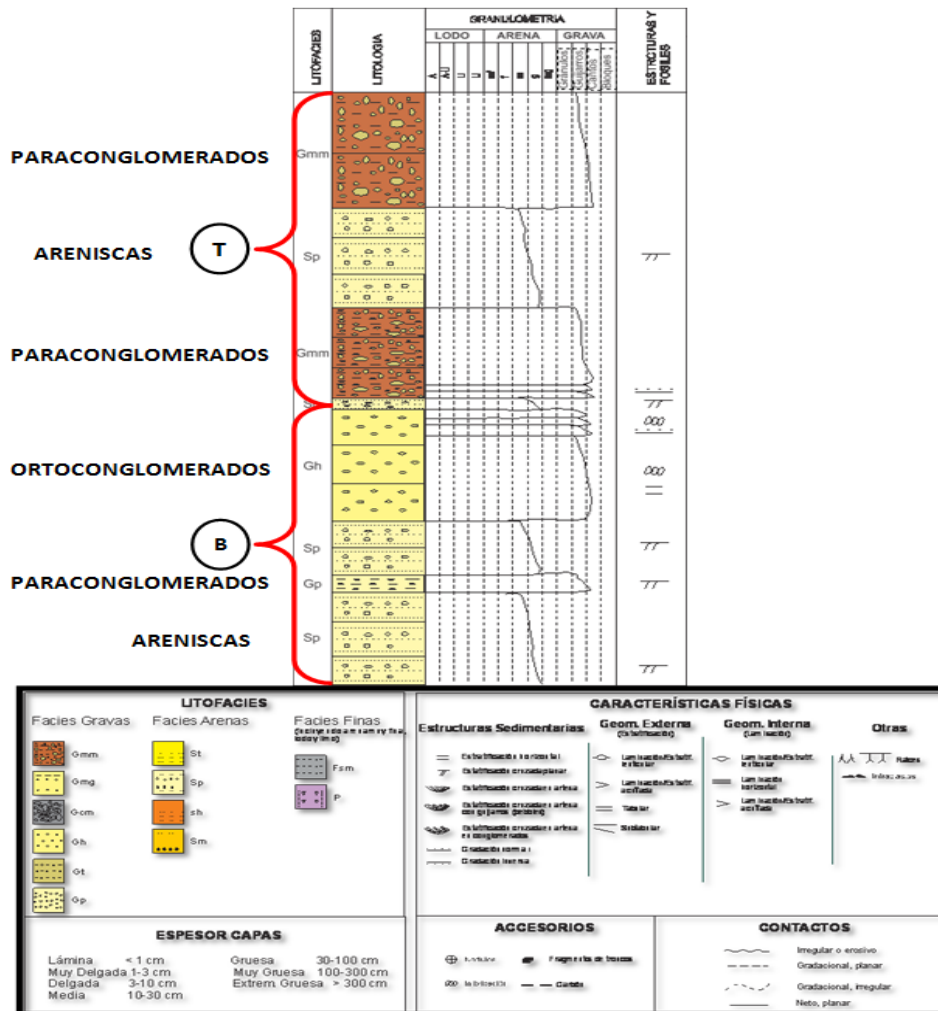


Figura 75. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Extremo Sur.

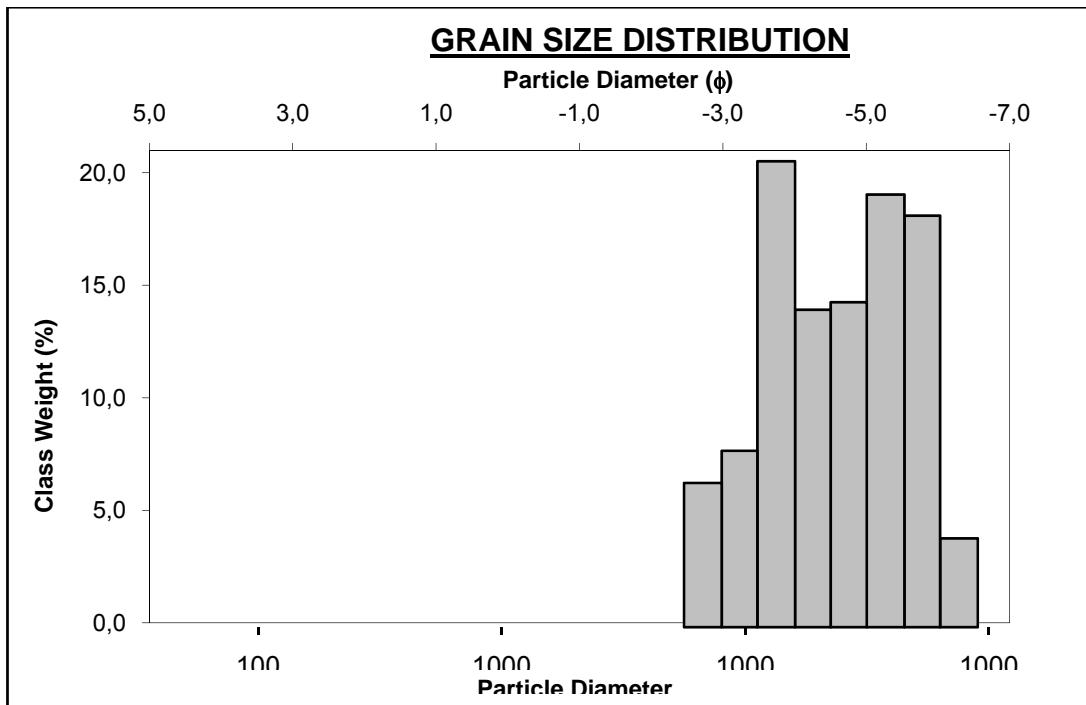


Figura 76. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en compactas elongadas a aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18).

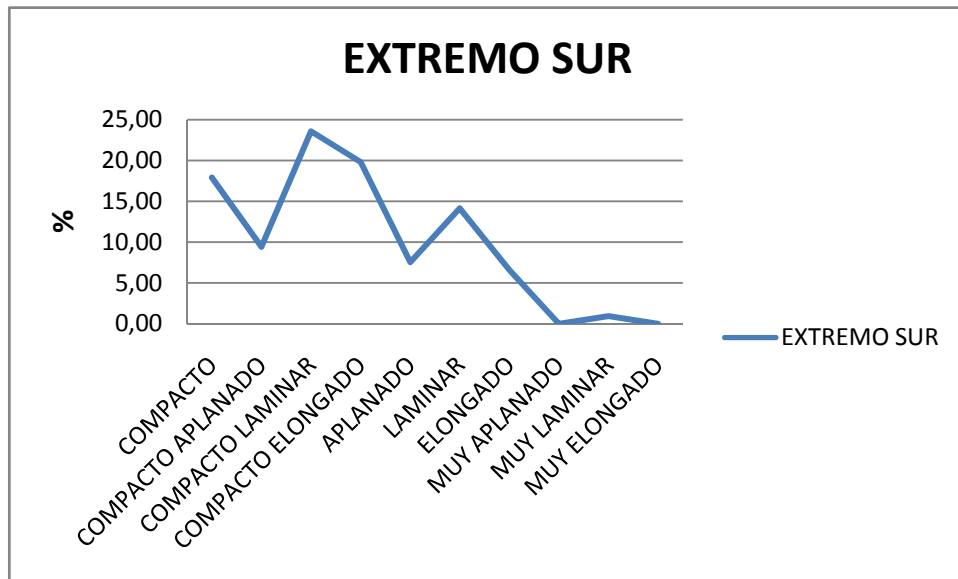


Figura 77. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 24% de formas compactas laminares y un 20% de compactas elongadas.

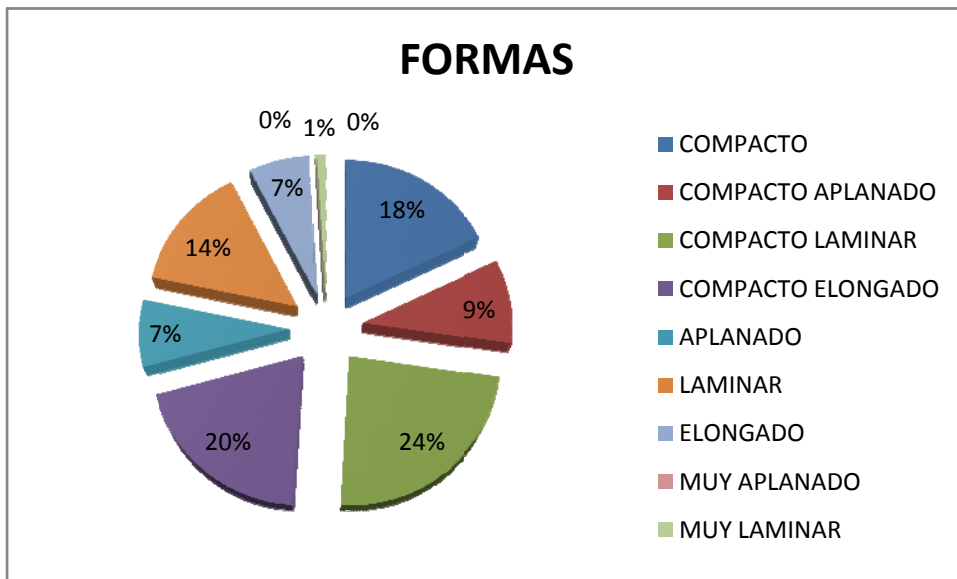


Figura 78. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Extremo Sur. Se resalta la abundancia de alrededor del 40% de Cuarzo y 20% de Chert gris y Cuarcita.

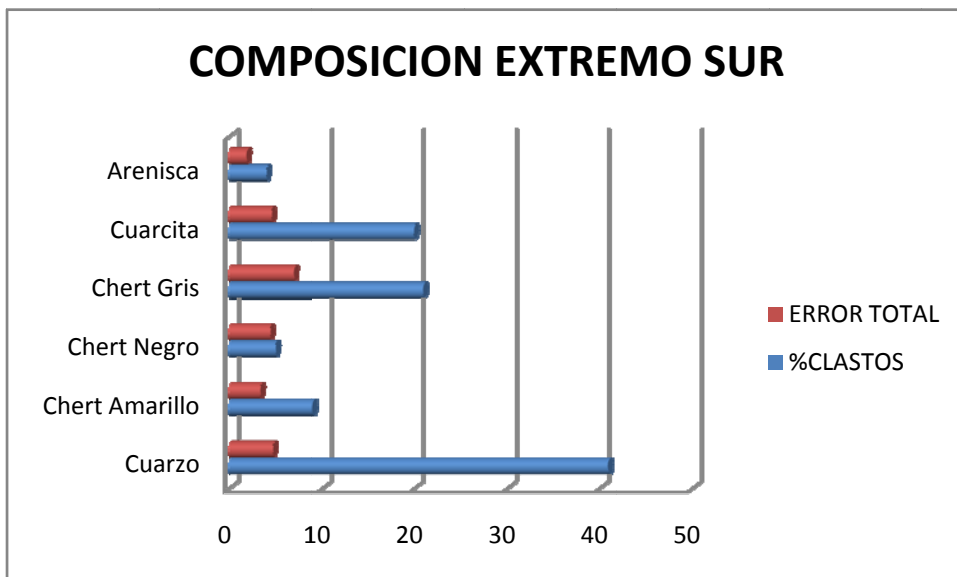


Tabla 11. Composición de clastos del afloramiento Extremo Sur, donde se realizaron 4 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo.

| COMP. | %CLASTOS | CE | SE | ERROR TOTAL |
|-------------------|----------|------------|------------|-------------|
| Cuarzo | 41 | 0,09738299 | 4,69991489 | 4,70092368 |
| Chert Amarillo | 9 | 0,05666399 | 3,34733725 | 3,347816822 |
| Chert Negro | 5 | 0,0431531 | 4,41906476 | 4,419275452 |
| Chert Gris | 21 | 0,08064703 | 6,99859986 | 6,999064505 |
| Cuarcita | 20 | 0,0792 | 4,56165175 | 4,562339236 |
| Arenisca | 4 | 0,03879992 | 1,87655713 | 1,876958204 |

8.2.2 ESTACIÓN TIENDA LA AURORA

X: 1060913

Y: 1265113

Z: 778 m Error: +/- 7 m

Descripción: El afloramiento asociado a litologías conglomeráticas levantado en Tienda La Aurora tiene un espesor de 13.75 m (Tabla 6), está conformado hacia la parte basal por niveles ortoconglomeráticos intercalados con areniscas sublíticas con estratificación cruzada planar forman una tendencia granodecreciente. Hacia el tope repite la secuencia de niveles ortoconglomeráticos intercalados con areniscas sublíticas con estratificación cruzada planar (Figura 79, Anexo 1.7). En general el afloramiento está conformado por conglomerados polimicticos, moderadamente seleccionado predominando guijarros gruesos de tamaños entre 16 a 32 mm (-4, -5 phi) con una tendencia unimodal, simétrica y curtosis (forma o apuntamiento de las distribuciones) mesocúrtica (Figura 80), una alta esfericidad de 0.6 a 0.8, con clastos subangulosos a subredondeados (Figura 19) y sus formas principales son compactas laminares, compactas elongadas y compactas (Figuras 81 y 82). Su composición principal es de cuarzo, chert gris y en menor cantidad cuarcita (7%) (Figura 83, Tabla 13). En la parte analizada del

afloramiento Tienda La Aurora se encontraron las siguientes facies: Gcm, Gp y Sp (Anexo 1.7).

Figura 79. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Tienda La Aurora. Espesor 13.75 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3.

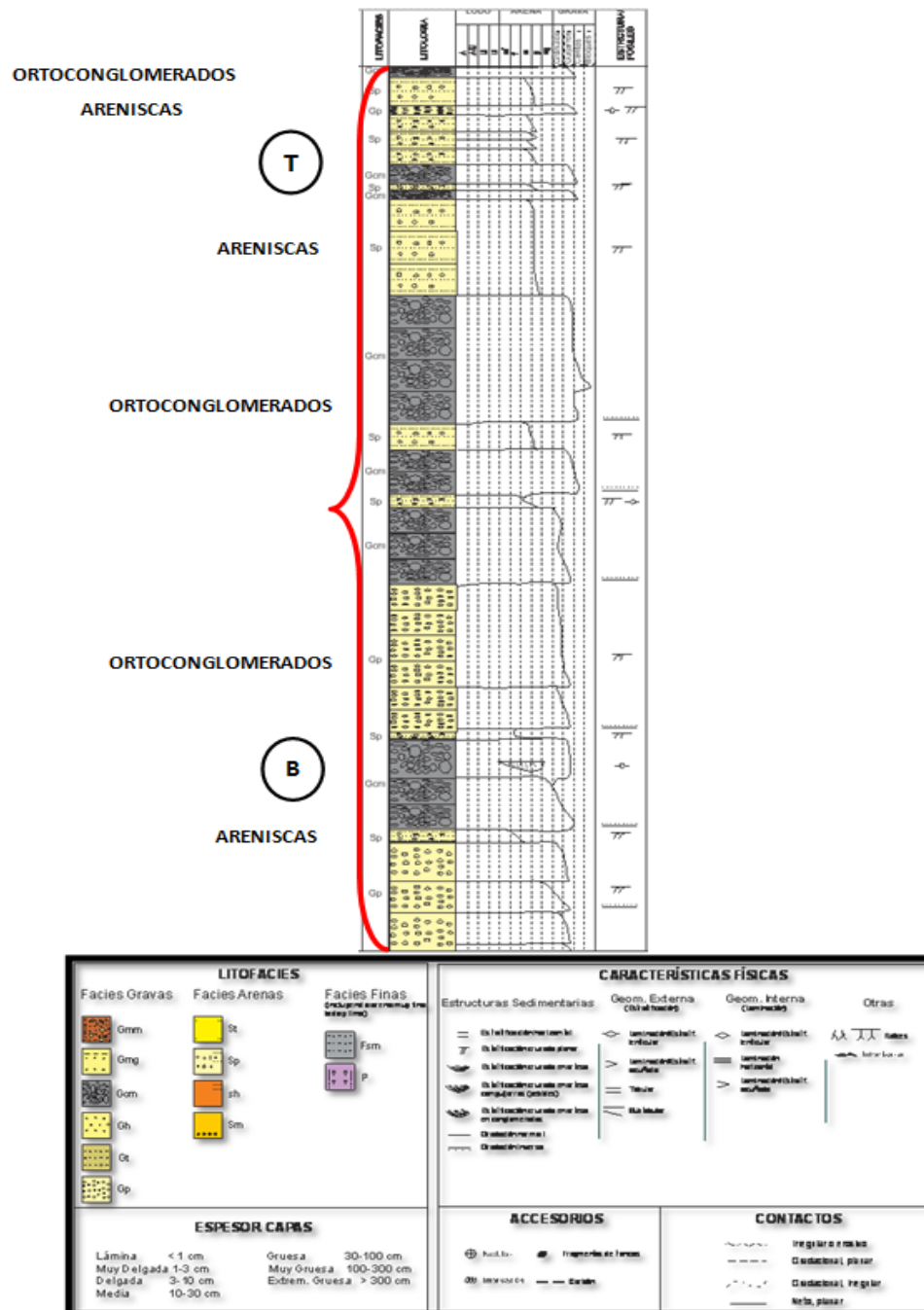


Figura 80. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Tienda La Aurora.

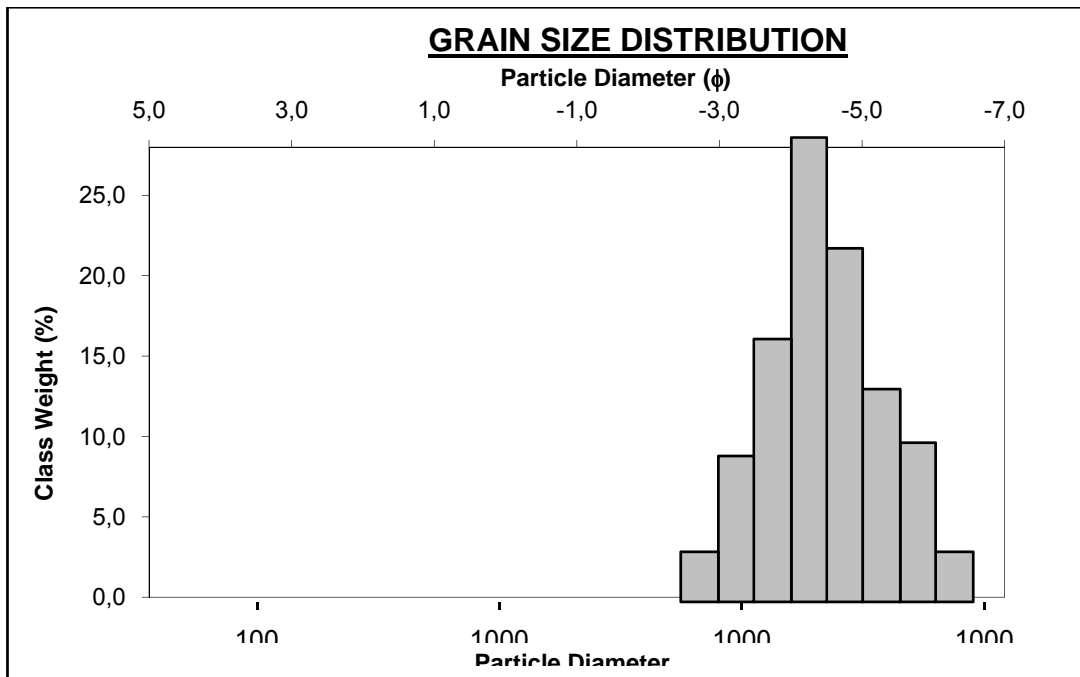


Figura 81. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas elongadas, una caída en aplanadas y otro pequeño pico en laminares a elongadas. (Ver Figura 18).

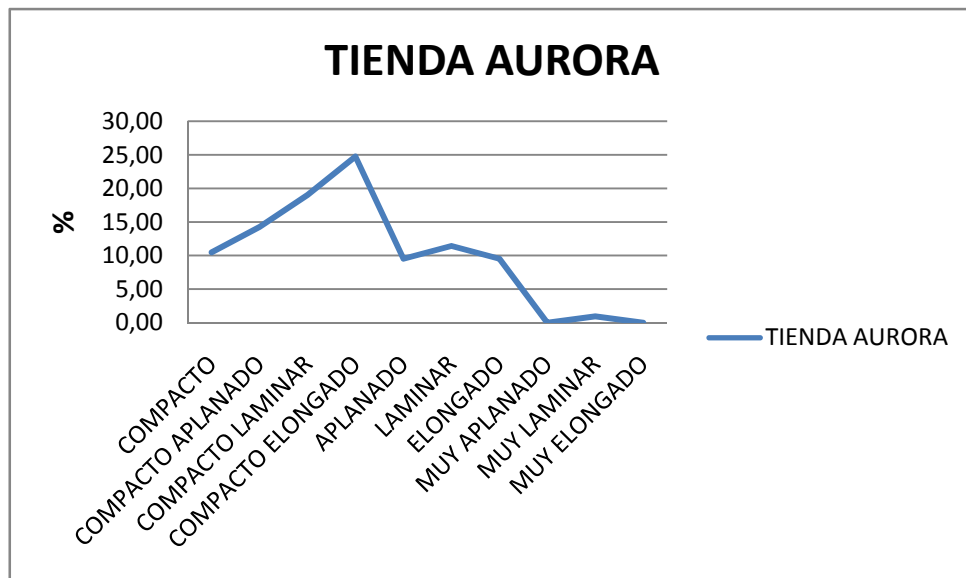


Figura 82. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 25% de formas compactas elongadas y un 19% de compactas laminares.

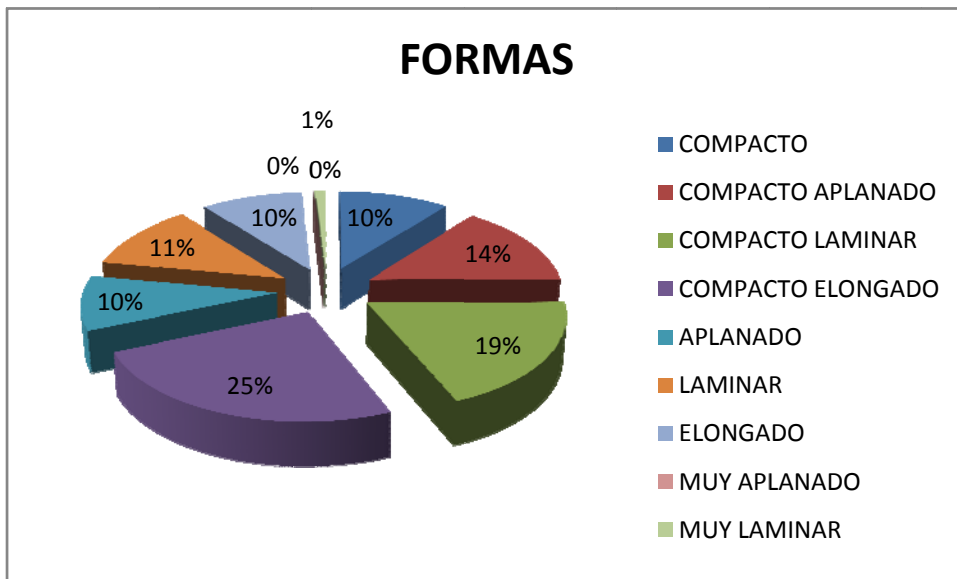


Figura 83. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Tienda La Aurora. Se resalta la abundancia de alrededor del 50% de Cuarzo y 30% de Chert gris.

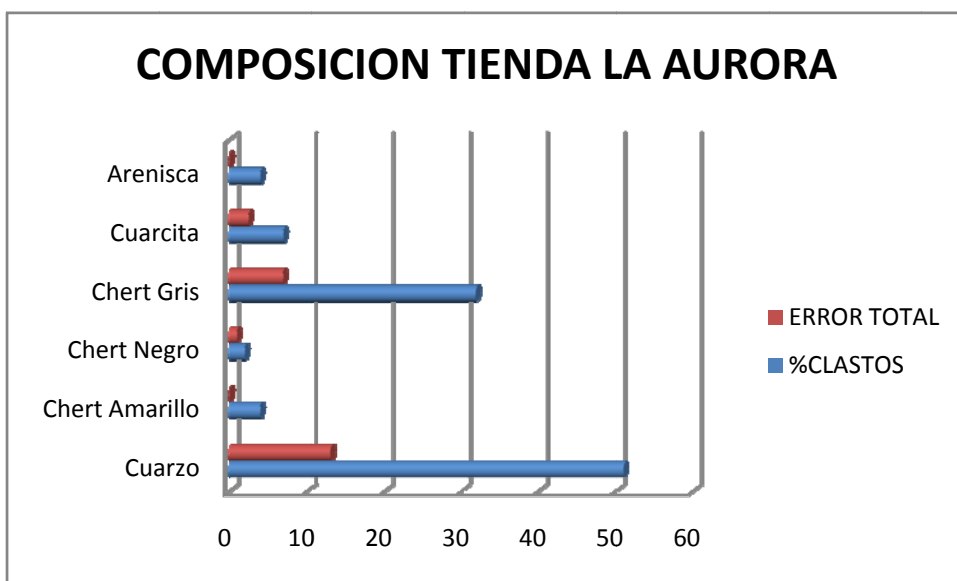


Tabla 12. Composición de clastos del afloramiento Tienda La Aurora, donde se realizaron 4 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo.

| COMP. | %CLASTOS | CE | SE | ERROR TOTAL |
|----------------|----------|------------|------------|-------------|
| Cuarzo | 51 | 0,0989802 | 13,1115064 | 13,11188 |
| Chert Amarillo | 4 | 0,03879992 | 0 | 0,038799918 |
| Chert Negro | 2 | 0,02772 | 0,98 | 0,980391962 |
| Chert Gris | 32 | 0,09236228 | 6,94694897 | 6,947562939 |
| Cuarcita | 7 | 0,05051911 | 2,46627925 | 2,46679661 |
| Arenisca | 4 | 0,03879992 | 0 | 0,038799918 |

8.2.3 ESTACIÓN CERRO LA AURORA (CASCADA)

X: 1060867

Y: 1266223

Z: 700 m Error: +/- 6 m

Descripción: El afloramiento asociado a litologías conglomeráticas levantado en el Cerro La Aurora - Cascada tiene un espesor de 1.83 m (Tabla 6), comprende una secuencia de lodolitas grises intercaladas con ortoconglomerados con estratificación horizontal y areniscas sublíticas con laminación horizontal (Figura 84, Anexo 1.8). En general el afloramiento está conformado por conglomerados polimícticos, moderadamente seleccionado predominando guijarros gruesos de tamaños entre 16 a 32 mm (-4, -5 phi) con una tendencia bimodal, simétrica y curtosis (forma o apuntamiento de las distribuciones) platicúrtica (Figura 85), una moderada a baja esfericidad de 0.5 a 0.8, con clastos subangulosos a redondeados (Figura 19) y sus formas principales son laminares, compactas laminares, muy aplanadas y elongadas (Figuras 86 y 87). Su composición principal es de cuarzo, cuarcita, chert gris, chert amarillo y en menor cantidad chert negro (9%) (Figura 88, Tabla 14).

En la parte analizada del afloramiento Cerro La Aurora - Cascada se encontraron las siguientes facies: Gh, Sh y Fsm (Anexo 1.8).

Figura 84. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área de la Cascada. Espesor 1.83 m, Escala 1:50. Para su ubicación ver Figura 3.

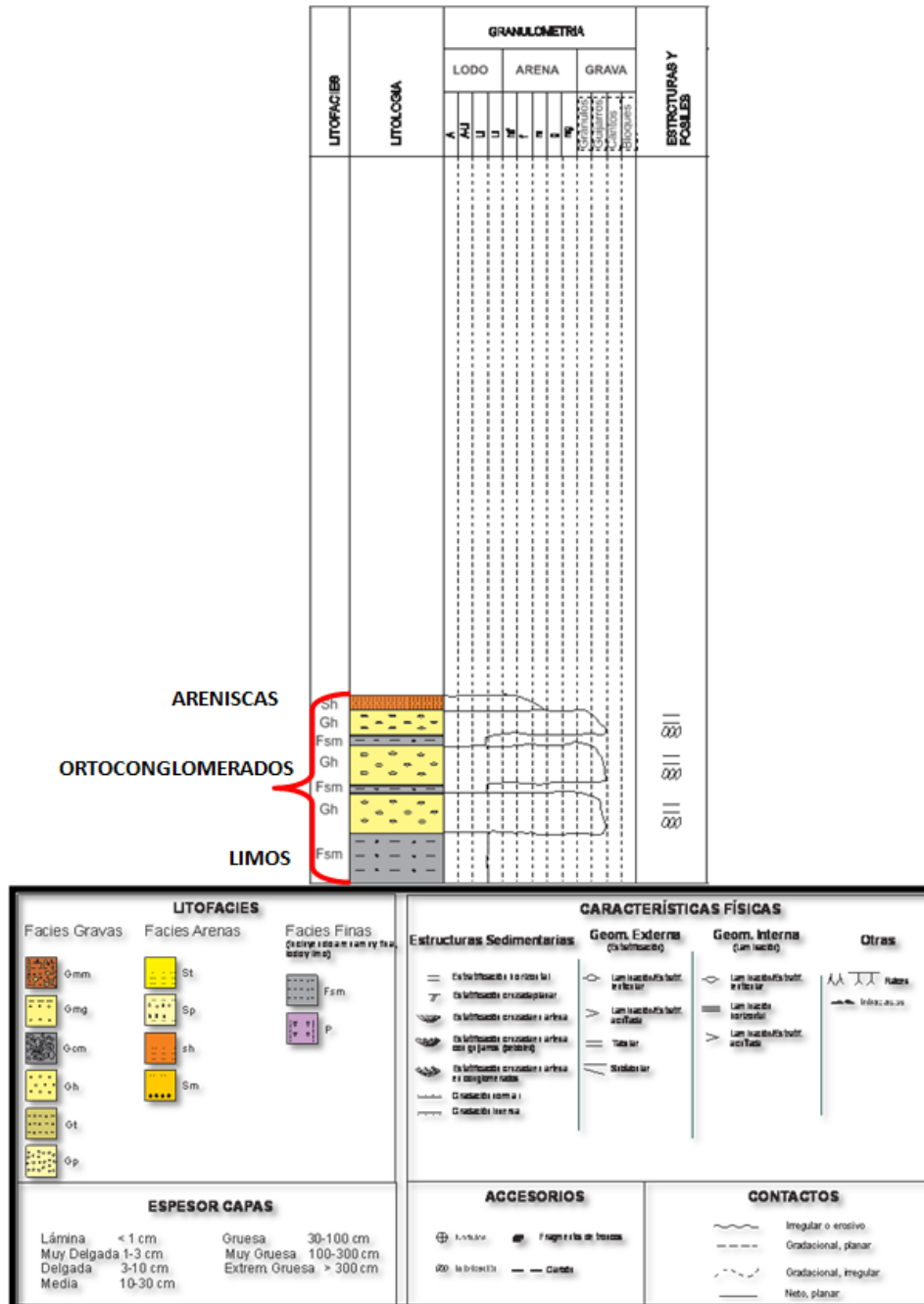


Figura 85. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento La Cascada.

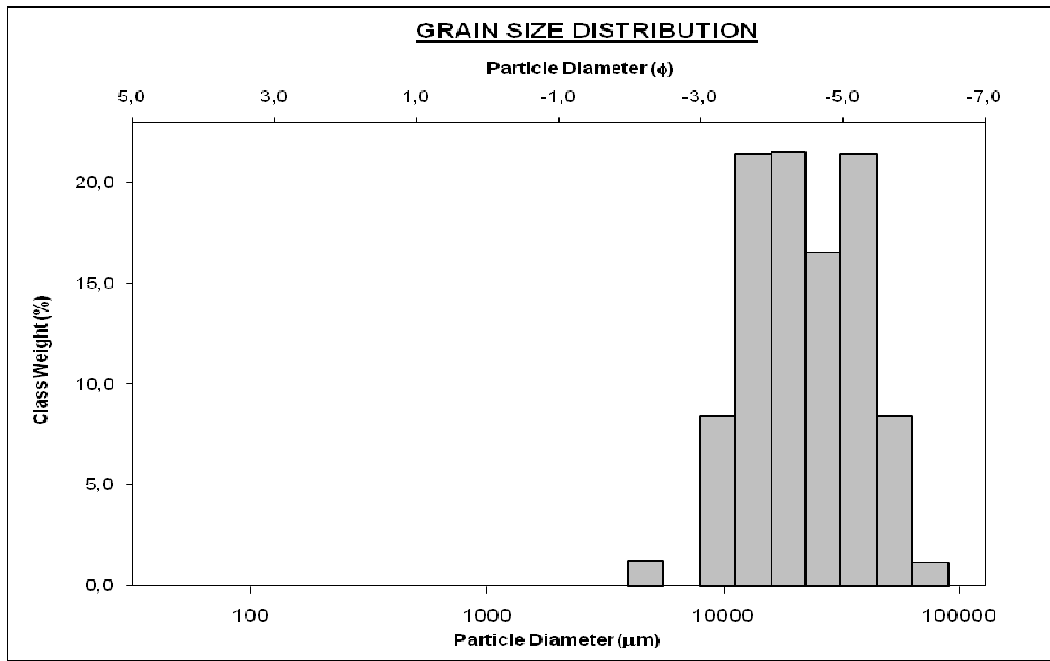


Figura 86. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en aplanadas y otro pico en laminares a muy aplanadas (ver Figura 18).

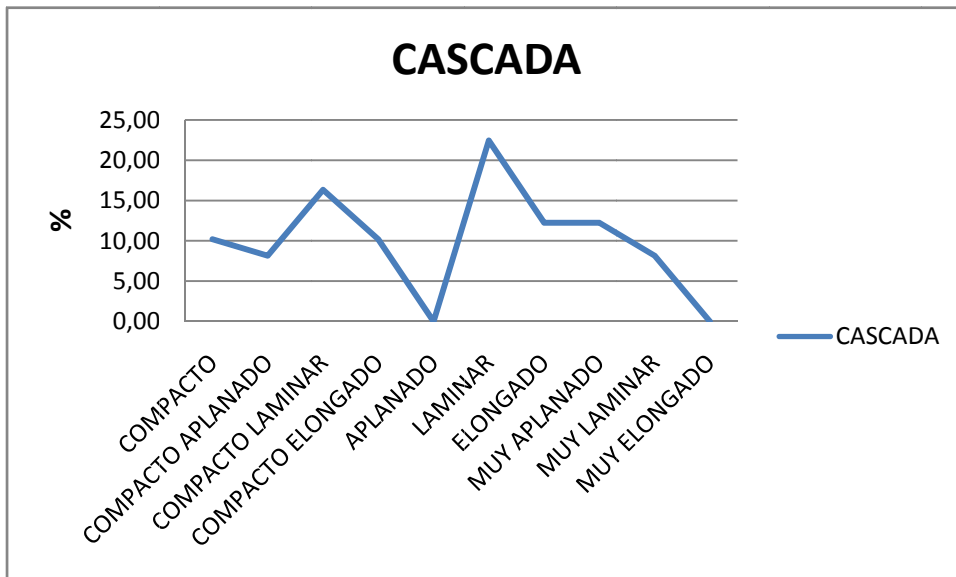


Figura 87. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 23% de formas laminares y un 17% de compactas laminares.

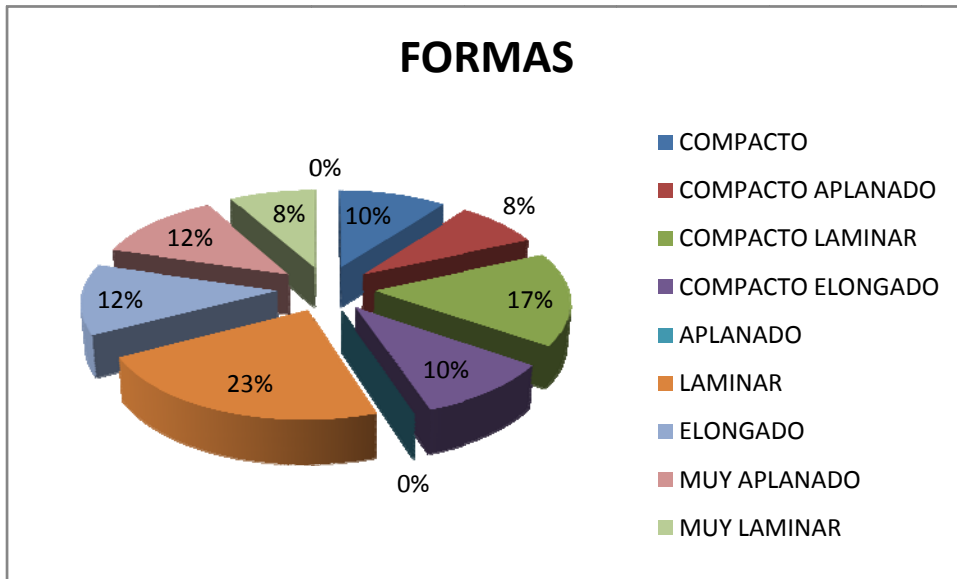


Figura 88. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento La Cascada. Se resalta la abundancia de alrededor del 30% de Cuarzo y 20% de Chert gris, Chert amarillo y Cuarcita.

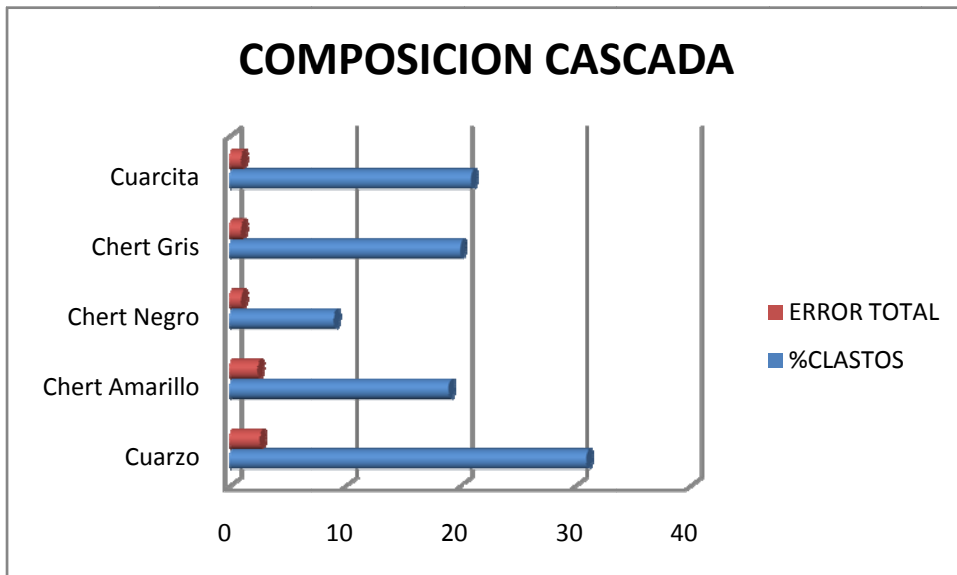


Tabla 13. Composición de clastos del afloramiento La Cascada, donde se realizaron 2 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo

| COMP. | %CLASTOS | CE | SE | ERROR TOTAL |
|----------------|----------|------------|------|-------------|
| Cuarzo | 31 | 0,09157366 | 6,86 | 2,619160171 |
| Chert Amarillo | 19 | 0,07767558 | 5,88 | 2,424871131 |
| Chert Negro | 9 | 0,05666399 | 0,98 | 0,989949494 |
| Chert Gris | 20 | 0,0792 | 0,98 | 0,989949494 |
| Cuarcita | 21 | 0,08064703 | 0,98 | 0,989949494 |

8.2.4 ESTACIÓN POZO LN-2P

X: 1060837

Y: 1276151

Z: 562 m Error: +/- 5 m

Descripción: El afloramiento asociado a litologías conglomeráticas levantado cerca al Pozo LN-2P tiene un espesor de 2.30 m (Tabla 6), comprende una secuencia de niveles de ortoconglomerados con estratificación horizontal e imbricación de clastos (Figura 89, Anexo 1.9). En general el afloramiento está conformado por conglomerados polimícticos, moderadamente bien seleccionado predominando guijarros muy gruesos de tamaños entre 32 a 64 mm (-5, -6 phi) con una tendencia unimodal, simétrica y curtosis (forma o apuntamiento de las distribuciones) mesocúrtica (Figura 90), una moderada a alta esfericidad de 0.6 a 0.8, con clastos redondeados a muy redondeados (Figura 19) y sus principales formas son compactas elongadas, laminares y compactas laminares (Figuras 91 y 92). Su composición principal es de cuarzo, chert gris, cuarcita y en menor cantidad chert amarillo (9%) (Figura 93, Tabla 15).

En la parte analizada del afloramiento Pozo LN-2P se encontraron las siguientes facies: Gh (Anexo 1.9).

Figura 89. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área cerca al Pozo LN-2P. Espesor 2.30 m, Escala 1:50. Para su ubicación ver Figura 3.

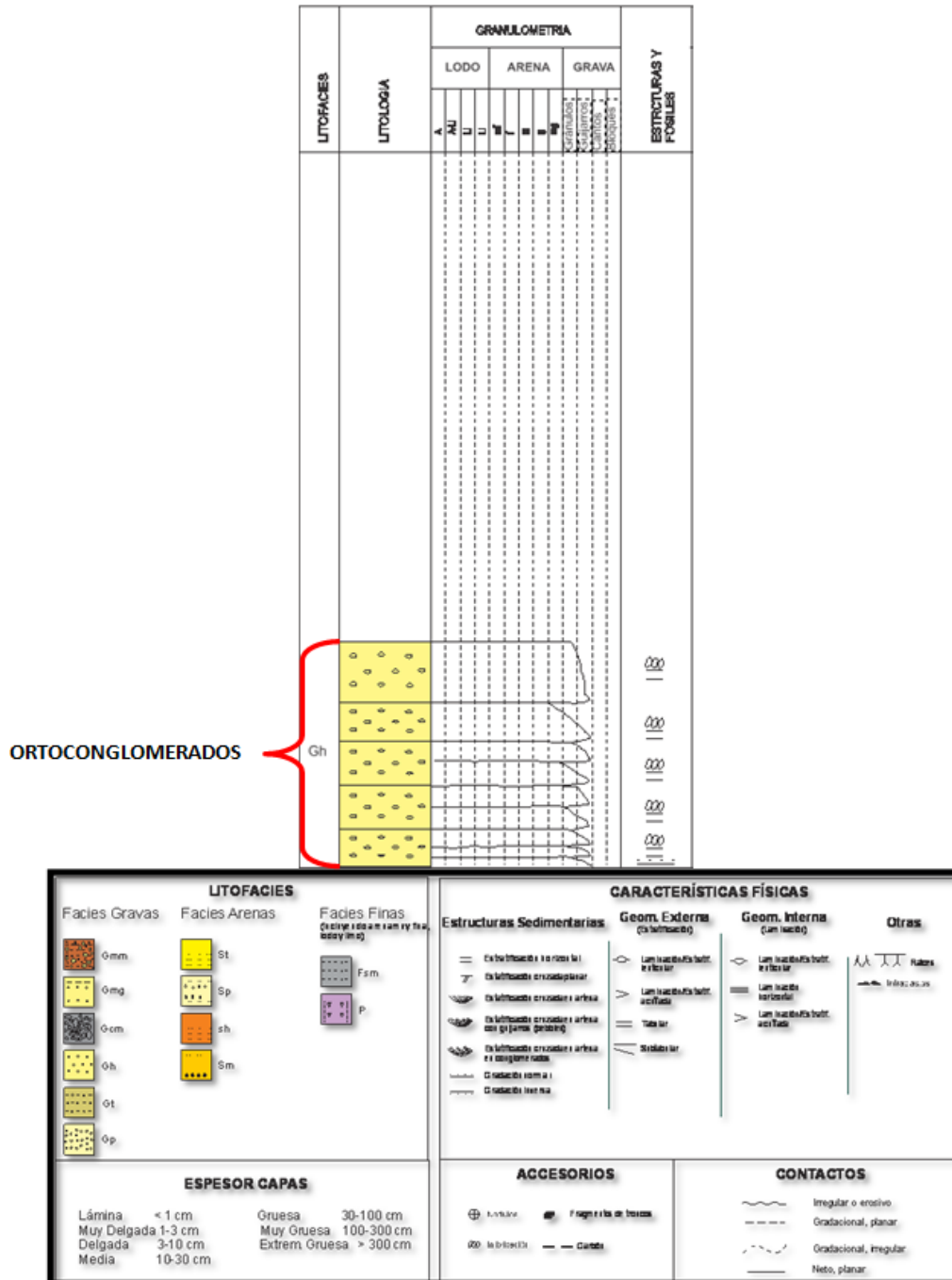


Figura 90. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Pozo LN-2P.

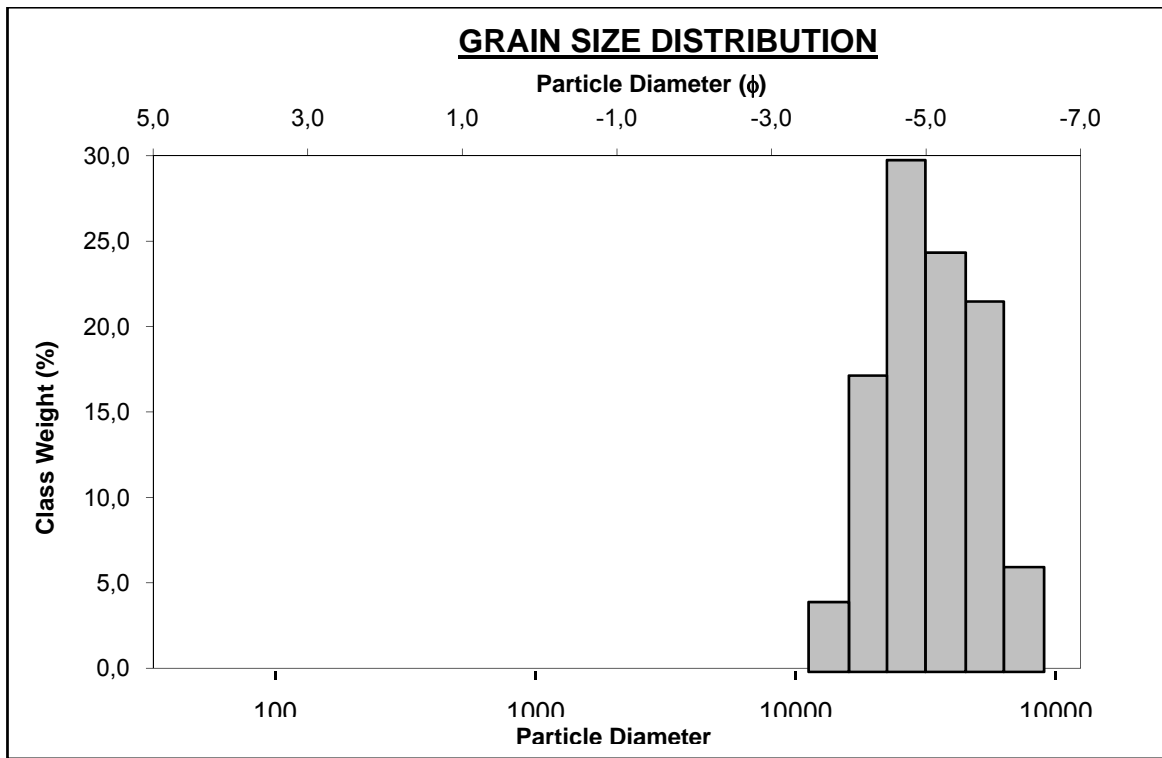


Figura 91. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas elongadas, una caída en aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18).

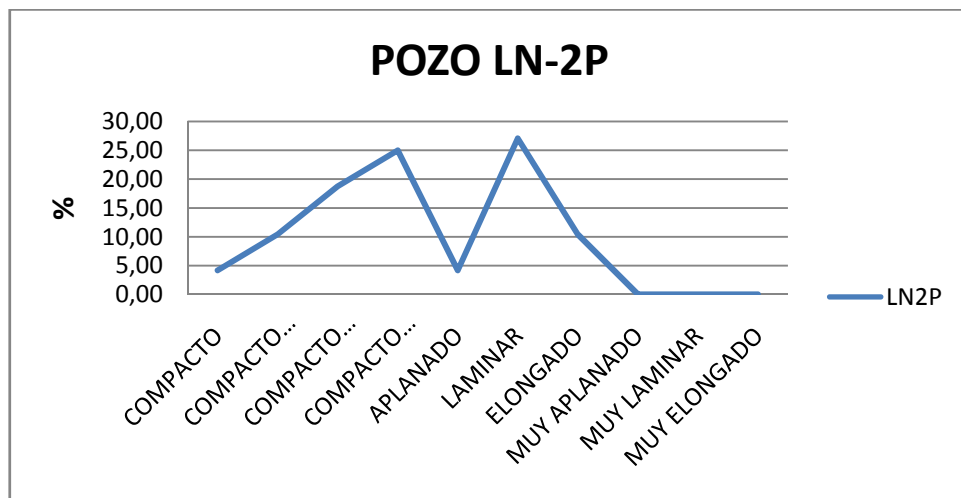


Figura 92. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 27% de formas laminares y un 25% de compactas elongadas.

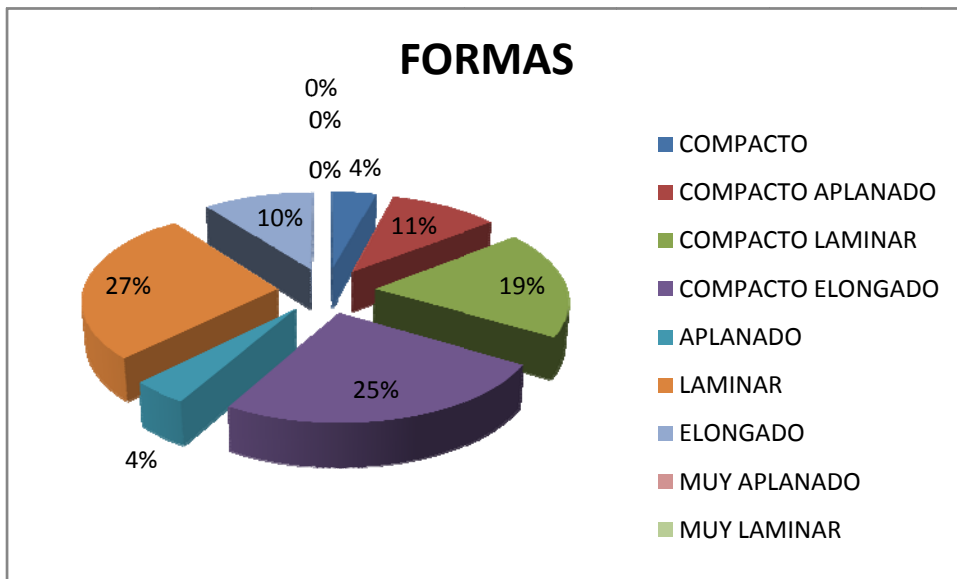


Figura 93. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Pozo LN-2P. Se resalta la abundancia de alrededor del 50% de Cuarzo y 25% de Chert gris.

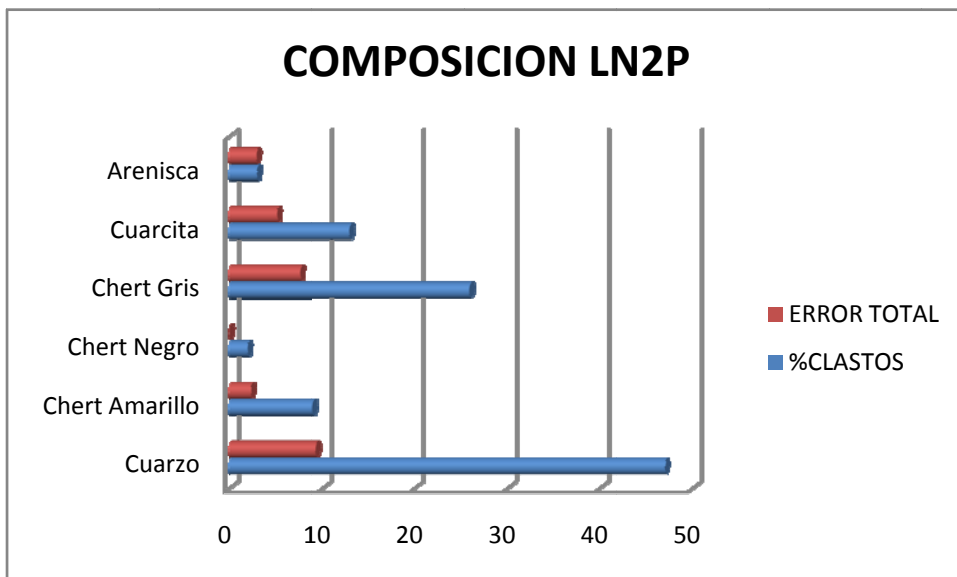


Tabla 14. Composición de clastos del afloramiento Pozo LN-2P, donde se realizaron 4 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo.

| COMP. | %CLASTOS | CE | SE | ERROR TOTAL |
|----------------|----------|------------|------------|-------------|
| Cuarzo | 47 | 0,09882164 | 9,3443227 | 9,344845231 |
| Chert Amarillo | 9 | 0,05666399 | 2,33286662 | 2,333554686 |
| Chert Negro | 2 | 0,02772 | 0 | 0,02772 |
| Chert Gris | 26 | 0,08684958 | 7,69575641 | 7,696246456 |
| Cuarcita | 13 | 0,06658808 | 5,18567257 | 5,186100074 |
| Arenisca | 3 | 0,02772 | 2,94 | 2,940130677 |

8.2.5 ESTACIÓN VÍA LA FORTUNA – FINCA AGUAS CALIENTES

X: 1060781

Y: 1280643

Z: 219 m Error: +/- 4 m

Descripción: El afloramiento asociado a litologías conglomeráticas levantado cerca a la Finca Aguas Calientes tiene un espesor de 13.80 m (Tabla 6), está conformado por lodolitas grises, paraconglomerados, unas areniscas conglomeráticas masivas y hacia el tope un gran espesor de paleosuelos (Figura 94, Anexo 1.10). En general el afloramiento está conformado por conglomerados polimícticos, moderadamente seleccionado predominando guijarros gruesos de tamaños entre 16 a 32 mm (-4, -5 phi) con una tendencia unimodal, simétrica y curtosis (forma o apuntamiento de las distribuciones) platicúrtica (Figura 95), una moderada a alta esfericidad de 0.6 a 0.8, con clastos subangulosos a subredondeados (Figura 19) y sus formas principales son compactas laminares, laminares y compactas (Figuras 96 y 97). Su composición principal es de cuarzo, chert amarillo, chert gris, cuarcita y en menor cantidad chert negro (9%) (Figura 98, Tabla 16).

En la parte analizada del afloramiento Aguas Calientes se encontraron las siguientes facies: Gmm, Sm, Fsm y P (Anexo 5.10).

Figura 94. Columna estratigráfica resumida del afloramiento asociado a litologías conglomeráticas en el área Aguas Calientes. Espesor 13.80 m, Escala 1:50. B: base, T: tope. Para su ubicación ver Figura 3.

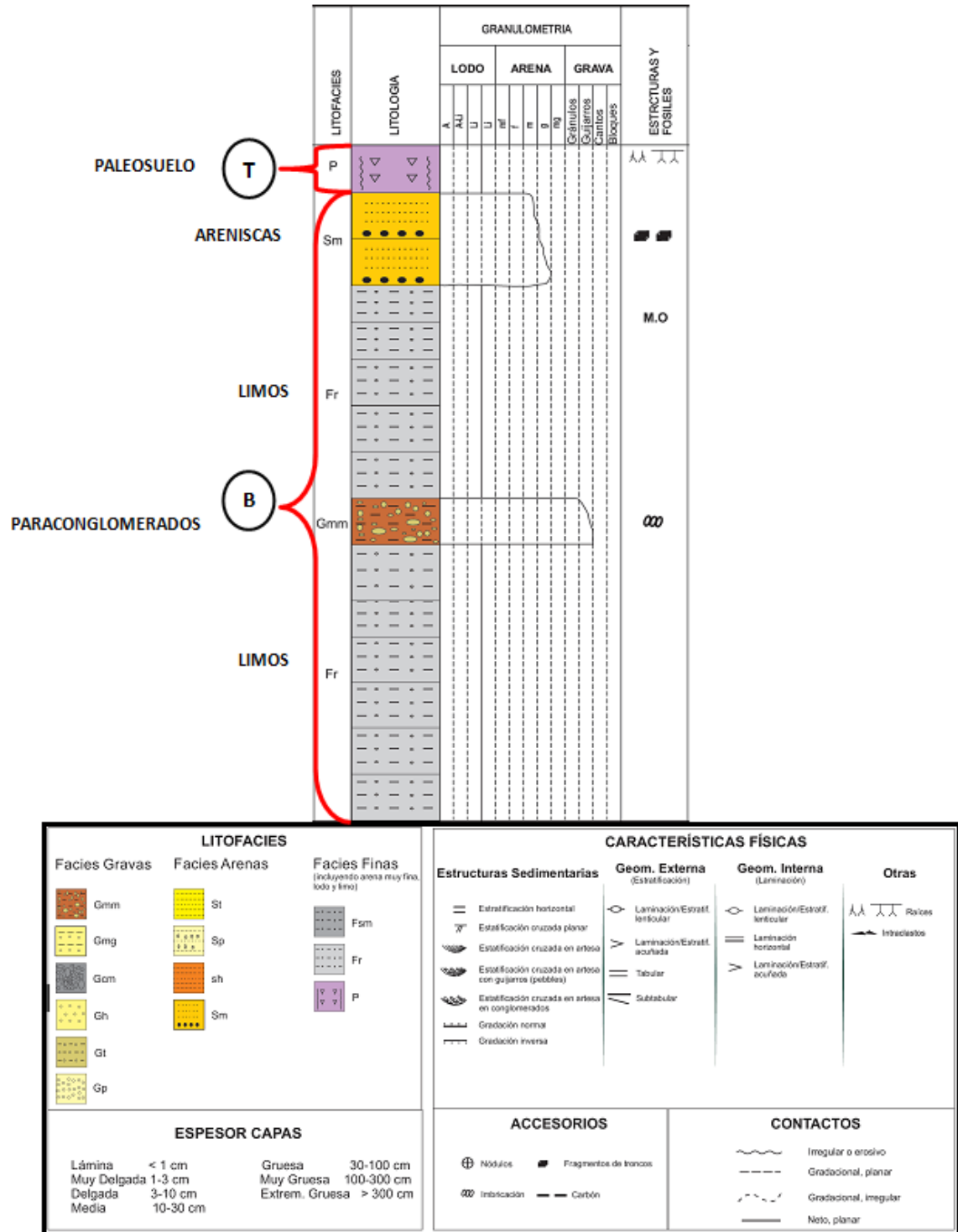


Figura 95. Tendencia estadística del tamaño de los clastos en el afloramiento Aguas Calientes.

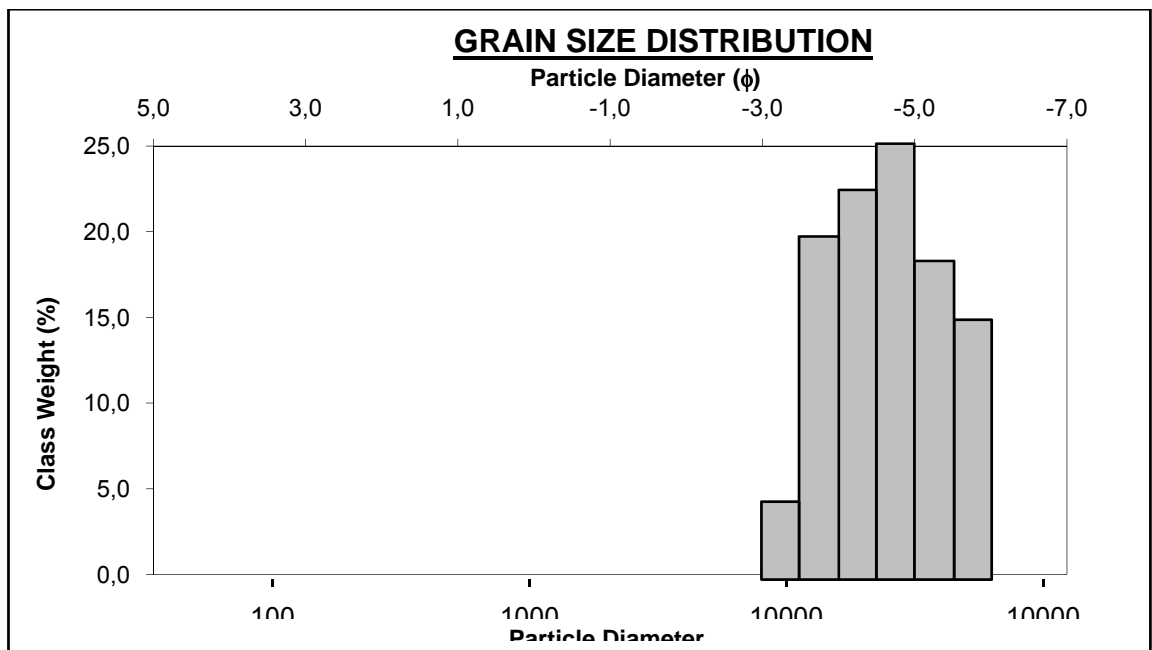


Figura 96. Se observa la tendencia en M de la curva asociada a la forma de los clastos con un pico en formas compactas laminares, una caída en compactas elongadas a aplanadas y otro pico en laminares. (Ver Figura 18).

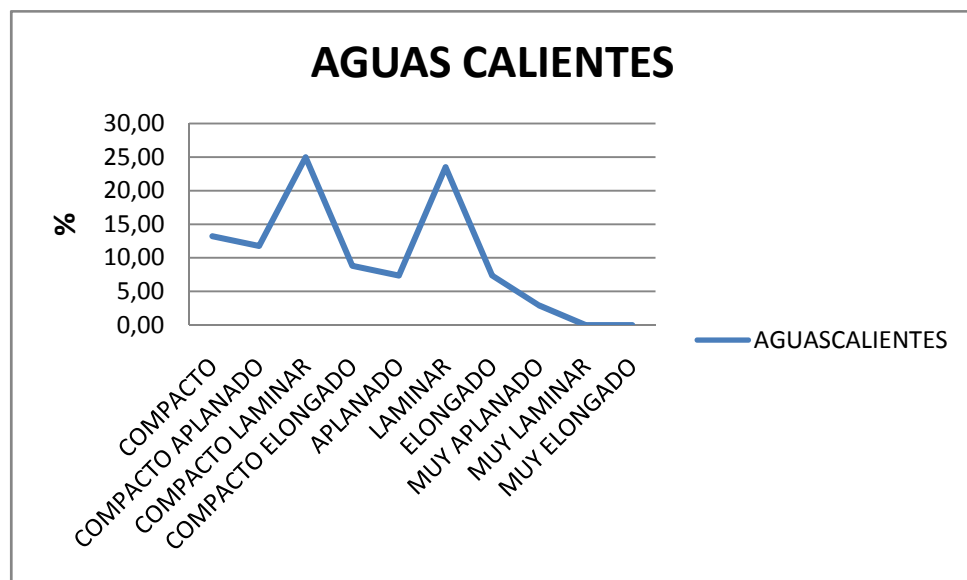


Figura 97. Se observa los porcentajes de las formas de los clastos con un 25% de formas compactas laminares y un 24% de laminares.

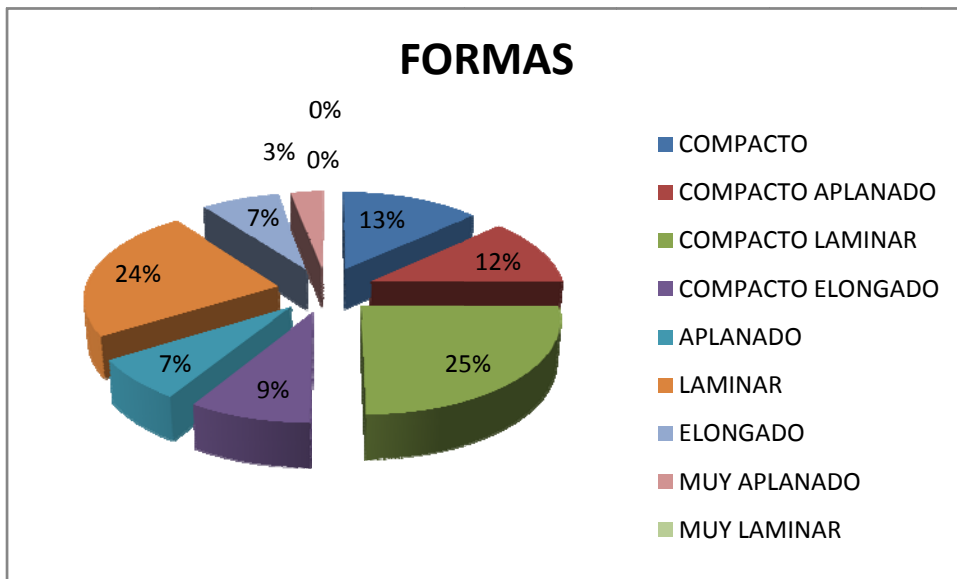


Figura 98. Distribución de la composición de clastos en el afloramiento Aguas Calientes. Se resalta la abundancia de alrededor del 30% de Cuarzo y 20% de Chert gris y Chert amarillo.

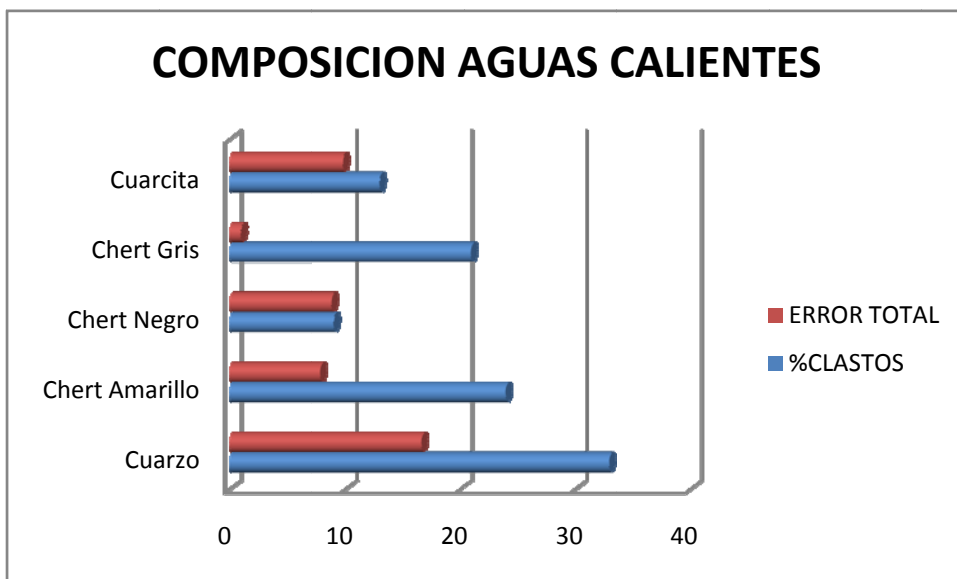


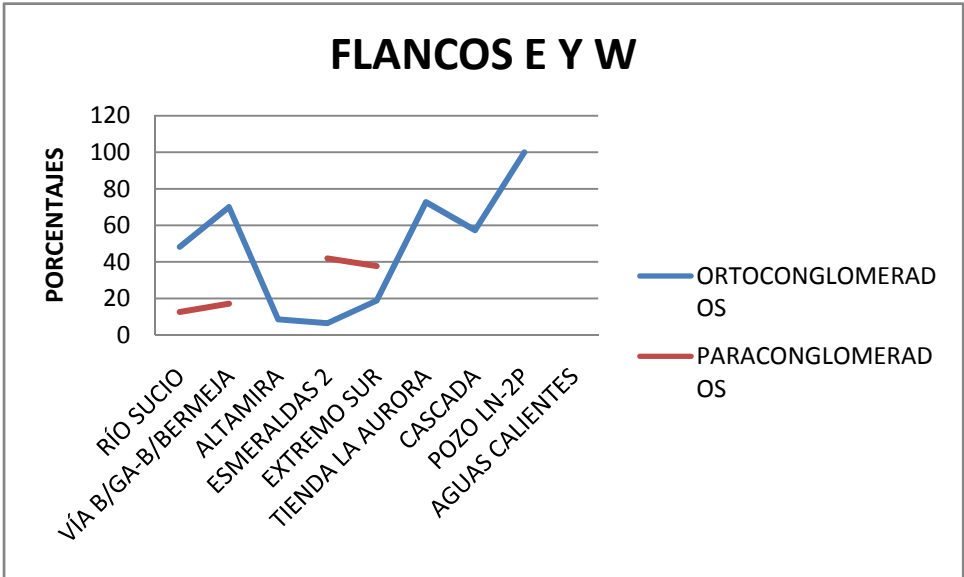
Tabla 15. Composición de clastos del afloramiento Aguas Calientes, donde se realizaron 2 conteos (réplicas). CE: Error de Conteo; SE: Error de muestreo.

| COMP. | %CLASTOS | CE | SE | ERROR TOTAL |
|----------------|-----------------|------------|-----------|--------------------|
| Cuarzo | 33 | 0,09310212 | 16,66 | 16,66026014 |
| Chert Amarillo | 24 | 0,08456246 | 7,84 | 7,840456033 |
| Chert Negro | 9 | 0,05666399 | 8,82 | 8,820182017 |
| Chert Gris | 21 | 0,08064703 | 0,98 | 0,983312739 |
| Cuarcita | 13 | 0,06658808 | 9,8 | 9,80022622 |

De manera resumida en las diez estaciones anteriormente descritas se puede observar una tendencia predominante de ortoconglomerados hacia el SW-NE del Sinclinal de Nuevo Mundo en los afloramientos Río Sucio, Vía Bucaramanga-Barrancabermeja, Altamira, Extremo Sur, Cerro La Aurora-Cascada, Tienda La Aurora y Pozo LN-2P. Los mayores porcentajes de ortoconglomerados se observaron en los afloramientos Tienda La Aurora, Cerro La Aurora-Cascada y Pozo LN-2P ubicados en el SW y en los afloramientos Río Sucio y Vía Bucaramanga-Barrancabermeja en el NE del Sinclinal, los cuales marcan una tendencia en ortoconglomerados por su espesor y por sus composiciones que son similares aunque en diferentes porcentajes (Figuras 99 y 100).

Por el contrario los mayores porcentajes de paraconglomerados se observaron en los afloramientos Esmeraldas 2, Extremo Sur y con un porcentaje muy pequeño del 3.62% están presentes en el afloramiento Aguas Calientes (Figura 99, Tabla 17). El afloramiento Esmeraldas 1 no se aprecia debido a que presenta areniscas conglomeráticas.

Figura 99. Se observa una tendencia predominante de ortoconglomerados en los afloramientos de la Formación La Paz localizados al SW y NE del Sinclinal de Nuevo Mundo.



MAPA TENDENCIAS DE FORMAS Y COMPOSICIÓN

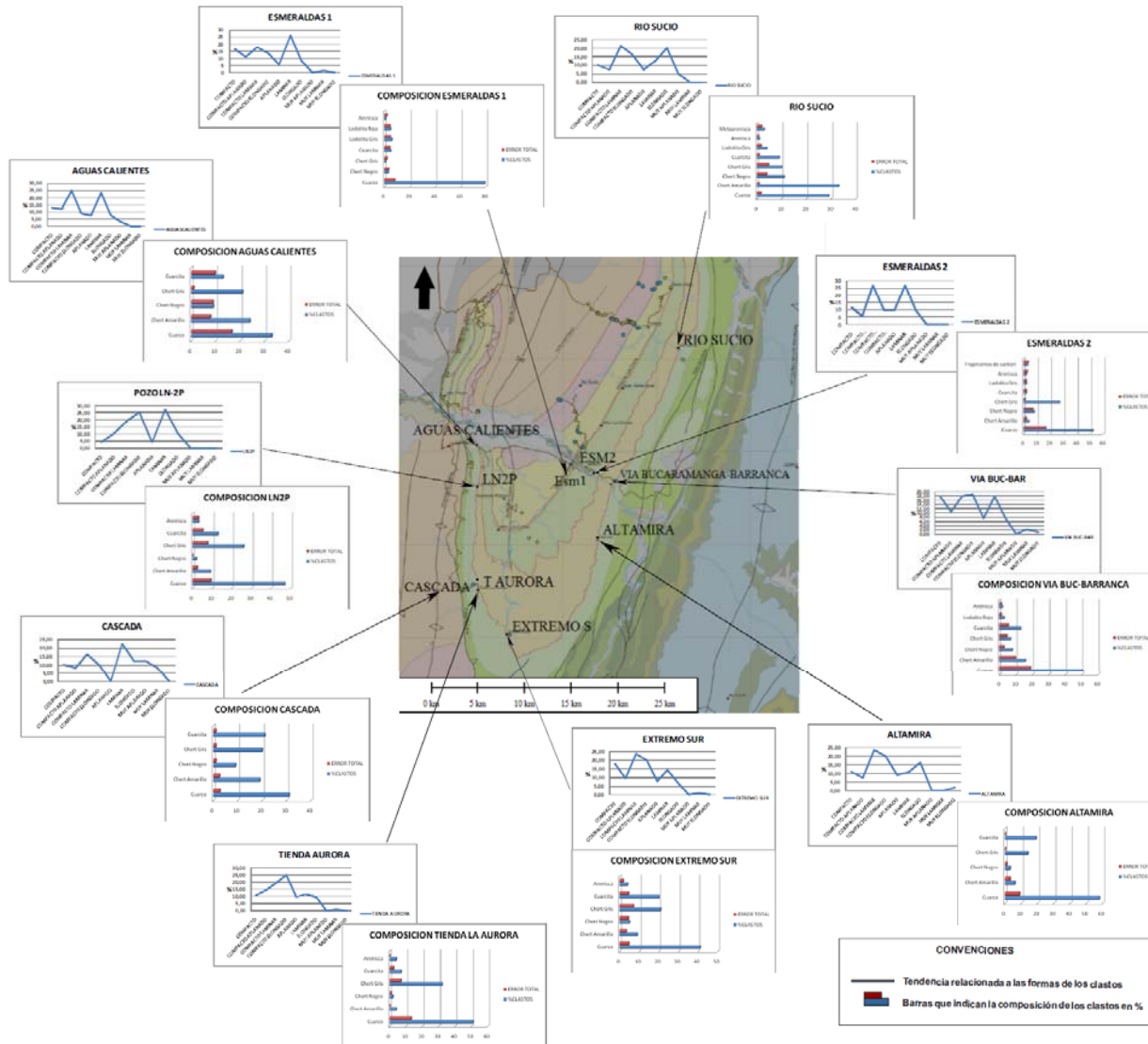


Figura 100. Mapa de tendencias de la forma y la composición de los clastos analizados en los diez afloramientos del área de estudio.

Tabla 16. Tipos de conglomerados en los afloramientos estudiados en el Grupo Chorro, Sinclinal de Nuevo Mundo.

| ESTACIÓN /UNIDAD | TIPO CONGLOMERADO | DE | ESPESOR (m) | % FACIES |
|--|---------------------------|----|-------------|----------|
| Flanco E | | | | |
| Río Sucio/Formación La Paz | Paraconglomerado | | 0.90 | 12.59 |
| | Ortoconglomerado | | 3.45 | 48.25 |
| Vía Bucaramanga-Barrancabermeja/Formación La Paz | Paraconglomerado | | 0.98 | 17.16 |
| | Ortoconglomerado | | 4 | 70.05 |
| Altamira/Formación La Paz | Ortoconglomerado | | 0.30 | 8.57 |
| Esmeraldas 1/Formación Esmeraldas | Areniscas conglomeráticas | | 0.50 | |
| Esmeraldas 2/Formación Esmeraldas | Paraconglomerados | | 1.30 | 41.94 |
| | Ortoconglomerados | | 0.20 | 6.45 |
| Flanco W | | | | |
| Extremo Sur/Formación La Paz | Paraconglomerado | | 2.91 | 37.74 |
| | Ortoconglomerado | | 1.45 | 18.81 |
| Tienda La Aurora/Formación La Paz | Ortoconglomerado | | 10.01 | 72.8 |
| Pozo LN-2P/Formación La Paz | Ortoconglomerado | | 2.30 | 100 |
| Cerro La Aurora-Cascada/Formación La Paz | Ortoconglomerado | | 1.05 | 57.38 |
| Aguas Calientes/Formación La Paz | Paraconglomerado | | 0.50 | 3.62 |

8.3 DESCRIPCIÓN DE FACIES EN LAS LITOLOGÍAS DE INTERÉS EN EL GRUPO CHORRO SNM

En el Sinclinal de Nuevo Mundo (SNM) se levantaron 10 columnas estratigráficas en litologías asociadas a niveles conglomeráticos de interés (Figura 3). A continuación se presenta la descripción de las facies identificadas en éstos niveles, donde se utilizaron las facies propuestas por Miall (1996) para sistemas fluviales. Esta descripción incluye textura y composición general de la roca, litología y estructuras sedimentarias.

8.3.1 Facies de Conglomerados en el Grupo Chorro, Sinclinal de Nuevo Mundo

8.3.1.1 Conglomerado Masivo Matriz Soportado (Gmm). La litofacies Gmm se encuentra en cuatro de los diez afloramientos estudiados en el Grupo Chorro. Esta litofacies la constituyen capas delgadas de 8 y 10 cm a capas gruesas y muy gruesas desde 0.50 a 1.50 m de espesor, compuesta de conglomerado masivo, matriz soportado. El diámetro de los clastos esta en un rango de 0.3 a 5 cm de guijarros muy finos a muy gruesos. La composición de los clastos es principalmente Cuarzo, Chert gris, amarillo, negro y cuarcita en una matriz de arenisca de grano medio a grueso subredondeada. Los clastos son subredondeados a redondeados y muy redondeados, moderadamente seleccionados, algunos clastos presentan imbricación y gradación normal pobre. La geometría de los estratos es subtabular y acuñada (Figuras 101 y 102). En el afloramiento Esmeraldas 2 los paraconglomerados presentan lentes de carbón e intercalaciones de capas delgadas de arenisca de 10 cm de espesor.

Interpretación: La facies Gmm es interpretada como depósitos de flujos de detritos hiperconcentrados correspondiente probablemente a barras gravosas debido a su

falta de organización interna y su armazón matriz soportada (Rust, 1978; Schultz, 1984; Hubert and Filipov, 1989; Miall, 1996). Estos depósitos ocupan la topografía pre-existente, ya sea dentro de los canales o en las superficies de las llanuras de inundación (Finzel y McCarthy, 2005) (Anexos 1.1, 1.5, 1.6 y 1.10).

Figura 101. Se observa la facies Gmm en el afloramiento Extremo Sur.

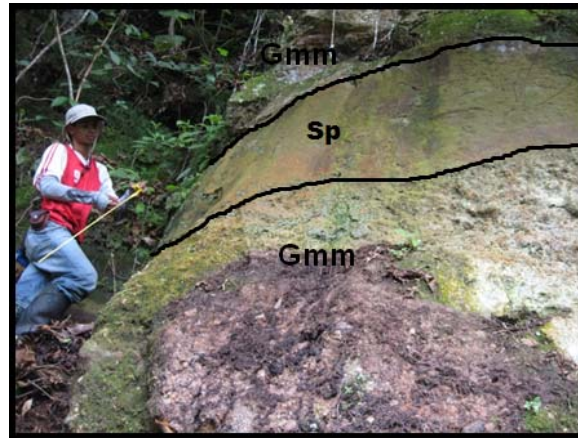
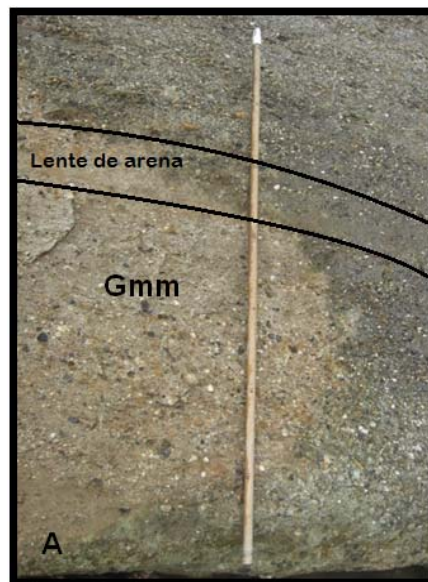


Figura 102. Se observa la facies Gmm y un pequeño lente de arena que se va introduciendo en el paquete de paraconglomerado, afloramiento Río Sucio.



8.3.1.2 Conglomerado Matriz Soportado (Gmg)

La litofacies Gmg se encuentra solo en un afloramiento (Vía Bucaramanga – B/bermeja). Esta litofacies la constituyen capas delgadas de 5 y 10 cm a capas medias de 20 y 25 cm de espesor, compuesta de conglomerado matriz soportado con gradación inversa a normal regular. El diámetro de los clastos esta en un rango de 0.4 a 6 cm desde gránulos a guijarros muy gruesos. Su composición principal es de cuarzo, chert amarillo, negro y cuarcita en una matriz de arenisca de grano medio a grueso subredondeada. Los clastos son subredondeados a redondeados, moderadamente seleccionados. La geometría del estrato es tabular (Figuras 103).

Interpretación: La facies Gmg es interpretada como depósitos de flujos de detritos hiperconcentrados. Los granos más gruesos se mueven a regiones de menor cizalla en las orillas del flujo, resultando en gradación inversa. Este tipo de flujos comúnmente contiene grandes clastos aislados que han sido llevados al tope o a las orillas del flujo. Aún con estas altas concentraciones de sedimentos, el flujo tiene características pseudoplásticas. La matriz es cohesiva y tiene el esfuerzo adecuado para soportar grandes bloques. Esto puede llegar a desarrollar una gradación interna (Miall, 1996).

Figura 103. Se observa la facies Gmg seguida de un pequeño nivel de arena en el paquete de paraconglomerado (parte superior, líneas), afloramiento Vía Bucaramanga-B/bermeja.



8.3.1.3 Conglomerado Masivo Clasto Soportado (Gcm). La litofacies Gcm es una de las litofacies con mayores espesores en los conglomerados. Esta facies la constituye conglomerado masivo, clasto soportado en capas medias a muy gruesas de 15 cm a 2 m de espesor. El diámetro de los clastos esta en un rango de 0.3 a 7 cm desde gránulos, guijarros muy gruesos y cantos pequeños. La composición de los clastos es cuarzo, chert gris, amarillo y negro en menor proporción arenisca sublítica gris y cuarcita en una matriz de arenisca de grano medio a grueso subredondeada. Los clastos son subredondeados a redondeados, moderadamente seleccionados, algunos niveles presentan gradación normal y lentes de arenisca de 7 y 8 cm que envuelven guijarros gruesos y muy gruesos de 2 a 4 cm en el ortoconglomerado. La geometría de los estratos es subtabular, lenticular y acuñada (Figura 104). En el afloramiento Esmeraldas 2 el ortoconglomerado presenta fragmentos de carbón.

Interpretación: Esta facies es interpretada como flujos de detritos pseudoplástico correspondiente probablemente a grava de carga de lecho que fue depositada

por acreción clasto por clasto durante altas descargas (Miall, 1996). La mayoría de las barras se originan de lags gruesos (láminas de grava difusa que han dejado de moverse) y construyen hacia arriba por adición de materiales más finos todavía en transporte y el resultado neto será granodecrecimiento (gradación normal) (Hein, 1974) (Anexos 1.1, 1.5 y 1.7).

Figura 104. Se observa la facies Gcm en el afloramiento Tienda La Aurora, hacia la base (figura de la izquierda), hacia el tope (figura de la derecha).



8.3.1.4 Conglomerado Clasto Soportado con Estratificación Horizontal (Gh)

La litofacies Gh se encuentra en la mayoría de los afloramientos estudiados en la Formación La Paz. Esta litofacies la constituyen capas delgadas desde 7 y 10 cm a capas medias y gruesas desde 15 cm a 0.60 m de espesor, compuesta de conglomerado clasto soportado con estratificación horizontal. El diámetro de los clastos esta en un rango de 0.3 a 6 cm de gránulos a guijarros muy gruesos. La composición de los clastos es principalmente cuarzo, chert gris, amarillo, negro, cuarcita y en menor abundancia arenisca, en una matriz de arenisca de grano fino a grueso subredondeada. Los clastos son subredondeados a redondeados,

moderadamente a bien seleccionados, presentan imbricación y gradación normal. La geometría de los estratos es tabular y subtabular (Figuras 105, 106, 107, 108 y 109).

Interpretación: La litofacies Gh es interpretada como migración de barras longitudinales que tienden a formar capas horizontales pobremente definidas con una fabrica preferente de ejes a(transversal) b(imbricado). (Rust, 1972 y Gustavson, 1974; Miall, 1996) (Anexos 1.2, 1.3, 1.6, 1.8 y 1.9).

Figura 105. Se observa la facies Sh con un pulso de ortoconglomerados de facies Gh en el afloramiento Altamira.

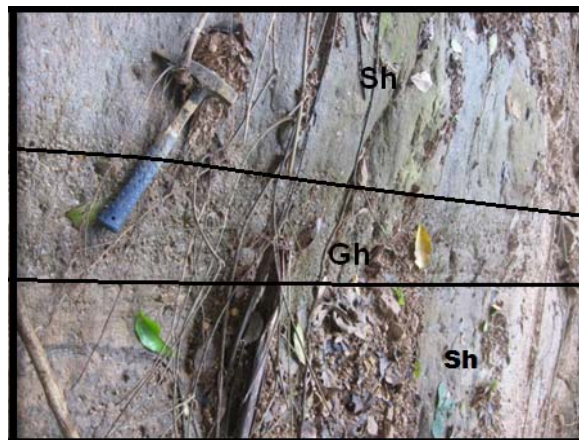


Figura 106. Se observa ortoconglomerados de facies Gh en el afloramiento Extremo Sur.

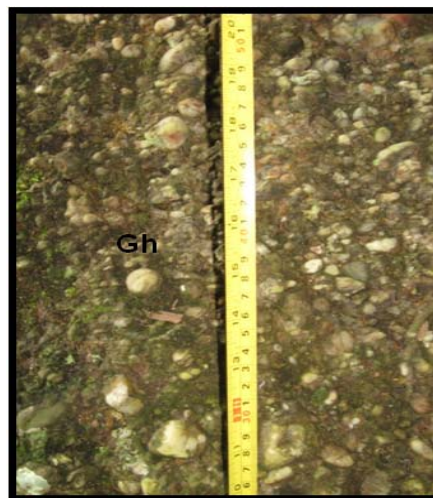


Figura 107. Se observa ortoconglomerados de facies Gh en el afloramiento Pozo LN-2P.

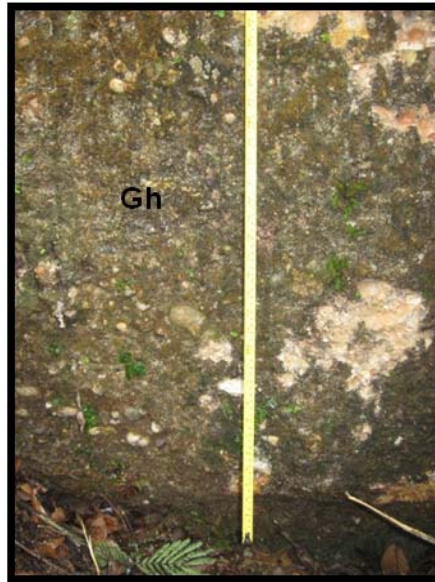


Figura 108. Se observa ortoconglomerados de facies Gh en contacto erosional con la facies Fsm (parte inferior, figura de la izquierda); A la parte derecha se aprecian intercalaciones de litofacies Gh con Fsm y Sh, afloramiento Cerro La Aurora-Cascada.

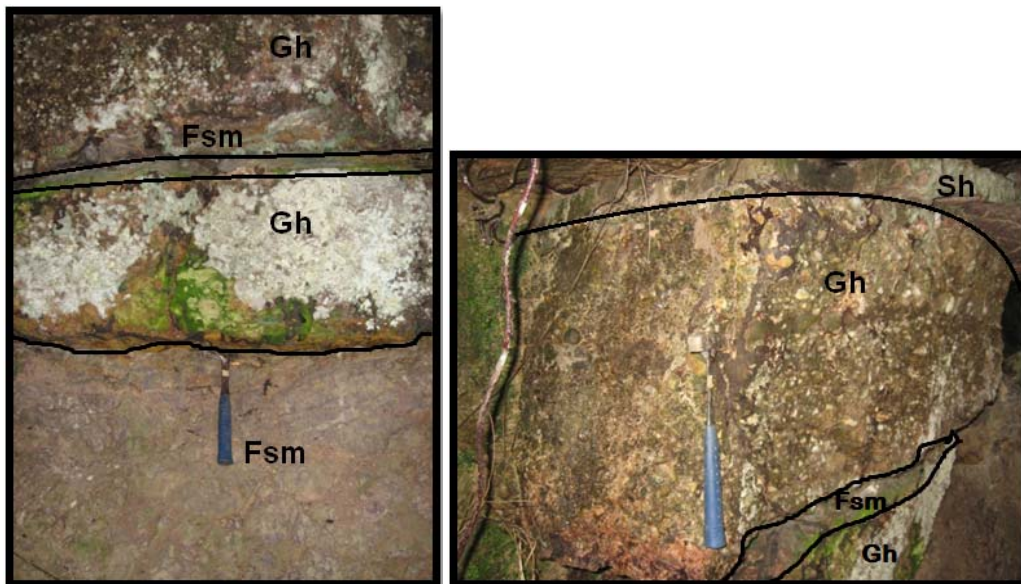
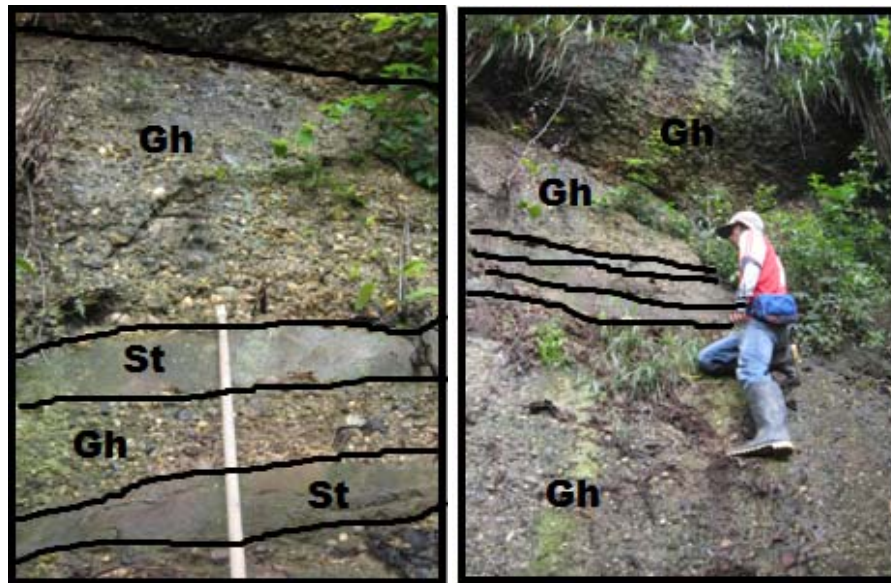


Figura 109. Se observa las litofacies Gh y St. A la parte izquierda se observa más de cerca éstas litofacies en el afloramiento Vía Bucaramanga-B/bermeja.



8.3.1.5 Conglomerado Clasto Soportado con Estratificación Cruzada Planar (Gp)

La litofacies Gp se encuentra en tres afloramientos del área de estudio en la Formación La Paz. Esta litofacies la constituyen capas delgadas de 10 cm a capas medias a muy gruesas desde 15 cm a 1.60 m de espesor, compuesta de conglomerado con estratificación cruzada planar, clasto soportado excepto una capa mediana de 23 cm matriz soportada con foresets de 1 y 1.5 cm esta capa representa un 3% del total del afloramiento Extremo Sur (Figura 109). El diámetro de los clastos está en un rango de 0.3 a 5 cm de gránulos a guijarros muy gruesos. La composición de los clastos es cuarzo, chert gris, amarillo, negro y cuarcita en una matriz de arenisca de grano medio a grueso subredondeada. Los clastos son subredondeados a redondeados, moderadamente a bien seleccionados, algunas capas presentan clastos imbricados y gradación normal. Además se aprecia intercalaciones de niveles de arenisca de aproximadamente 10

cm de espesor en una capa de ortoconglomerados de gran espesor. La geometría de los estratos es tabular y subtabular (Figuras 110, 111 y 112).

Interpretación: La estratificación cruzada planar en conglomerados clasto soportados indica que la facies Gp fue depositada por la migración de barras gravosas transversales las cuales podrían generar principalmente estratificación cruzada planar (facies Gp) a gran escala. Las barras transversales tienen buen desarrollo de pendientes de foreset y por lo tanto dan lugar a sets de estratificación cruzada (Hein, 1974; Hein y Walker, 1977; Walker, 1984) (Anexos 1.1, 1.6, y 1.7).

Figura 110. Se observa la litofacies Gp matriz soportada (hacia la base, se indica su inclinación) en el afloramiento Extremo Sur.

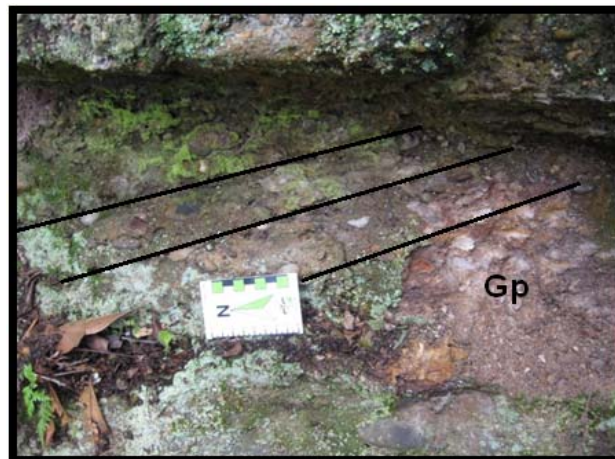


Figura 111. Se observa las litofacies Gcm, Gp, Sp, St, Sm. Las facies Gp pasan lateralmente a arenisca con estratificación cruzada planar, Sp en el afloramiento Río Sucio.

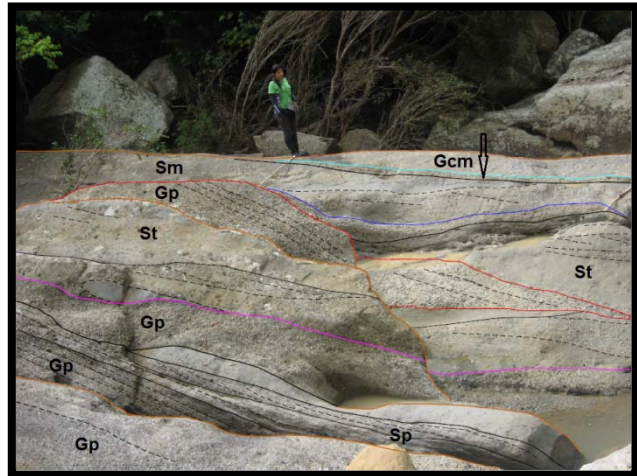
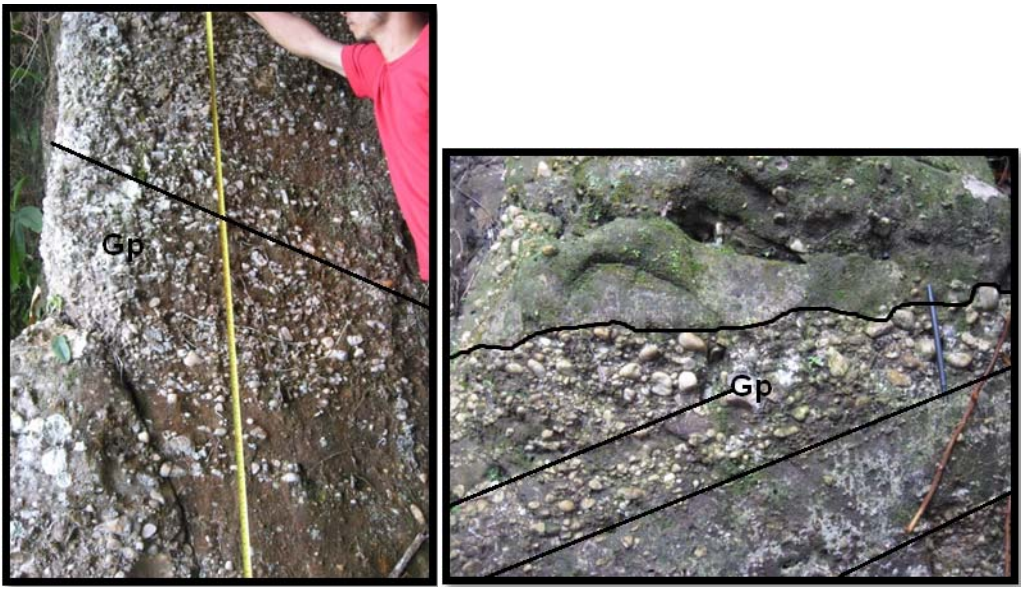


Figura 112. Se observa la litofacies Gp hacia la base del afloramiento Tienda La Aurora (parte izquierda) y hacia la derecha se aprecia el tope de éste.



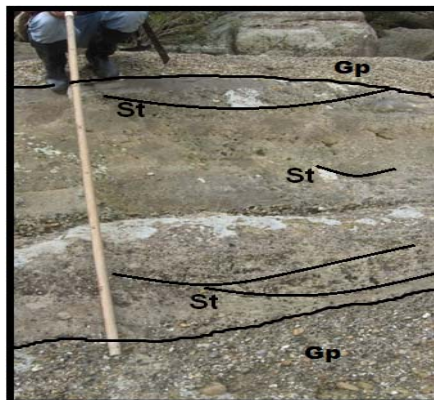
8.3.2 Facies de Areniscas en el Grupo Chorro, Sinclinal de Nuevo Mundo

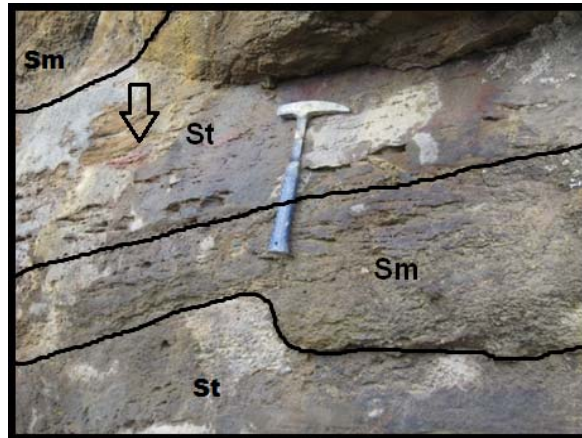
8.3.2.1 Areniscas con Estratificación Cruzada en Artesa (St). La litofacies St se encuentra en menor proporción que los conglomerados pero se presenta interestratificada con éstos en cuatro de los afloramientos estudiados. Esta litofacies ocurre como lentes discontinuos o capas delgadas, medias y gruesas desde 8 cm a 0.70 m de espesor, compuesta de arenisca con estratificación cruzada en artesa. La arenisca es de grano medio a grueso. Esta facies presenta clastos de diámetro desde 0.3 a 6 cm de gránulos a guijarros muy gruesos alineados a la base de las capas y otros formando la artesa. Los granos de la arenisca son subredondeados, bien seleccionados. La geometría de los estratos es lenticular, subtabular y acuñada. (Figuras 113 y 114). En el afloramiento Esmeraldas 2 se presenta asociado con lentes de carbón.

Interpretación: La litofacies St se forma en regímenes de flujo bajo por la migración de dunas de cresta sinuosa o lingüiforme (3 - D) (Blatt et al, 1980; Miall, 1996 (Anexo 1.4).

Figura 113. Se observa la litofacies St (se indica las artesas) en el afloramiento Río Sucio.

Figura 114. Se observan las litofacies St (la flecha indica las artesas) y Sm en el afloramiento Esmeraldas 1.



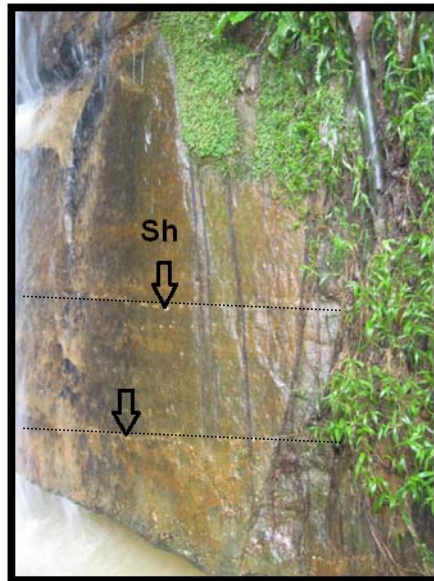


8.3.2.2 Areniscas con Estratificación Horizontal (Sh). La litofacies Sh se encuentra en menor proporción que los conglomerados pero es el componente primario en el afloramiento Altamira. Esta litofacies consiste en capas delgadas, medias y muy gruesas de 15 cm a 1.20 m de espesor, compuesta de arenisca con estratificación horizontal, de grano medio a muy grueso. Esta facies se asocia con pulsos de clastos de 10 y 20 cm de espesor con diámetros desde 0.3 a 1.6 cm de gránulos a guijarros medios, formando alineaciones de clastos o al azar en la arenisca. Los granos de la arenisca son subredondeados, moderadamente a bien seleccionados. La geometría de los estratos es tabular (Figura 115).

Interpretación: La litofacies Sh se forma en regímenes de flujo alto y bajo (Miall, 1996; Blatt et al, 1980). Las capas planas inferiores se distinguen de otros tipos de capas planas que se desarrollan bajo esfuerzos de flujos más altos. Las capas planas inferiores se formaran en capas de sedimentos más grueso que 0.7 mm y son caracterizados por superficies planas y tasas relativamente bajas de transporte de sedimento, pero la condición más importante que representa es la de capas planas superiores, en la transición de flujo subcrítico a supercrítico produciendo laminación horizontal en estructuras de régimen de flujo alto. Las capas planas superiores son más comunes en capas de arena fina y bajo flujos

profundos y está ausente en capas de arena gruesa y bajo flujos superficiales (Blatt et al, 1980). Esta facies podría ocurrir en el tope de barras gravosas, en flujos de etapa de inundación alta que no son confinados a canales (por ejemplo, llanuras de inundación) (Miall, 1996) (Anexos 1.3 y 1.8).

Figura 115. Se observa la litofacies Sh, las flechas indican alineamientos de clastos en la arenisca, afloramiento Cerro La Aurora-Cascada.



8.3.2.3 Areniscas con Estratificación Cruzada Planar (Sp)

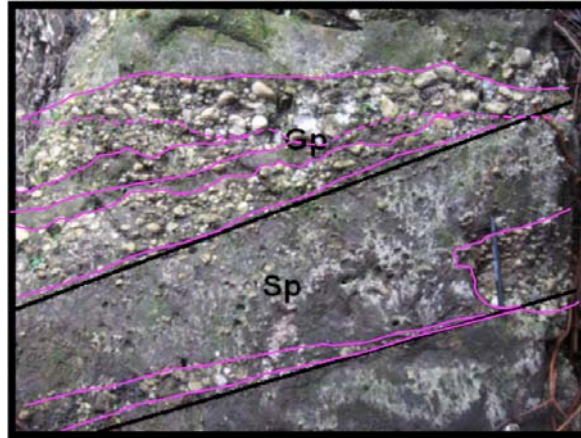
La litofacies Sp se encuentra en menor proporción que los conglomerados pero es un componente importante en los afloramientos Extremo Sur y Tienda La Aurora. Esta litofacies ocurre en capas delgadas a muy gruesas de 8 cm a 1.50 m de espesor, compuesta de arenisca con estratificación cruzada planar, de grano fino a grueso. Esta facies presenta ocasionalmente pulsos o lentes de clastos con diámetros desde 0.5 a 4 cm de guijarros muy finos a muy gruesos, formando alineaciones de clastos inclinados o al azar en la arenisca. Los granos de la arenisca son subredondeados, moderados a bien seleccionados. La geometría de los estratos es tabular y acuñada (Figuras 116 y 117).

Interpretación: Esta facies fue depositada por la migración de dunas de cresta recta, como es indicado por la estratificación cruzada planar en la arenisca (Miall, 1996; Blatt et al, 1980). La estratificación cruzada planar a gran escala es producida por dunas 2 D que son dominadas por depositación de avalanchas en la pendiente en dirección a la corriente, se asocia a un régimen de flujo bajo (Blatt et al, 1980).

Figura 116. Se observan las litofacies Gh y Sp (las líneas y la flecha indican la inclinación) en el afloramiento Extremo Sur. La figura de la izquierda es la parte basal.



Figura 117. Se observan las litofacies Gp y Sp (las líneas indican la inclinación) en el afloramiento Tienda La Aurora, hacia el tope.



8.3.2.4 Arenisca Masiva (Sm). La litofacies Sm se encuentra en menor proporción que los conglomerados pero se presenta en tres afloramientos de estudio con espesores considerables. Esta litofacies ocurre en lentes discontinuos o capas medias y muy gruesas de 20 cm a 1.20 m de espesor, compuestas de arenisca masiva de grano medio a grueso. Esta facies presenta clastos con diámetros desde 0.3 a 4 cm de gránulos a guijarros muy gruesos al azar en la arenisca. Los granos de la arenisca son subredondeados, moderadamente a bien seleccionados. La arenisca presenta fragmentos de carbón y troncos en dos afloramientos. La geometría de los estratos es subtabular, lenticular y acuñada (Figuras 118 y 119).

Interpretación: La falta de estructuras sedimentarias en la litofacies Sm indica que pudo haber sido depositada por flujos gravitacionales de sedimentos o por rápida depositación durante el descenso de las condiciones del flujo. Esta litofacies podría también resultar de la modificación post-depositacional, tales como escape de agua o bioturbación (Miall, 1996 en Finzel y McCarthy, 2005).

La presencia de fragmentos de carbón y troncos pudo haber sido influenciada por detritos de canales y crevasse splays durante inundaciones de ambientes de desbordamiento que diluyen el contenido orgánico

y conducen a la formación de shales carbonosos en lugar de carbones verdaderos (McCabe, 1984 en Miall, 1996).

Figura 118. Se observa la litofacies Sm en el afloramiento Río Sucio.

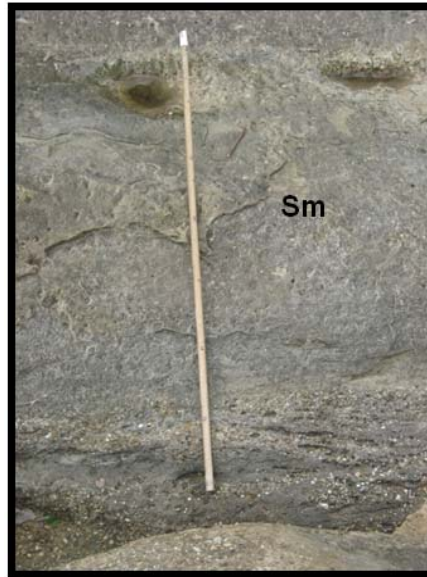
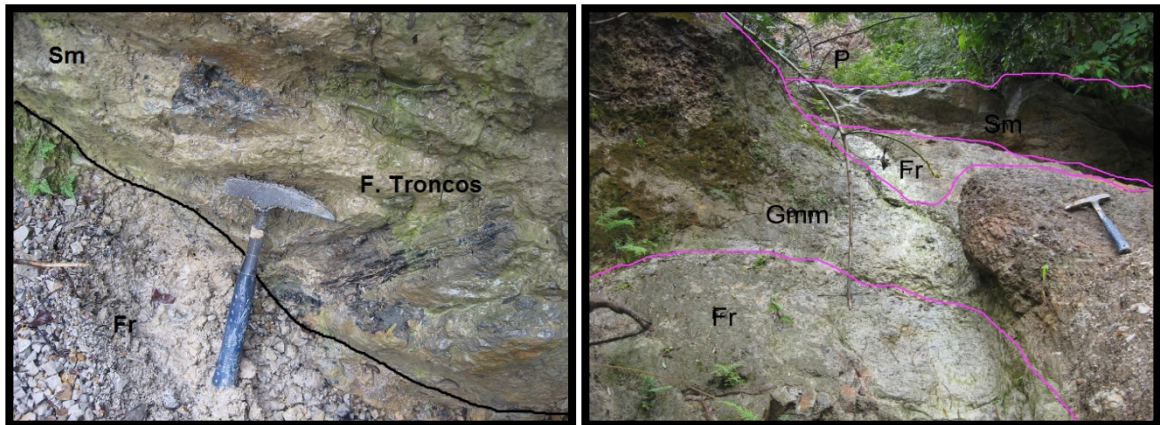


Figura 119. Se observan las litofacies Gmm, Sm, Fr y el paleosuelo (P), parte derecha. A la izquierda se aprecia las litofacies Sm más de cerca con fragmentos de troncos y Fr, afloramiento Aguas Calientes.



8.3.3 Facies Finas en el Grupo Chorro, Sinclinal de Nuevo Mundo

8.3.3.1 Lodolita Masiva (Fsm). La litofacies Fsm es una de las facies de menor espesor dentro de los niveles conglomeráticos levantados. Esta litofacies se presenta en capas delgadas a gruesas de 5 cm a 50 cm de espesor, están compuestas de lodolita masiva. La lodolita es de color gris se observa de un aspecto blando, presenta en ocasiones fragmentos de carbón; la geometría de los estratos es subtabular a tabular. (Figuras 120 y 121).

Interpretación: Esta litofacies probablemente representa un depósito de planicie de inundación algo más distal en relación con las fuentes clásticas tal como la cercanía a los canales fluviales (Miall, 1996) (Anexo 1.5).

Figura 120. Se observan las litofacies Gmm, Gcm, St, Fsm y el paleosuelo (P), parte derecha. A la parte izquierda se aprecia más de cerca la litofacies Fsm, afloramiento Esmeraldas 2.



Figura 121. Se observa más de cerca el contacto erosional entre las litofacies Fsm y Gh (izquierda) y en la derecha vista lateral del contacto en el afloramiento Cerro La Aurora-Cascada (vista frontal).



8.3.3.2 Lodolita Masiva con Raíces (Fr). La litofacies Fr es la facies predominante y de mayor espesor en el afloramiento Aguas Calientes. Esta litofacies se presenta en capas gruesas a muy gruesas de 80 cm a 2 m de espesor, están compuestas de lodolita masiva con presencia de raíces. La lodolita es de color gris-rojizo se observa de un aspecto fisil y blanda, presenta en ocasiones clastos de cuarzo, lentes de carbón y alto contenido de materia orgánica; en algunos sectores es de color rojo debido a la alta meteorización y

presencia de óxidos de hierro, la geometría de los estratos es subtabular a tabular. Dentro de esta litofacies encontramos también limolitas silíceas de color gris, sin estructura interna, de aspecto moteado de color rojizo - vino tinto, con aumento del contenido de sílice y son de gran dureza comparada con las demás lodolitas, se aprecian raíces. Por sus características llamaremos a las limolitas silíceas en este trabajo paleosuelos (P), considerando que son lodolitas que han sufrido procesos pedogenéticos (Figuras 123 y 124).

Interpretación: Los intervalos de litofacies Fr son interpretados como correspondientes a sedimentos en suspensión de ambientes fluviales en planicies de inundación con vegetación. Las inundaciones de ambientes de desbordamiento (overbank), siguen un intervalo de exposición subáerea dominado por procesos pedogenéticos o desarrollo de suelos en un clima húmedo. La cementación de sílice puede haber ocurrido como resultado de la lixiviación, en donde la litología principal en este caso limo con alguna estratificación primaria es ocultada o destruida por el emplazamiento de raíces y bioturbación, dando a las capas una apariencia moteada (Miall, 1996, Catuneanu et al., 2006). Esta litofacies corresponde a las limolitas denominadas (P). Las litofacies (Sm) asociada a flujos de granos de alta energía y (St) asociada a flujos de agua de menor energía están ocasionalmente interestratificadas con las lodolitas de las facies Fsm y Fr.

Figura 122. Se observa la litofacies Fr y hacia la parte derecha se aprecia más detalle de la misma, destacando desarrollo de suelo incipiente en el afloramiento Aguas Calientes.

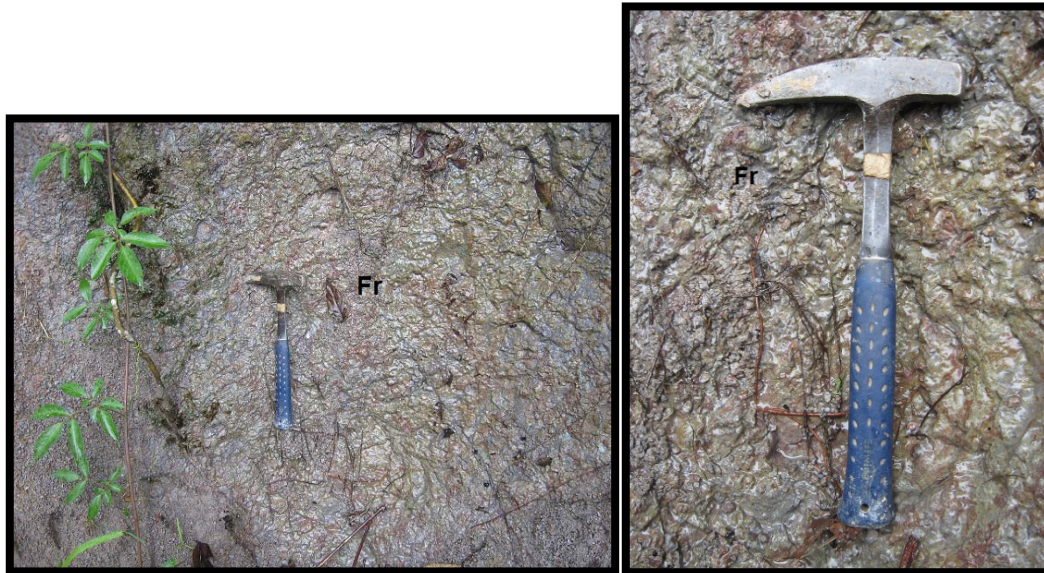


Figura 123. Se observa el paleosuelo (P) y a la parte izquierda se observa detalle del mismo destacando su fisilidad, diaclasamiento y su moteado característico en el afloramiento Aguas Calientes.



8.3.4 Distribución de Facies en el SNM

A través del Sinclinal de Nuevo Mundo se puede observar que predominan las facies conglomeráticas en las columnas estratigráficas descritas, así, en el Flanco E del Sinclinal en el afloramiento Río Sucio las facies principales son Gp (45.45%) y St (22.38%), siendo las facies conglomeráticas un 60.84 % y las facies arenosas un 39.16 %; el afloramiento Vía Bucaramanga-Barrancabermeja predominan la facies Gh (70.05 %) y St (12.78 %) con un total de facies conglomeráticas del 87.21 % y un total de facies arenosas del 12.78 %; en el afloramiento Altamira predominan las facies arenosas con un 91.43 % de Sh y un 8.57 % de Gh; en el afloramiento Esmeraldas 1 predominan las facies arenosas St (80%) y Sm (20%); en el afloramiento Esmeraldas 2 predominan las facies Gmm (41.94%) y St (25.81 %) para un total de facies conglomeráticas del 48.39 %, facies arenosas 25.81 %, facies lodosas (Fsm) 9.68 % y paleosuelos 16.13 % (Figura 126, Anexo 1 y Tabla 18).

En general en el Flanco E sobresalen las facies Gp, Gh, Sh, St y Gmm con un notable incremento en facies arenosas Sh en el afloramiento Altamira y St en el afloramiento Río Sucio ubicados al NE y E del Sinclinal éstas facies se relacionan con barras longitudinales y transversales en ríos trenzados (Tablas 21 y 22).

En el Flanco W del Sinclinal, el afloramiento Extremo Sur predominan las facies Sp (43.45 %) y Gmm (34.76 %) para un total de facies conglomeráticas del 56.55 % y de facies arenosas del 43.45 %; en el afloramiento Tienda La Aurora predomina la facies Gcm (42.98 %) para un total de facies conglomeráticas del 72.8 % y de facies arenosas del 27.20 %; el afloramiento Cerro La Aurora-Cascada con facies Gh (57.38 %) y facies Sh (8.20 %) con pequeños niveles de lodolitas (Fsm) intercalados con los conglomerados; en el afloramiento Pozo LN-2P se aprecia sólo la facies Gh (100%); en el afloramiento Aguas Calientes se presentan facies Gmm (3.62 %), facies Sm (7.25 %), predominando las facies finas Fsm (38.41 %) y paleosuelos (50.72 %) (Figura 126, Anexo 1 y Tabla 18).

En general en los afloramientos del Flanco W predominan las facies gravosas Gcm y Gh con facies arenosas Sp y siendo el afloramiento Aguas Calientes con

mayor predominancia en limolitas (P). Se puede observar una tendencia mayor de facies conglomeráticas en los afloramientos Tienda La Aurora, Cascada y Pozo LN-2P ubicados al SW del Sinclinal (Figura 3). Todas estas facies también se pueden relacionar con barras longitudinales y transversales en ríos trenzados (Tablas 21 y 22).

En los afloramientos Esmeraldas 1 y 2 se observa que Esmeraldas 1 es un 100 % compuesto de arenas St y Sm mientras en Esmeraldas 2 presenta conglomerados de facies Gmm matriz soportado con intercalaciones de areniscas y con un porcentaje considerable de 25.81 % de arenas, además aparecen la facies de lodolitas Fsm (incluyendo paleosuelos), en el afloramiento Aguas Calientes en el Flanco W la facies de lodolitas Fr (incluyendo paleosuelos) aparecen con gran predominancia y éstos dos afloramientos podrían relacionarse a depósitos de planicies de inundación (Tablas 21 y 22).

El total de litofacies conglomeráticas descritas en los 10 afloramientos de estudio son 5: Gmm, Gmg, Gcm, Gh y Gp y las cuales se relacionan en gráficas de facies contra porcentajes, donde se puede resaltar que los afloramientos Vía B/ga-B/bermeja, Altamira, Extremo Sur, Cascada, Pozo LN-2P y Aguas Calientes muestran una tendencia en cuanto a la facies Gh, sin tener en cuenta los afloramientos Aguas Calientes y Altamira que no tienen la litofacies Gh o la tienen en un porcentaje muy pequeño respectivamente, se determina según el patrón de tendencia que la litofacie Gh aumenta hacia el SW del sinclinal en los afloramientos Extremo Sur, Cascada y Pozo LN-2P y que esta tendencia relacionaría los afloramientos Vía B/ga-B/bermeja con Extremo Sur y Cascada por su posición estratigráfica ya que se encuentran en la base o cerca de ella (Figura 124).

En la figura 125 se observa una tendencia similar en los afloramientos Río Sucio, Tienda La Aurora y Esmeraldas 2 con la litofacies Gcm, muestra un aumento creciente en la dirección SW con el afloramiento Tienda La Aurora, además se puede señalar que los afloramientos Tienda La Aurora y Río Sucio tienen en común las litofacies Gcm y Gp pudiendo tener relación debido a que no se

encuentran en la base de la Formación La Paz sino un poco más arriba estratigráficamente.

En la Tabla 18 se observan un total de 12 facies identificadas de las cuales Gmg y St sólo se encuentran en el Flanco E y las facies Sp y Fr sólo se encuentran en el Flanco W, las demás facies se encuentran en ambos flancos. En las columnas estratigráficas (Anexo 1) se presenta la distribución de cada una de estas facies y en las Tablas 18, 19 y 20 muestra la Formación, afloramiento, las facies sus espesores y porcentajes.

En la Figura 126 se observa una tendencia en sentido SW-NE en las facies conglomeráticas, hacia el SW marcan la tendencia las facies Gh, Gcm, Gp en los afloramientos Pozo LN-2P, Cerro La Aurora-Cascada, Extremo Sur y Tienda La Aurora; hacia el NE marcan la tendencia las facies Gp y Gh en los afloramientos Río Sucio, Vía Bucaramanga-Barrancabermeja y Altamira. Todas estas litofacies son ortoconglomerados.

Tabla 17. Porcentajes y espesor de facies de cada afloramiento.

| Total Facies Grupo Chorro | | | Afloramiento | Facies | Espesor Neto (m) | Porcentaje (%) | |
|------------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------|--------------|------------------------|-------------------|-------|
| Gmm | Flanco Este | Formación La Paz | Rio Sucio | Gmm | 0.90 | 12.59 | |
| Gmg | | | | Gcm | 0.20 | 2.80 | |
| Gcm | | | | Gp | 3.25 | 45.45 | |
| Gh | | | | St | 1.6 | 22.38 | |
| Gp | | | | Sm | 1.2 | 16.78 | |
| St | | | Via B/Ga- B/Bermeja | Gmg | 0.98 | 17.16 | |
| Sh | | | | Gh | 4 | 70.05 | |
| Sp | | | | St | 0.73 | 12.78 | |
| Sm | | | Altamira | Gh | 0.3 | 8.57 | |
| Fsm | | | | Sh | 3.2 | 91.43 | |
| Fr | | | Formación Esmeraldas | Esmeraldas 1 | Sm | 0.5 | 20 |
| P | | | | | St | 2 | 80 |
| | | | | Esmeraldas 2 | Gmm | 1.3 | 41.94 |
| | | | | | Gcm | 0.2 | 6.45 |
| | | | | | St | 0.8 | 25.81 |
| | Fsm | 0.3 | | | 9.68 | | |
| | P | 0.5 | | | 16.13 | | |
| | Formación La Paz | Extremo Sur | Gmm | 2.68 | 34.76 | | |
| | | | Gh | 1.45 | 18.81 | | |
| | | | Gp | 0.23 | 2.98 | | |
| | | | Sp | 3.35 | 43.45 | | |
| | | Tienda La Aurora | Gcm | 5.91 | 42.98 | | |
| | | | Gp | 4.10 | 29.82 | | |
| | | | Sp | 3.74 | 27.20 | | |
| | | Cerro La Aurora - Cascada | Gh | 1.05 | 57.38 | | |
| | | | Sh | 0.15 | 8.20 | | |
| | | | Fsm | 0.63 | 34.43 | | |
| | Pozo LN-2P | Gh | 2.3 | 100 | | | |
| | Aguas Calientes | Gmm | 0.5 | 3.62 | | | |
| | | Sm | 1 | 7.25 | | | |
| | | Fr | 5.3 | 38.41 | | | |
| | | P | 7 | 50.72 | | | |
| | Flanco Oeste | Formación La Paz | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Tabla 18. Porcentajes y espesor de facies de las litologías de interés del Flanco E del SNM. El espesor total de los afloramientos asociados a los niveles conglomeráticos de interés del Flanco E es de 21.96 m.

| FACIES | ESPESOR LEVANTADO (m) | % FACIES |
|---------------|------------------------------|-----------------|
| Gmm | 2.20 | 10.02 |
| Gmg | 0.98 | 4.46 |
| Gcm | 0.40 | 1.82 |
| Gh | 4.30 | 19.58 |
| Gp | 3.25 | 14.80 |
| St | 5.13 | 23.36 |
| Sh | 3.20 | 14.57 |
| Sm | 1.70 | 7.74 |
| Fsm | 0.30 | 1.37 |
| P | 0.50 | 2.28 |

Tabla 19. Porcentajes y espesor de facies de las litologías de interés del Flanco W del SNM. El espesor total de los afloramientos asociados a los niveles conglomeráticos de interés del Flanco W es de 39.39 m.

| FACIES | ESPESOR LEVANTADO (m) | % FACIES |
|---------------|------------------------------|-----------------|
| Gmm | 3.18 | 8.07 |
| Gcm | 5.91 | 15 |
| Gh | 4.80 | 12.19 |
| Gp | 4.33 | 10.99 |
| Sp | 7.09 | 18 |
| Sh | 0.15 | 0.38 |
| Sm | 1 | 2.54 |
| Fsm | 0.63 | 1.60 |
| Fr | 5.30 | 13.46 |
| P | 7 | 17.77 |

Figura 124. Porcentajes de facies conglomeráticas en el Grupo Chorro, las cuales presentan tendencias similares.

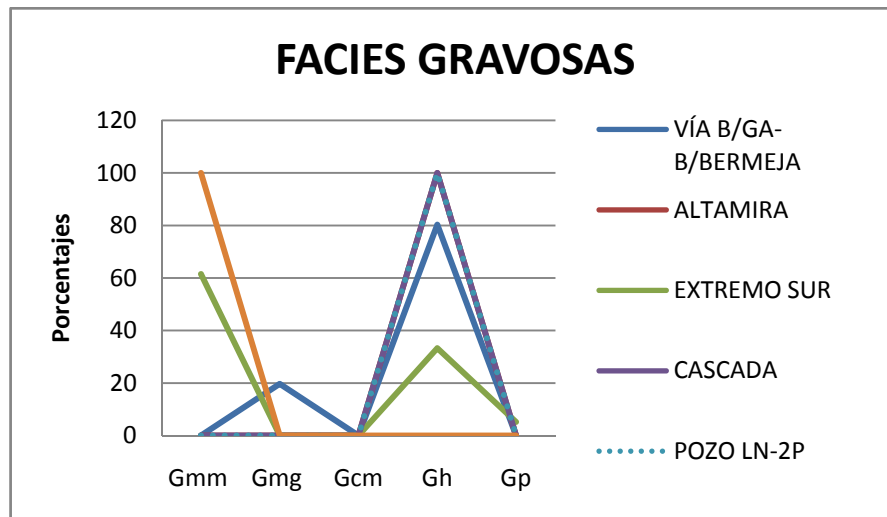
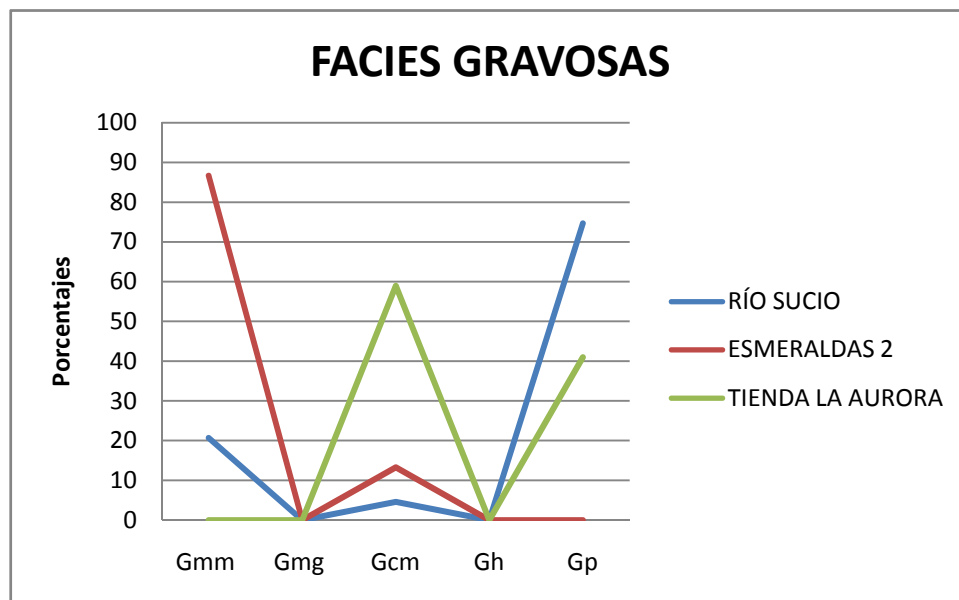
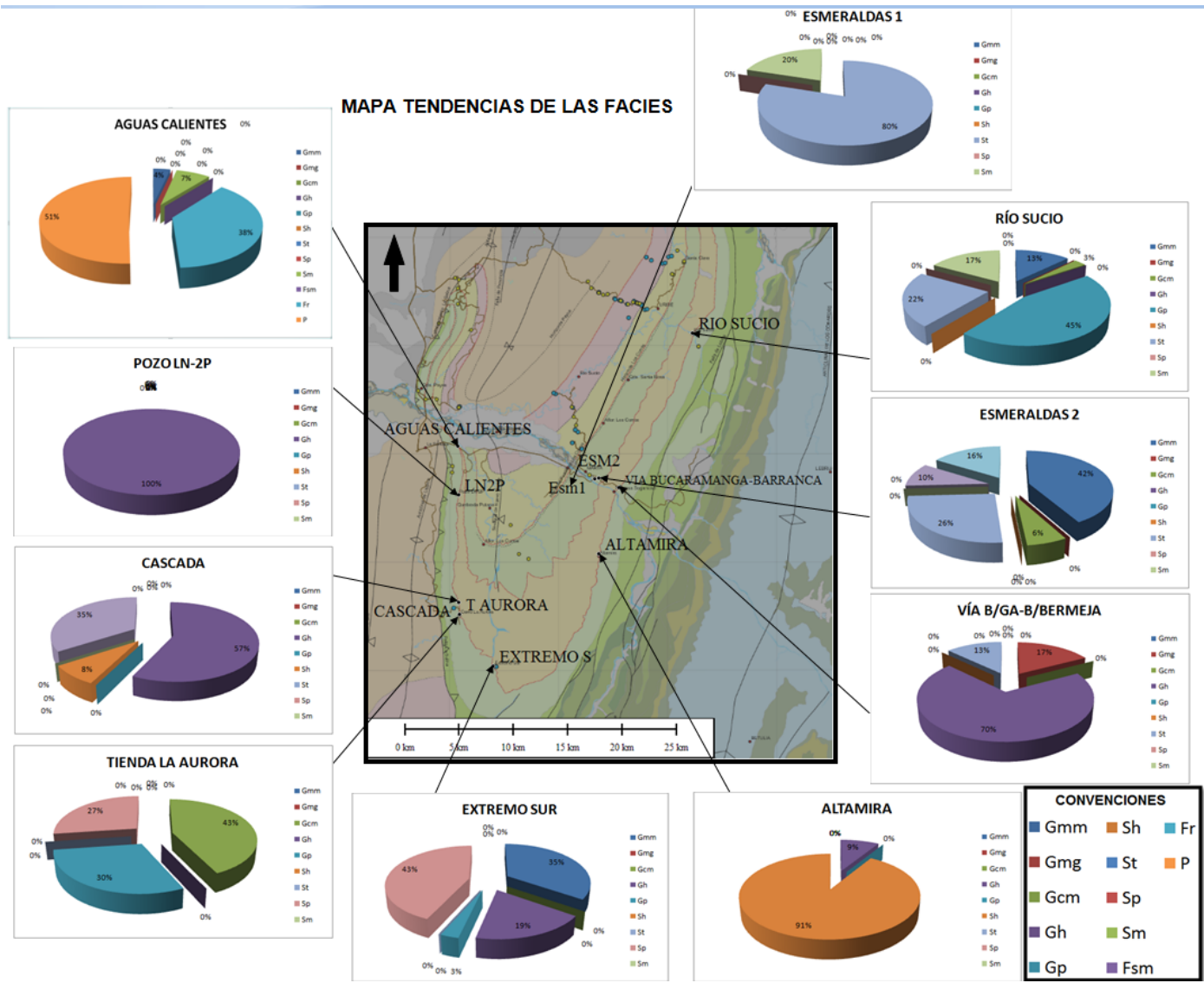


Figura 125. Porcentajes de facies conglomeráticas en el Grupo Chorro, las cuales presentan tendencias similares





8.3.5 Elementos Arquitecturales

En los conglomerados descritos en el Grupo Chorro (Formaciones La Paz y Esmeraldas) en el Sinclinal de Nuevo Mundo se presenciaron elementos característicos como SG (Flujos sedimentarios gravitacionales), GB (Barras y estructuras sedimentarias de gravas), SB (Estructuras sedimentarias arenosas), CH (Canales) y en un menor componente de FF (Sedimentos finos de llanura de inundación), se interpretaron algunos elementos arquitecturales (Figuras 38 y 39) asociados a depósitos fluviales como:

GB (Barras y estructuras sedimentarias de gravas): Estos elementos GB son los más predominantes en los conglomerados estudiados, siendo conformados por barras transversales y longitudinales.

Barra Transversales: Este elemento incluye la litofacies Gp, Gcm, St y en menor cantidad Sp, Sm, Gmm. Este componente ocurre como láminas lateralmente continuas con formas de los cuerpos tabulares a subtabulares con espesores desde 10 cm a 1.60 m, algunos niveles pasan lateralmente de Gp a Sp sin cambiar la geometría pero si la litofacies. Presentan límites de superficies de cuarto orden (Miall, 1996). El elemento SB con litofacies (Sp, Sm, St) se encuentra interestratificado con el elemento GB delineando más claramente las unidades individuales conglomeráticas dentro de la capa.

Barras longitudinales: Este elemento se presenta como láminas o capas de forma tabular a subtabular con límites de superficies de cuarto orden según la clasificación de Miall (1996). Los niveles tienen espesores desde 7 cm a 0.60 m, con litofacies Gh, Gmm, Sh, Sp y en menor proporción Gmg, Gp, St, Fsm. El elemento SB con litofacies (Sp, St) se encuentra interestratificado con el elemento GB delineando más claramente las unidades individuales conglomeráticas dentro de la capa.

El elemento SG compuesto por unidades individuales de litofacies Gmm, Gcm con menor proporción de Gmg, se encuentra interestratificado con GB, presentándose en barras transversales (litofacies Gmm y Gcm) con espesores desde 15 cm hasta

2 m en cuerpos de formas tabulares, subtabulares y lenticulares que no muestran estructura interna sólo gradación.

El elemento SG se encuentra en barras longitudinales con las litofacies Gmm y Gmg con espesores desde 5 cm a 1.50 m con cuerpos de formas tabulares, subtabulares y acuñadas que no muestran estructura interna sólo gradación.

CH (Canales menores): Este elemento tiene la más alta proporción de litofacies arenosa comparada con el resto de elementos conglomeráticos dominantes, incluyendo principalmente la litofacies Sh y en menor cantidad Gh. Este componente ocurre como capas de espesores desde 20 cm hasta 1.20 m con formas de los cuerpos tabulares. Presentan límites de superficies de quinto orden (Miall, 1996). Este elemento con litofacies (Sh) se encuentra interestratificado con el elemento GB delineando unidas conglomeráticas (Gh) presentadas como pulsos de guijos dentro de la capa. El elemento CH puede haberse formado al lado de las barras longitudinales (Smith, 1990 en Finzel y McCarthy, 2005), o pueden resultar de la erosión de la superficie superior de una barra longitudinal existente. Los patrones comunes de relleno en mayores características de este elemento incluye la superficie basal bajo varias facies arenosas que pasan verticalmente a facies gravosas. Esto puede representar la formación de un nuevo canal activo (Miall, 1996).

El elemento FF está compuesto por unidades individuales de litofacies Fsm y P interestratificado en menor proporción con las litofacies St, Sm, Gmm y Gcm. Este elemento forma capas desde 0.30 a 7 m de espesor que se extienden lateralmente, se encuentra en contacto erosivo con las capas de conglomerados (Gmm, Gcm) y areniscas (Sm) con límites de superficies de cuarto orden según Miall, 1996.

Por el espesor más la continuidad lateral de las capas de este elemento es interpretado como depósitos de planicie de inundación (Miall, 1996; Ramos y Sopena, 1983). Estos se producen durante periodos de inundación cuando el agua no es confinada en los canales existentes. Las capas pueden extenderse lateralmente a través de otros depósitos, incluyendo barras longitudinales o

transversales o en canales (Ramos y Sopeña, 1983). Los ríos trezados (braided) con carga de grava y arena cuentan con sistemas de canales que tienden a ocupar la mayor parte de la llanura de inundación del río. En áreas distales a los márgenes del canal, los sedimentos finos de la llanura de inundación son comúnmente intercalados con depósitos de crevasse splay distales (elemento CS), si el espesor de las unidades de arena es pequeño se puede separar con el elemento de clasificación o pueden ser agrupadas con los finos de la planicie de inundación. Durante largos períodos de sequía en las planicies de inundación toman lugar procesos pedogénicos y de desecación que podrían ser importantes y estos elementos ser interestratificados con paleosuelos (Miall, 1996).

8.4 ASOCIACIONES (A) DE FACIES EN EL GRUPO CHORRO SNM

Se identificaron en los niveles conglomeráticos de interés del Grupo Chorro (Formaciones La Paz y Esmeraldas) un total de 12 facies: Gmm, Gmg, Gcm, Gh, Gp, St, Sh, Sp, Sm, Fsm, Fr y P; donde las facies Gmg, St y Fr sólo se encuentran en el flanco E y la facies Sp sólo se encuentra en el flanco W, las demás facies se identifican en los dos flancos (Tablas 18 y 19). Dichas litofacies se asociaron de la siguiente manera:

Tabla 20. Asociaciones de facies de los conglomerados del Grupo Chorro Sinclinal de Nuevo Mundo.

| ASOCIACIÓN (A) | FACIES | ELEMENTOS |
|---------------------------|------------------------------|--|
| A1 | Gmm, Gmg, Gcm | Flujos Gravitacionales de Sedimentos (SG) |
| A2 | Gh, Gp | Barras Long. y Transv. Gravosas (GB) |
| A3 | St, Sp, Sh | Estructuras Sedimentarias Arenosas (SB) |
| A4 | Sm | Flujos Gravitacionales de Sedimentos (SG) |
| A5 | Fsm, Fr | Sedimentos Finos de Overbank (FF) |
| A6 | P | Sedimentos Finos de Overbank (FF) |

Tabla 21. Facies, asociaciones de facies, estructuras y su interpretación del los afloramientos en el Grupo Chorro, SNM (nomenclatura tomada de clasificación de facies Miall, 1996).

| ASO C. | FACIES | ESTRUCTURAS FLANCO E | ESTRUCTURAS FLANCO W | INTERPRETACIÓN |
|--------|--|----------------------------|--|--|
| A1 | Gmm: Grava Masiva Matriz Soportada | No presenta | Presenta algunas imbricaciones de clastos en el afloramiento Aguas Calientes y gradación normal pobre. | Flujo de detritos plástico (alta resistencia, viscoso), éstos son flujos en los cuales la viscosidad es más alta asociada con las altas concentraciones de sedimento. La matriz es cohesiva, y tiene una resistencia adecuada para soportar grandes bloques (Miall, 1996). La presencia de algunas imbricaciones podría indicar que hay una mezcla de litofacies Gmm y Gh. |
| | Gmg: Grava Matriz Soportada | Gradación inversa a normal | Esta facies no se encuentra en el flanco W. | Flujo de detritos pseudoplástico (baja resistencia, viscoso). En concentraciones de sedimento aún más altas el flujo tiene características pseudoplásticas (Miall, 1996). Sustancias que se comportan con viscosidad variable después que el campo de esfuerzo es excedido o sobrepasado y éstos comienzan a fluir (Boggs, 2006). |
| | Gcm: Grava Masiva Clasto Soportada | No presenta | Se observa gradación normal. | Flujo de detritos pseudoplástico baja resistencia, viscoso. (Carga de fondo inercial, flujo turbulento) (Miall, 1996) |

| | | | | |
|----|---|--|---|---|
| A2 | Gh: Grava con Estratificación Horizontal Gruesa Clasto Soportada | Presenta gradación normal pobre, estratificación horizontal cruda vista como alineaciones de clastos e imbricación | | Estructuras sedimentarias longitudinales. Durante episodios de alta descarga de agua y sedimento, láminas crecen hacia arriba y aguas abajo por la adición de clastos para formar láminas de gravas estratificadas horizontalmente (Miall, 1996). Los flujos de detritos hiperconcentrados podrían originar éstos sedimentos. |
| | Gp: Grava con Estratificación Cruzada Planar | Presenta estratificación cruzada planar y gradación normal | | Estructuras sedimentarias transversales (Miall, 1996). Los flujos de detritos hiperconcentrados podrían originar éstos sedimentos. |
| A3 | St: Arena con Estratificación Cruzada en Artesas | Estratificación cruzada en artesa y también pebbles (guijos) formando artesas. Algunas capas presentan a la base guijos dando una tendencia granodecreciente | Esta facies no se encuentra en el flanco W. | Dunas de cresta sinuosa o lingüiforme (3 - D), régimen de flujo bajo (Miall, 1996; Blatt et al, 1980). Los flujos de agua podrían originar éstos sedimentos. |
| | Sh: Arena con Laminación Horizontal | Presenta laminación horizontal y pulsos de guijos alineados | | Flujo de estratificación planar (flujo crítico) (Miall, 1996) La depositación bajo condiciones de capas planas superiores produce una variedad de formas de laminación horizontal, régimen de flujo alto (Blatt et al, 1980). Los flujos de agua podrían originar éstos sedimentos. |

| | | | | |
|-----------|---|---|--|---|
| | Sp: Arena con Estratificación Cruzada Planar | Esta facies no se encuentra en el flanco E. | Presenta Estratificación Cruzada Planar y pulsos de guijos alineados | Estructuras sedimentarias transversales, dunas 2 – D (Miall, 1996). Los flujos de agua podrían originar éstos sedimentos. Estratificación cruzada planar a gran escala es producida por dunas 2 D que son dominadas por depositación de avalanchas en la pendiente en dirección a la corriente, régimen de flujo bajo (Blatt et al, 1980). |
| A4 | Sm: Arena con Laminación Masiva o Poco Clara | Masiva | | Depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales (Miall, 1996). La depositación de flujos de sedimentos de granos o granulares (Grain Flow) se produce en forma rápida y en masa por repentina “congelación”, principalmente como resultado de la reducción del ángulo de la pendiente. Estos depósitos son masivamente estratificados con poca o ninguna laminación interna y gradación excepto posible gradación inversa en la base (Boggs, 2006). |
| A5 | Fsm: Finos (Limo – Lodo) Masivo | Masivo | | Depósitos de pantano o canal abandonado (Miall, 1996) |
| A6 | P: Paleosuelos | Moteado, de gran dureza, raíces | | Suelo con precipitación química (Miall, 1996). |

8.5 SUCESIONES DE FACIES Y AMBIENTE DEPOSITACIONAL

Tabla 22. Sucesiones de facies e interpretación del ambiente sedimentario para las Formaciones La Paz y Esmeraldas (Grupo Chorro) en el Sinclinal de Nuevo Mundo.

| FLANCO | FORMACIÓN | SUCESIONES DE FACIES | AMBIENTE |
|--------|-----------|--|--|
| ESTE | LA PAZ | <p>A1-A2-A3-A4: La formación de barras gravosas transversales podría generar principalmente estratificación cruzada planar (facies Gp) en migración (Hein y Walker, 1977; Walker, 1984). Depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales interestratificados con barras, estructuras gravosas y arenosas (Miall, 1996).</p> | <p>Correspondiente a un ambiente de sistemas de ríos trezados gravosos profundos ("Tipo Donjek" nombre general propuesto por Miall, 1977) según los modelos de facies y estilos fluviales de Miall, 1996 (Figura 127) donde sedimentos tipo gravas y en menor proporción arenas y finos están presentes en este estilo fluvial (Figura 127) con presencia de elementos característicos como GB (Barras y estructuras sedimentarias de gravas), SB (Estructuras sedimentarias arenosas) y un menor componente de FF (Sedimentos finos de llanura de inundación) (Miall, 1996) y dentro de las cuales se</p> |
| | | <p>A1-A2-A3: El material más grueso es concentrado a lo largo del eje central y la base de la barra, y el tamaño de grano tiende a decrecer hacia arriba y aguas abajo. La estructura interna de las barras longitudinales es caracterizada por estratificación horizontal cruda o masiva que puede indicar transporte y depositación bajo condiciones de régimen de flujo alto (Miall, 1978). Rust (1972a) and Gustavson (1974) sugirieron que la migración de barras longitudinales tienden a formar capas horizontales definidas pobremente con una fábrica preferida de ejes de clasto a (transversal) b (imbricado). Smith (1974) también señaló que la "estratificación es predominantemente horizontal irregular o masiva, con imbricación de guijos preservada en muchas secciones". Hein (1974) la mayoría de barras longitudinales y diagonales carecen de buen desarrollo de pendientes de foresets dando lugar a capas horizontales o inclinadas suavemente. (Tomado de Harms, 1975).</p> | |
| | | <p>A2-A3: Estructuras sedimentarias longitudinales (Miall, 1996), pero gran espesor de facies Sh, con depositación de capas planas produciendo formas de laminación horizontal de régimen de flujo</p> | |

| | | | |
|--------------|-------------------|--|---|
| | | alto (Blatt et al, 1980). | caracterizaron las estructuras encontradas en el Flanco E y W del SNM como las barras longitudinales y transversales. Se adaptan a las barras y estructuras sedimentarias de gravas presentes en los Flancos E y W del SNM los estilos propuestos por Smith (1990) para canales trenzados relativamente profundos son los estilos a y b (Figura 126). El elemento GB (Barras y estructuras sedimentarias de gravas) es predominante es este tipo de ríos y puede estar interestratificado con láminas o lentes de flujos gravitacionales sedimentarios (elemento SG) aunque en menor predominancia, éstos eventos de flujos también ocupan pasivamente los canales erosionales existentes o la topografía irregular formada |
| | ESMERALDAS | <p>A3-A4: Campos de dunas 3D (litologías St), característicamente ocupan las partes más profundas de canales activos donde la carga de fondo es predominantemente arena (Miall, 1996). Los depósitos de flujos de granos o granulares son principalmente capas masivas en areniscas (Boggs, 2006).</p> <p>A1-A3-A5-A6: Los depósitos de Crevasse Splays se forman junto a los márgenes de los canales principales, estos depósitos son componentes particularmente importantes de ambientes fluviales anastomosados, pero en ríos trenzados gravosos profundos una planicie de inundación puede o no formar parte significativa del sistema, depende de la anchura del valle y la estabilidad del canal. Los Splays adelgazan y pasan lateralmente al elemento FF (sedimentos finos de llanura de inundación) y este elemento puede estar interestratificado con paleosuelos en donde la desecación de la llanura de inundación se lleva a cabo a largo plazo o de forma estacional tomando importancia los procesos pedogenéticos y de desecación (Miall, 1996). Depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales interestratificados con barras, estructuras gravosas y arenosas (Miall, 1996).</p> | |
| OESTE | LA PAZ | <p>A1-A2-A3: Barras longitudinales compuesta principalmente de la litofacies Gh. Limitada por canales activos y márgenes erodadas. Se desarrolla acreción de clastos vertical resultando disminución en el tamaño de los clastos. La estructura interna de las barras es estratificación horizontal cruda o masiva. La imbricación de clastos puede ser común pero la estratificación cruzada está ausente (Miall, 1981). Las barras transversales están compuestas de arena principalmente, aunque algunos depósitos de gravas con foresets se han registrado. Las litofacies típicas son Sp y Gp (Miall, 1981).</p> | |

| | | | |
|--|--|---|--|
| | | <p>En las partes de los canales más someras, incluyendo los topes y los flancos de los elementos de la macroforma (tales como barras de punto (point bars) y bancos de arena), estructuras transversales y ondas de arena (dunas 2D) son comunes. Estas generan láminas de estratificación cruzada tabular planar (litofacies Sp) (Miall, 1996). Depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales interestratificados con barras, estructuras gravosas y arenosas (Miall, 1996).</p> <p>A2-A3-A5: Barras longitudinales compuesta principalmente de la litofacies Gh. Limitada por canales activos y márgenes erodadas. Se desarrolla acreción de clastos vertical resultando disminución en el tamaño de los clastos. La estructura interna de las barras es estratificación horizontal cruda o masiva. La imbricación de clastos puede ser común pero la estratificación cruzada está ausente (Miall, 1981). Actualmente las lineaciones son comúnmente visibles en planos de estratificación en los depósitos de capas planas superiores (abreviatura de capas planas de régimen de flujo alto) (y también en la pendiente planar en dirección a la corriente de algunas dunas). Además de los lineamientos, el proceso de ruptura es considerado especialmente importante para la formación de la laminación horizontal bajo condiciones de capas planas superiores (Blatt et al, 1980).</p> <p>A2: Barras longitudinales compuesta principalmente de la litofacies Gh. Limitada por canales activos y márgenes erodadas. Se desarrolla acreción de clastos vertical resultando disminución en el tamaño de los clastos. La estructura interna de las barras es estratificación horizontal cruda o masiva. La imbricación de clastos puede ser común pero la estratificación cruzada está ausente (Miall, 1981).</p> | <p>por sucesos de flujos gravitacionales sedimentarios y láminas de inundación más tempranos (Miall, 1996). Esta podría ser la explicación a la presencia de facies como Gmm, Gmg y Gcm.</p> |
|--|--|---|--|

| | | | |
|--|--|---|--|
| | | <p>A1-A4-A5-A6: Depósito de Crevasse Splay ocurre en llanuras de inundación que pueden estar presentes a lo largo de ríos trezados y meandriformes, donde el aumento del agua de inundación rompe el dique natural (Natural Levee) formando canales de desbordamiento (Crevasse Splay) (Boggs, 2006). Los Splays adelgazan y pasan lateralmente al elemento FF (sedimentos finos de llanura de inundación) y este elemento puede estar interestratificado con paleosuelos en donde la desecación de la llanura de inundación se lleva a cabo a largo plazo o de forma estacional tomando importancia los procesos pedogenéticos y de desecación (Miall, 1996). Depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales interestratificados con barras, estructuras gravosas y arenosas (Miall, 1996).</p> | |
|--|--|---|--|

En la Tabla 23 se resume que en los niveles conglomeráticos levantados se observan algunas sucesiones tanto verticalmente como horizontalmente entre afloramientos, de manera más complementaria si se piensa desde el punto de vista de los tipos de flujos. Se puede ver que las facies Gmm, Gcm y Gmg asociadas en general a flujos de detritos, se reemplazan entre sí en los afloramientos donde están presentes, siendo sucedidas probablemente por facies conglomeráticas como Gp, Gh o por facies arenosas seguramente de alta energía como Sh o Sm.

Posteriormente y pudiendo incluso estar asociada a otro tipo de sedimentación fluvial, se presentan sucesiones relacionadas con flujos de agua correspondientes a diversos tipos de dunas, que se muestran en las facies St, Sp y posiblemente Sm, siendo por último reemplazadas estas por facies finas como Fsm, Fr y P.

Tabla 23. Tabla resumen de las facies distribuidas geográficamente por flancos en los afloramientos estudiados en el Sinclinal de Nuevo Mundo. En las columnas de facies y asociaciones se puede observar la sucesión de facies (en colores) tanto horizontal como vertical.

| FLANCO | FORMACIÓN | AFLORAMIENTO | FACIES | ASOCIACIÓN | AMBIENTE |
|------------|---------------------------|-------------------------|-------------|--|--------------------------------------|
| ESTE | LA PAZ | Río Sucio | Gmm | A1-A2-A3-A4 | Barras Transversales |
| | | | Gcm | | |
| | | | Gp | | |
| | St | | | | |
| | Vía Bucaramanga-B/Bermeja | Sm | A1-A2-A3 | Barras Longitudinales | |
| | | Gmg | | | |
| | Altamira | Gh | A2-A3 | Flujo de Estratificación Planar, B. Long. | |
| Sh | | | | | |
| ESMERALDAS | Esmeraldas 1 | Esmeraldas 2 | St | A3-A4 | Dunas 3D-Flujos de Granos |
| | | | Sm | | |
| | Esmeraldas 2 | Gmm | A1-A3-A5-A6 | Planicie de Inundación, Dunas 3D, Flujos de Detritos | |
| | | Gcm | | | |
| St | | | | | |
| OESTE | LA PAZ | Extremo Sur | Gmm | A1-A2-A3 | Barras Longitudinales, Transversales |
| | | | Gh | | |
| | | | Gp | | |
| | | | Sp | | |
| | | Tienda La Aurora | Gcm | A1-A2-A3 | Barras Transversales |
| | | | Gp | | |
| | | Cerro La Aurora-Cascada | Sp | A2-A3-A5 | Barras Longitudinales |
| | | | Gh | | |
| | | Pozo LN-2P | Sh | A2 | Barras Longitudinales |
| | | | Fsm | | |
| | Aguas Calientes | Gh | A1-A4-A5-A6 | Planicie de inundación, Flujos de Granos y de Detritos | |
| | | Gmm | | | |
| | | Sm | | | |
| | | Fr | | | |
| | | P | | | |

Interpretación: En los niveles conglomeráticos estudiados de los afloramientos de interés se identificaron 12 facies principalmente gravosas, seguidas de facies

arenosas y finas en menor proporción, donde las facies Gmm, Gmg, Gcm (A1) correspondieron a elementos SG; las litofacies Gh, Gp (A2) correspondieron a elementos GB; las litofacies St, Sh, Sp (A3) correspondieron a elementos SB; la litofacies Sm (A4) al elemento SG y las litofacies Fsm, Fr (A5) y P (A6) correspondieron a elementos FF (Tabla 20) de este modo según las asociaciones se deduce un ambiente de ríos trenzados gravosos profundos con sus respectivos elementos (GB, SB, FF) ubicados geográficamente en un bloque diagrama según Miall, 1996 (Figura 128). Los elementos GB o SB pueden encontrarse interestratificados con SG lo cual podría indicar su presencia. Se hace la salvedad por el afloramiento Aguas Calientes el cual presenta un gran porcentaje de facies finas (Fr, P) que representarían un ambiente de llanura de inundación predominante que de río trenzado gravoso.

Al relacionar las direcciones de paleocorrientes y las facies indican una fuente desde el SW con facies de depósitos próximos de ríos trenzados gravosos caracterizados por estratificación horizontal (Gh) e imbricaciones predominantemente, con menor cantidad de facies de estratificación cruzada planar (Gp) y facies de arenas (Sp y Sh) (Walker, 1984). Estas facies corresponderían a las asociaciones A2, A3 en el Flanco W de los afloramientos Extremo Sur, Tienda La Aurora, Cerro La Aurora-Cascada y Pozo LN-2P.

Figura 126. Estilos del elemento GB. a Parejas de arenisca con estratificación cruzada en artesa (litofacies St, elemento SB) y conglomerado estratificado horizontalmente (litofacies Gh, elemento GB). b Conglomerado con estratificación cruzada planar (Gp) interestratificado con conglomerado con estratificación horizontal y arenisca (Gh, St) (Smith, 1990). Tomado de Miall (1996).

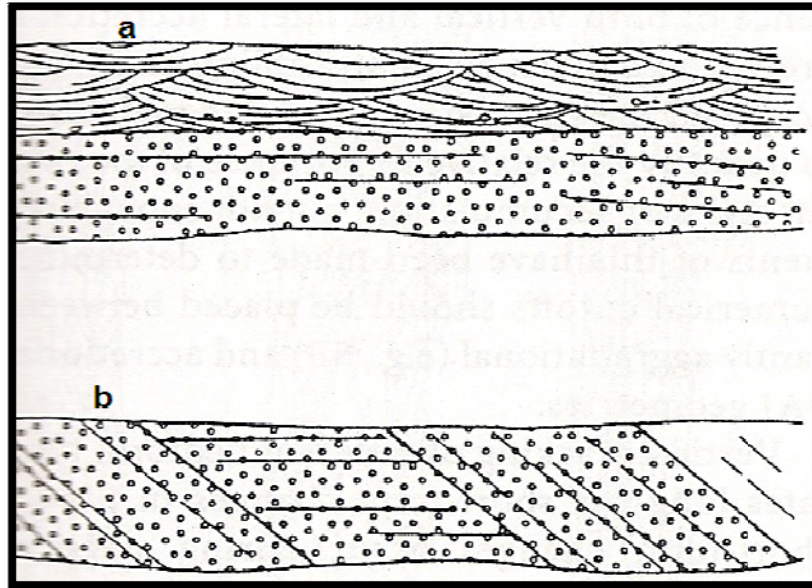
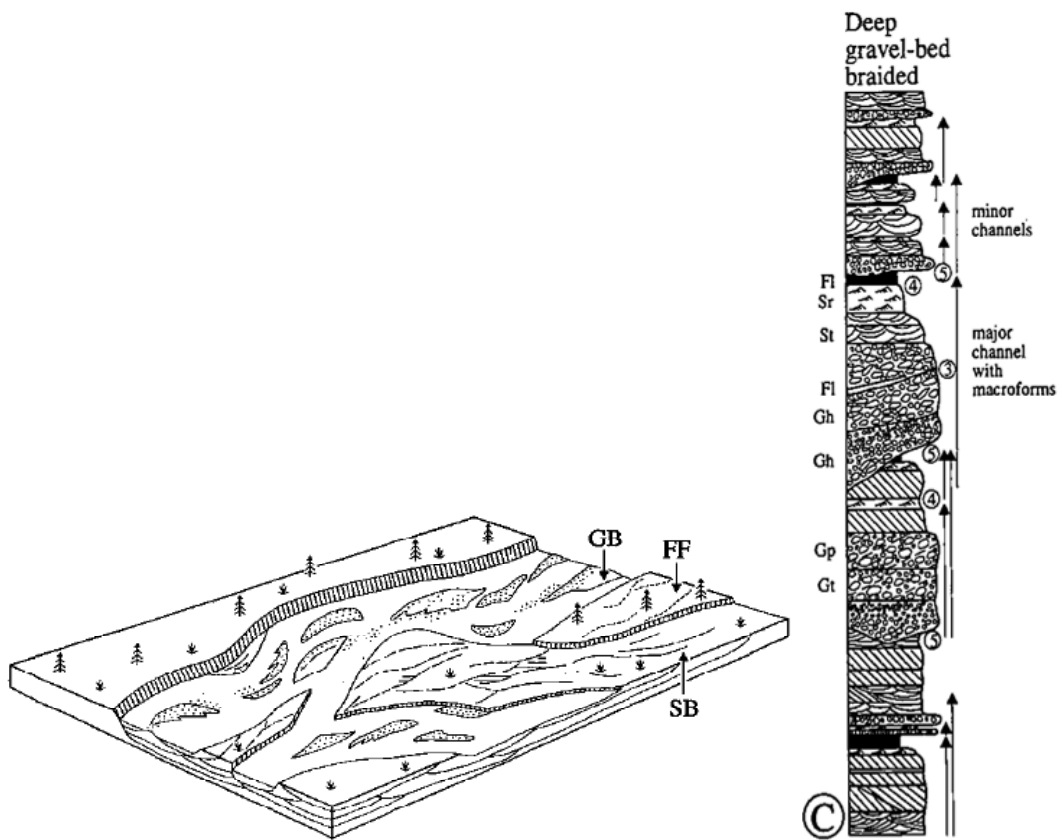


Figura 127. Modelo de ríos trenzados gravosos profundos con niveles topográficos bien definidos. A la derecha conjunto de litofacies fluviales típicas y perfil vertical del estilo fluvial de Ríos trenzados gravosos profundos, perfil C: Flechas verticales indican las sucesiones cíclicas de varios tipos, mostrando dirección de adelgazamiento y fin de la capa, los números en círculos indican el rango limitante de la superficie, los códigos de las litofacies a la izquierda de la columna (Miall, 1985 en Miall, 1996).



8.6 DISTRIBUCIÓN DE PALEOCORRIENTES

Las paleocorrientes en el Grupo Chorro se midieron en 9 afloramientos con facies conglomeráticas, sobre clastos imbricados y estratificaciones cruzadas en artesas y planares (Tablas 24 y 25) distribuidos 7 hacia la base de la Formación La Paz y 2 en la Formación Esmeraldas (Figura 129). Las mediciones para cada afloramiento se describen en el (Anexo 2).

La distribución de paleocorrientes en la Formación La Paz muestra una tendencia hacia el SE, NE y NW del sinclinal, un vector principal en dirección NE, para la Formación Esmeraldas la tendencia es hacia el NW y NE, con un vector principal hacia el NW (Tablas 24 y 25), lo que indica una procedencia predominante desde el SW del sinclinal en su posición actual para los clastos de la Formación la Paz y una procedencia predominante desde el SE para la Formación Esmeraldas, lo cual concuerda de forma parcial con estudios previos donde se reportan direcciones de paleocorrientes hacia el NE para ambas Formaciones (Gómez et al., 2005; Caballero, 2010). Para la Formación Esmeraldas no se realizaron un mayor número de mediciones lo cual repercute en las diferencias con tendencias de estudios anteriores.

Figura 128. Distribución de paleocorrientes en el Grupo Chorro. La tendencia principal es hacia el NE (flecha amarilla). Mapa geológico base (Caballero, 2010).

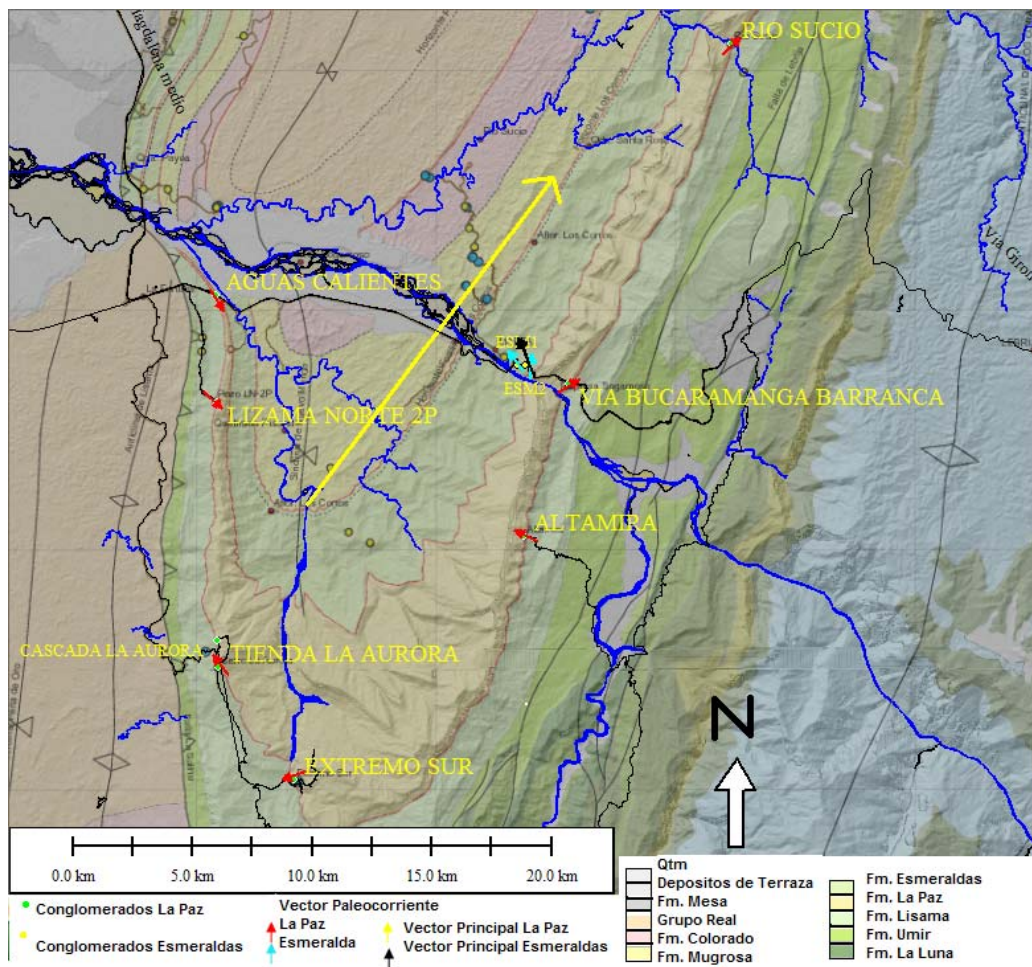


Tabla 24. Resume a manera general los datos de mediciones y direcciones de las paleocorrientes tomadas en los afloramientos del área de estudio.

| AFLORAMIENTOS | ARTESAS/PLANAR | VECTOR PRINCIPAL ARTESAS/PLANAR | # DATOS |
|------------------------|-----------------------|--|----------------|
| RIO SUCIO | ARTESA 1 | 8.7/8.6 | 21 |
| | ARTESA 2 | 22.4/4 | 10 |
| | ARTESA 3 | 48.2/3 | 17 |
| VIA B/GA- B/BERMEJA | | | |
| ALTAMIRA | | | |
| EXTREMO SUR | PLANAR 1 | 317.9/39.8 | 4 |
| TIENDA LA AURORA | | | |
| POZO LN-2P | | | |
| AGUAS CALIENTES | | | |
| ESMERALDAS 1 | ARTESA 4 | 321.5/8.2 | 10 |
| ESMERALDAS 2 | ARTESA 5 | 2.3/1.6 | 10 |

Tabla 25. Resume a manera general los datos de mediciones y direcciones de las paleocorrientes tomadas en los afloramientos del área de estudio.

| AFLORAMIENTOS | IMBRICACION | VECTOR PRINCIPAL IMBRICACION | # DATOS | VECTOR PRINCIPAL DE PALEOCORRIENTES | ESTRATIFICACION (AZ - R) |
|--------------------|-------------|------------------------------|---------|-------------------------------------|--------------------------|
| RIO SUCIO | IMBRI 1 | 128.8/39.6 | 20 | 46 NE | 220/55 |
| | | | | | |
| VIA B/GA-B/BERMEJA | IMBRI 2 | 59.3/69.3 | 41 | 59.3/69.3 NE | 225/35 |
| ALTAMIRA | IMBRI 3 | 295.9/18.4 | 4 | 295.9/18.4 | 190/35 |
| EXTREMO SUR | IMBRI 4 | 178.9/57.3 | 15 | 250 SW | 10/20 |
| TIENDA AURORA LA | IMBRI 5 | 322.6/68.6 | 18 | 322.6/68.6 NW | 320/30 |
| POZO LN-2P | IMBRI 6 | 131.8/76.5 | 10 | 131.8/76.5 SE | 15/40 |
| AGUAS CALIENTES | IMBRI 7 | 148/0.4 | 5 | 148/0.4 SE | 340/60 |
| ESMERALDAS 1 | | | | 321.5/8.2 NW | 205/30 |
| ESMERALDAS 2 | | | | 2.3/1.6 N | 210/25 |

8.7 ESTRATIGRAFÍA DE AREAS FUENTE

Las principales fuentes de sedimentos para la cuenca del valle medio fueron la Cordillera Central y Oriental (Copper et al., 1995; Gómez et al., 2005; Caballero, 2010).

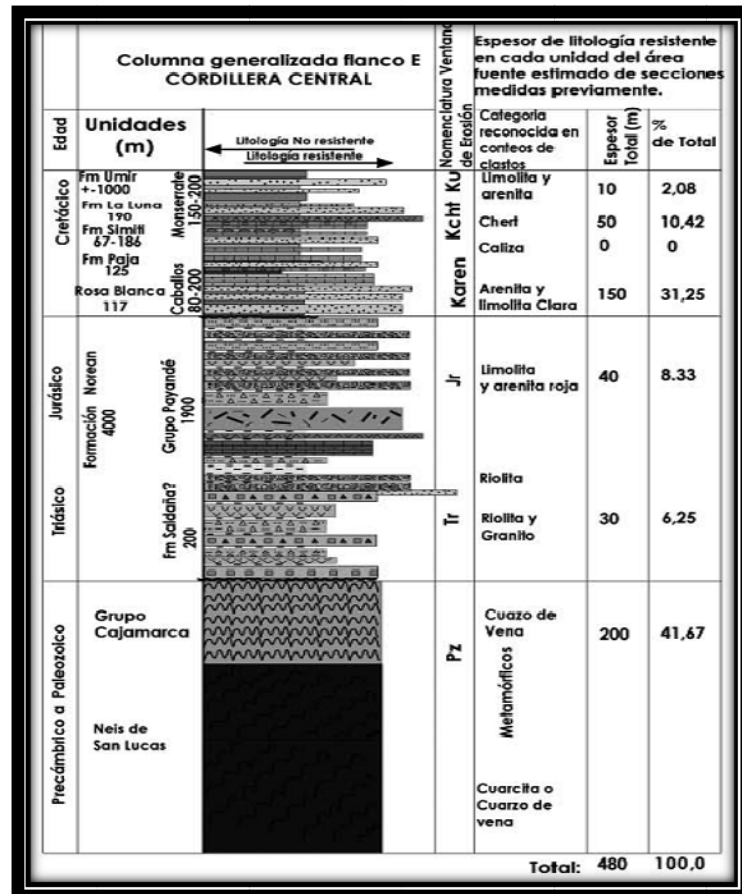
Para el Grupo Chorro la fuente de sedimentos más probable es la Cordillera Central, con base en la composición de los conglomerados, facies y dirección de paleocorrientes y estudios anteriores que indican una fuente de sedimentos al W y SW del sinclinal.

Los tipos de clastos encontrados en los conteos son Cuarzo, Chert, Arenisca, Lodolitas rojas y claras y Cuarcita, en la Figura 130 se observa una columna generalizada de las Formaciones potenciales para generar clastos tamaño grava en la Cordillera Central.

Los clastos más resistentes como la cuarcita y el cuarzo provienen de Formaciones del basamento de la Cordillera Central, las lodolitas rojas provienen

de formaciones del Jurásico como el Grupo Payandé, el Chert proviene de Formaciones Cretácicas como La Luna en las cuales se presentan nódulos de chert que son muy resistentes al transporte y la erosión, las areniscas y lodolitas claras provienen de Formaciones Cretácicas como la Formación Umir (Caballero, 2010).

Figura 129. Columna generalizada de las Formaciones potencialmente productoras de clastos de grava en la Cordillera Central (de Morales, 1958; Ward et al., 1973; Fabre 1981; Etayo-Serna y Laverde, 1985; Butler y Schamel, 1988; Ujueta, 1992; Clavijo et al, 2008; Bogota y Aluja, 1981; Caballero y Sierra, 1991) Tomado de Caballero 2010.





8.8 MODELAMIENTO DE PROVENIENCIA

Para el modelamiento de proveniencia se sigue la metodología de Graham (1986) y Caballero (2010) basados en el marco de referencia del capítulo 4.3 y la estratigrafía de áreas fuente del capítulo 8.8.

Se utilizaron 10 conteos de clastos, 8 en la Formación La Paz y 2 en la Formación Esmeraldas (Tabla 26).

Se hace un recuento sumando los clastos de Cuarzo + Cuarcita, Lodolitas + Areniscas claras, Chert y Lodolitas rojas, esto para realizar la curva modelada acorde a los datos de la Figura 131 y emparejar los datos de forma que se observe si existe una relación entre la curva modelada de la Cordillera Central y la curva modelada para cada afloramiento.

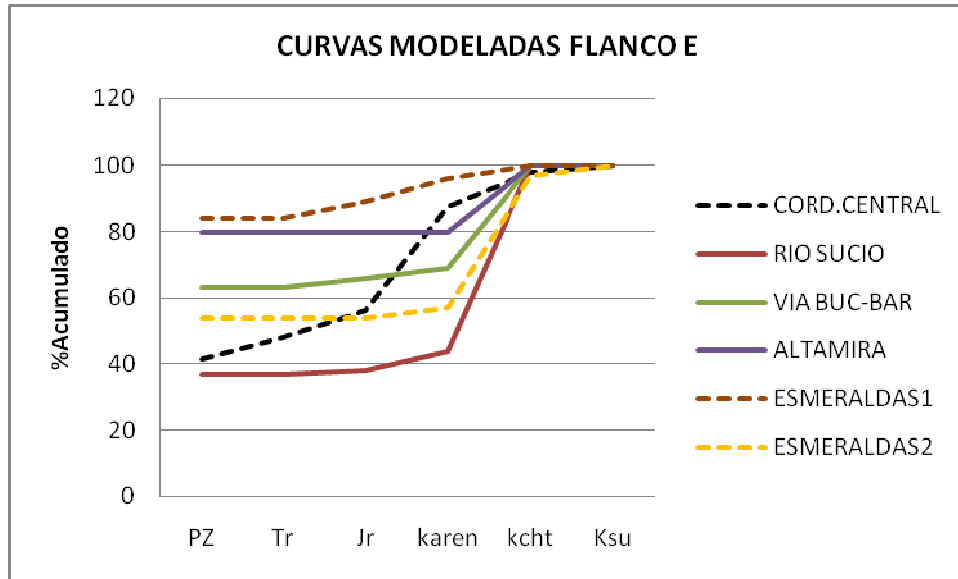
Tabla 26. Porcentajes acumulados para las curvas modeladas de los afloramientos vs Formaciones de la Cordillera Central. Pz: paleozoico, Tr: Triásico, Jr: Jurásico, Karen: Cretácico arenoso Kcht: chert cretácico Ksu: Cretácico superior Umir (Figura 131).

| | PZ | Tr | Jr | karen | kcht | Ksu |
|------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------|------------|
| CORD.CENTRAL | 41,67 | 47,97 | 56,3 | 87,55 | 97,97 | 100 |
| RIO SUCIO | 37 | 37 | 38 | 44 | 100 | 100 |
| VIA BUC-BAR | 63 | 63 | 66 | 69 | 100 | 100 |
| ALTAMIRA | 80 | 80 | 80 | 80 | 100 | 100 |
| EXTREMO SUR | 62 | 62 | 62 | 65 | 100 | 100 |
| TIENDA LA AURORA | 59 | 59 | 59 | 63 | 100 | 100 |
| CASCADA | 52 | 52 | 52 | 52 | 100 | 100 |
| LN2P | 61 | 61 | 61 | 63 | 100 | 100 |
| AGUAS CALIENTES | 46 | 46 | 46 | 46 | 100 | 100 |
| ESMERALDAS1 | 84 | 84 | 89 | 96 | 100 | 100 |
| ESMERALDAS2 | 54 | 54 | 54 | 57 | 97 | 100 |

La Figura 131 muestra la curva modelada para los afloramientos del flanco E del sinclinal, se observa que las curvas de los afloramientos vía Bucaramanga-Barranca, Altamira, Esmeraldas 1 y Esmeraldas 2 presentan una mayor aporte de unidades Paleozoicas que la curva modelada de la Cordillera Central solo el afloramiento de Río Sucio se ubica por debajo de esta, para el aporte de Formaciones Cretácicas las curvas modeladas se ubican por debajo de la curva de la Cordillera central. Lo anterior indica que se subestimo el aporte de clastos como cuarzo y cuarcita de unidades del paleozoico y se sobre estimo el aporte de unidades cretácicas.

La disminución del contenido de cuarzo y cuarcita desde Altamira hasta Río Sucio indica una tendencia en dirección Norte, lo que sitúa un área de aporte al Sur del área de estudio para los conglomerados de este flanco.

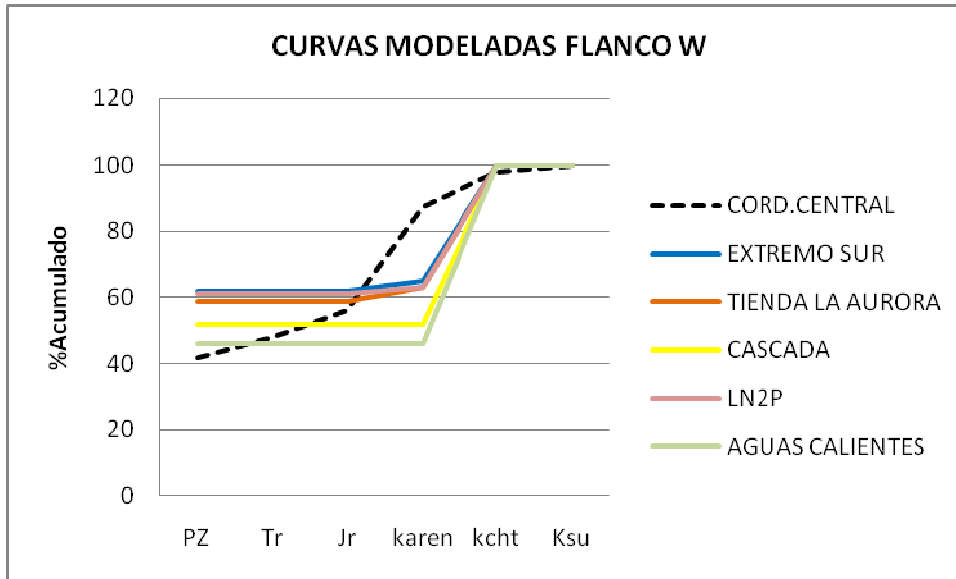
Figura 130. Curvas modeladas Afloramientos Flanco Este y Cordillera Central.



En la Figura 132 se observan las curvas modeladas para el flanco W del sinclinal, las curvas modeladas presentan una mejor relación entre ellas que las del flanco E, los afloramientos en este flanco presentan curvas por encima de la curva modelada de la Cordillera central y presentan una tendencia a la disminución del aporte de cuarzo y cuarcita del paleozoico hacia Norte siendo Extremo Sur el afloramiento más al sur y Aguas calientes el ubicado más al norte. Lo anterior indica una dirección de aporte ubicada al sur del sinclinal para este flanco lo cual concuerda con la dirección S en el flanco E.

Se subestimo el aporte de unidades del Paleozoico y se sobre estimo el aporte de Formaciones Cretácicas al igual que en el flanco E, esto puede indicar que el mayor aporte de clastos Paleozoicos se debe al retrabajamiento dentro de la cuenca que permite una mayor depositación de clastos como cuarzo y cuarcita, contrario a los clastos menos resistentes como areniscas que tienden a distribuirse y tener menores probabilidades de conservación quedando como remanentes en la matriz. De igual forma las curvas modeladas van a perder relación entre ellas a medida que la distancia entre el área de aporte y el área de depositación aumenta, debido a la influencia local y el retrabajamiento.

Figura 131. Curvas modeladas de afloramientos flanco W y Cordillera Central.



La relación de los dos flancos se observa en la Figura 133, los afloramientos Esmeraldas 1, Altamira y Río Sucio se ubican mas dispersos que el resto de afloramientos esto debido a la mayor cantidad de facies arenosas lo cual influyo en la composición al igual que la posición espacial, en el caso de Rio Sucio es el afloramiento más al norte, el afloramiento de Altamira está en una posición estratigráfica superior que el resto de afloramientos que están cerca de la base de la Formación La Paz, debido a que el conglomerado más cercano a la base no se encontró, se tomo un nivel superior que presenta menos contenido conglomerático. Para este afloramiento se presenta un mayor contenido arenoso y los clastos son de menor tamaño. Los afloramientos vía Bucaramanga-Barranca, Extremo Sur, Tienda La Aurora y LN-2P presentan unas tendencias muy similares. En general se observa una relación entre los dos flancos y las tendencias indican una área fuente ubicada al sur de la posición actual del sinclinal, esto concuerda con los datos de paleocorrientes que ubican el área fuente hacia el W- SW del sinclinal (Figura 129) posiblemente de la Cordillera Central o un paleoalto, lo cual concuerda con estudios recientes que indican una proveniencia en estas

direcciones posiblemente de los paleoaltos de Cachira, Infantas o la Cordillera Central (Figura 134) (Caballero, 2010).

Debido a los pocos afloramientos utilizados de la Formación Esmeraldas no se puede dar una afirmación más detallada de la posible procedencia de estos niveles conglomeráticos, las tendencias indican un posible aporte de las dos cordilleras debido a las direcciones de paleocorrientes que tienden al N-NW y la curva modelada en el caso de Esmeraldas 1 no presenta una relación clara con los otros afloramientos ni con la Cordillera central, de acuerdo a Caballero (2010) el área fuente posiblemente procede de las dos Cordilleras o es una bidireccionalidad producto de los cambios faciales en esta formación.

Figura 132. Curvas modeladas conglomerados en todos los afloramientos y la curva modelada Cordillera Central.

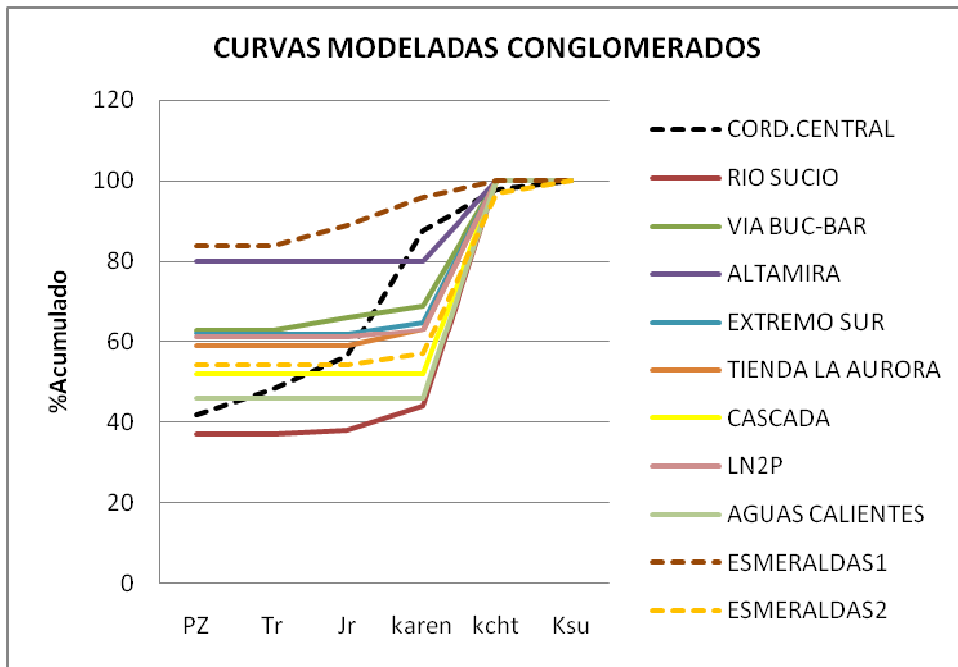
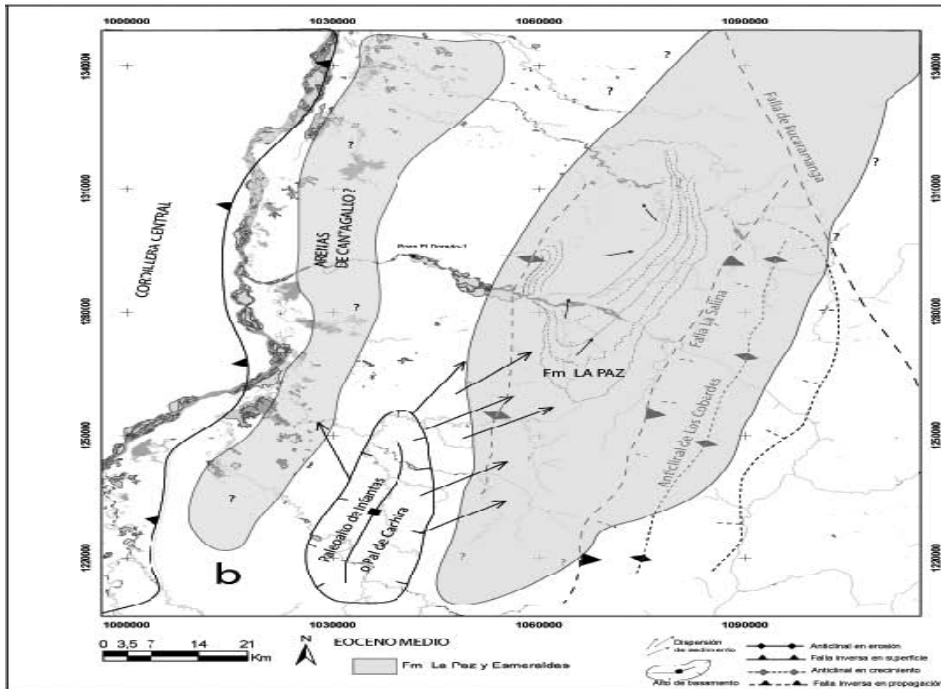


Figura 133. Ubicación área fuente de sedimento para la Formación La Paz. (Tomado de Caballero, 2010).



8.8.1 Diagramas Composición de Conglomerados

Los diagramas composicionales se realizan para determinar las relaciones entre los diferentes afloramientos y determinar a que obedecen los cambios o similitudes encontrados en estos (ver capítulo 4.3).

Para los 10 afloramientos se realizaron diagramas ternarios teniendo en cuenta el tamaño de los clastos, esto debido a que al tomar los diagramas sin tener en cuenta el tamaño se estaría omitiendo el efecto de el tipo de flujo y el transporte que se tiene para un tamaño determinado, de esta manera un rango determinado de tamaño tendrá unas condiciones propias del ambiente que influyen en su composición.

En la Figura 135 se presenta un diagrama ternario composicional para el tamaño guijo fino, se observa como los afloramientos de Rio Sucio, Tienda La Aurora y Extremo sur tienen una composición similar con altos porcentajes de Arenisca,

Chert y Lodolitas y con menor proporción de Cuarzo y Cuarcita, al igual que los afloramientos de la Cascada y Altamira donde los porcentajes son más equitativos para estas litologías, para este tamaño el afloramiento vía Bucaramanga-Barranca no tiene una relación clara con ningún otro afloramiento.

Para el tamaño guijo medio (Figura 136) se observa una composición similar en los clastos entre los afloramientos Vía Bucaramanga- Barranca y Aguas Calientes los cuales se ubican en posición E-W en el sinclinal. Los afloramientos más hacia el norte tienden a aumentar su contenido en cuarzo salvo Río Sucio y Altamira en los cuales también se observa una relación posiblemente relacionada con la abundancia litologías arenosas en estos dos afloramientos. Los afloramientos Esmeraldas 1 y 2 no presentan una clara relación con ningún afloramiento.

La Figura 137 muestra una clara relación para el tamaño guijo grueso en la mayoría de los afloramientos, debido a condiciones de transporte y distribución de los clastos para este rango de tamaño muy similares. Lo cual indica un origen común de los clastos. Excepto Esmeraldas 1-2 y Altamira que no presentan este tamaño guijo grueso.

Para el tamaño guijo muy grueso (Figura 139) los afloramientos Extremo sur, vía Bucaramanga-Barranca y Tienda La Aurora presentan una relación al igual que Aguas Calientes y La Cascada, LN-2P se separa y no presentan una relación muy clara con ningún afloramiento.

En general se observa una composición muy similar para los afloramientos ubicados al sur para la mayoría de los tamaños, de esta forma al aumentar el tamaño los afloramientos se relacionan mas, indicando así que los clastos de mayor tamaño se depositaron primero en el sur y se fueron distribuyendo hacia el Norte.

Figura 134. Diagrama ternario composicional para el tamaño guijo fino (4-8mm). CH=Chert, ARS=Arenisca, LD=Lodolita, CZ=Cuarcita y QZ=Cuarzo.

Figura 135. Diagrama ternario composicional para el tamaño guijo medio (8-16 mm). CH=Chert, ARS=Arenisca, LD=Lodolita, CZ=Cuarcita y QZ=Cuarzo.

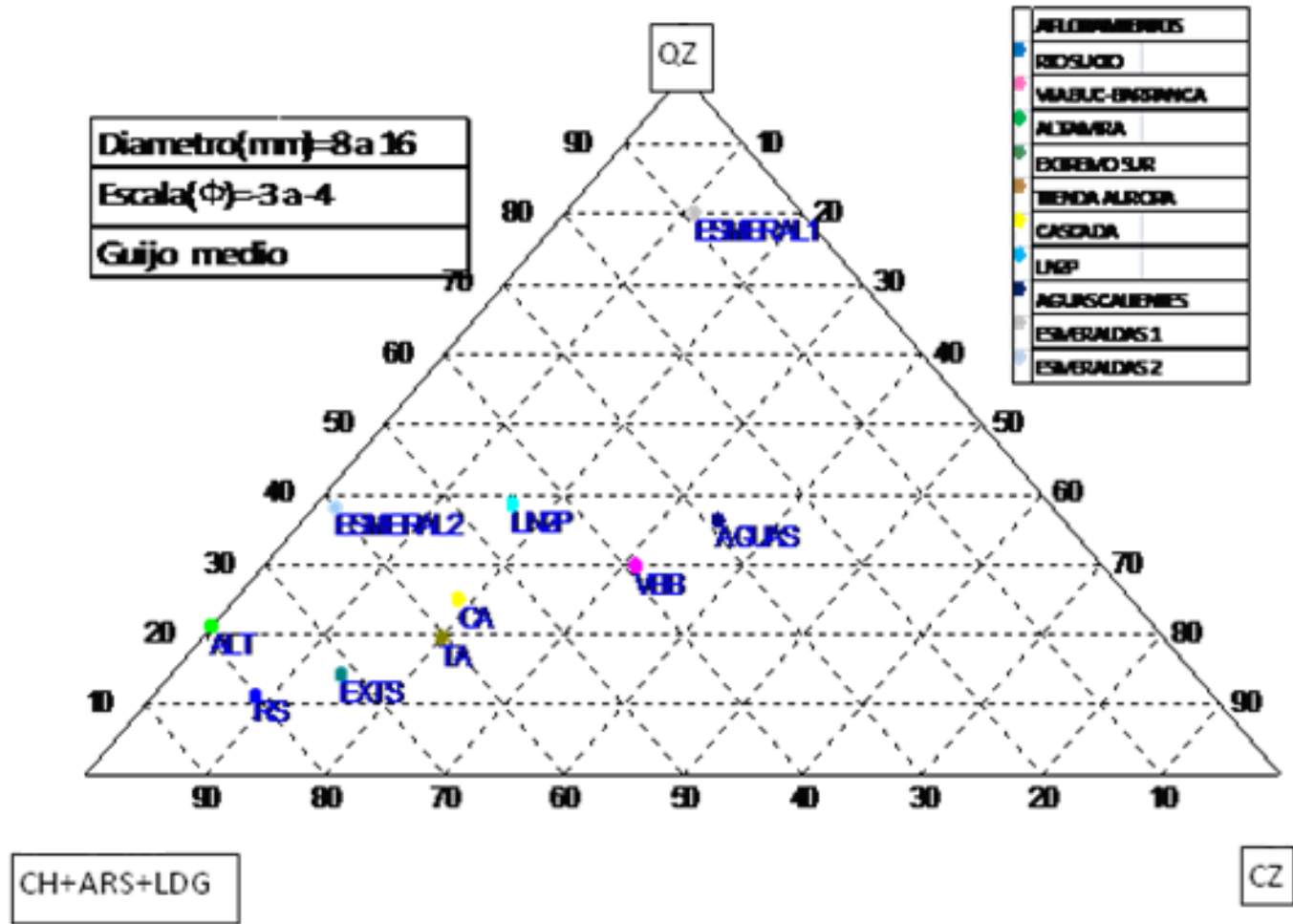
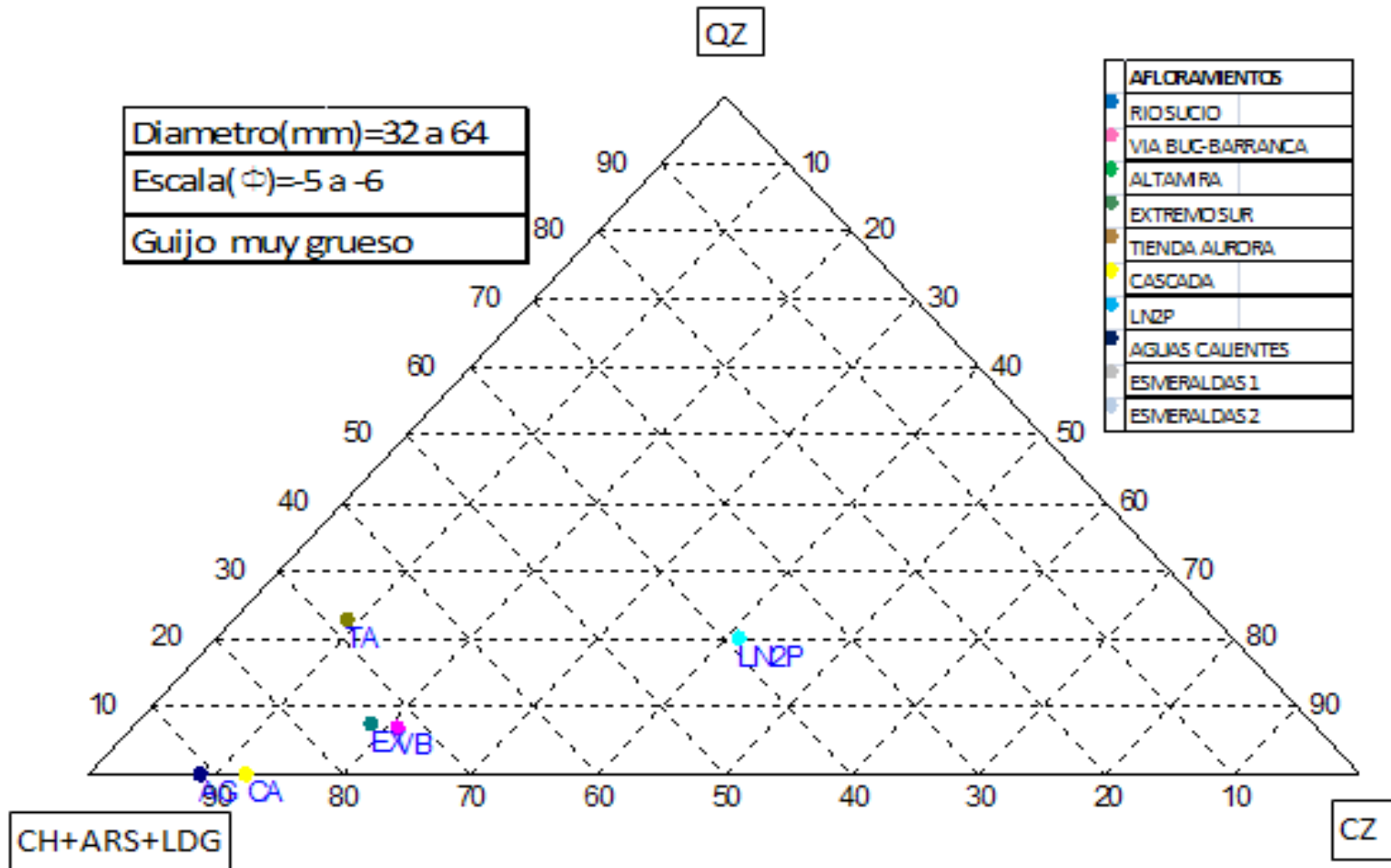


Figura 136. Diagrama ternario composicional tamaño guijo grueso (16-32 mm). CH=Chert, ARS=Arenisca, LD= Lodolita, CZ=Cuarcita y QZ=Cuarzo.

Figura 137. Diagrama ternario composicional tamaño guijo muy grueso (32-64 mm). CH=Chert, ARS=Arenisca, LD=Lodolita, CZ=Cuarcita y QZ=Cuarzo.



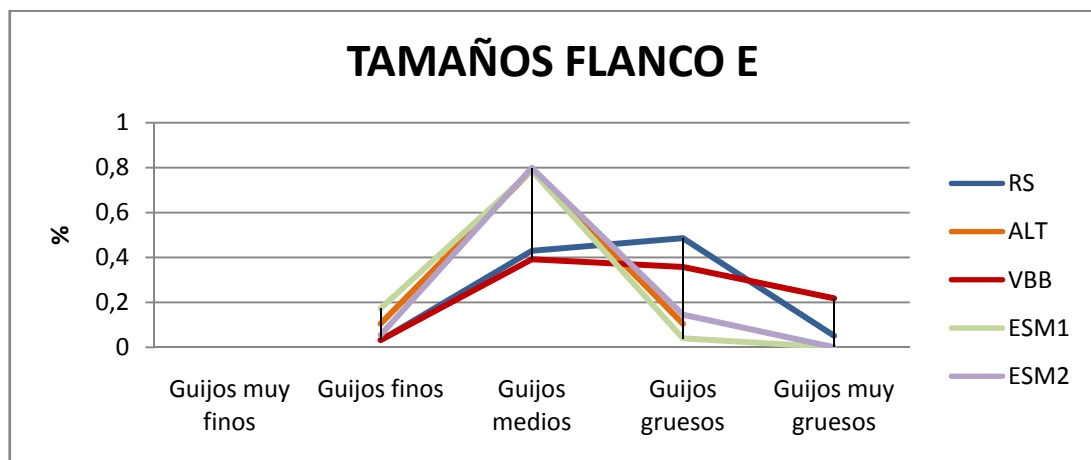
8.9 CORRELACION DE CONGLOMERADOS MEDIANTE INTEGRACION DE RESULTADOS

Para la correlación de los conglomerados se observan los datos de tamaño, forma y composición para cada flanco del sinclinal y para todos los afloramientos además se tienen en cuenta los modelos de proveniencia, paleocorrientes y facies y elementos arquitecturales, con esta información se interpreta la relación o no entre los diferentes afloramientos ya que pueden obedecer dichas similitudes o diferencias.

8.9.1 Tamaño de Clastos

Los tamaños de clastos para los afloramientos del flanco Este (Figura 139) se presentan en 2 grupos unos con predominio de guijos medios en el que se ubican Esmeraldas 1-2 y Altamira. El otro grupo tiene un predominio de guijas medias y gruesas y se ubican en Río Sucio y vía Bucaramanga-Barranca que son los afloramientos más al norte en este flanco, esto concuerda con los diagramas ternarios de composición.

Figura 138. Se aprecian las tendencias de los afloramientos Río Sucio (azul), Altamira (naranja), Vía B/ga-B/bermeja (rojo), Esmeraldas 1 (verde) y Esmeraldas 2 (violeta) en el tamaño de sus clastos.



En el flanco Oeste (Figura 140) la relación es más clara presentando pequeñas diferencias en los afloramientos de Extremo Sur y LN-2P pero con una tendencia en general de finos a gruesos similar para todos.

Tomando todos los datos (Figura 141) se observan dos grupos uno con los afloramientos de Altamira y Esmeraldas1-2 y el otro con el resto de los afloramientos, esto indica que estos grupos de afloramientos están influenciados por procesos sedimentológicos diferentes posiblemente con un mayor transporte que permitió una distribución moderadamente más homogénea del tamaño.

Figura 139. Se aprecian las tendencias de los afloramientos Cerro La Aurora-Cascada (amarillo), Tienda La Aurora (morado), Extremo Sur (verde), Pozo LN-2P (rosado) y Aguas Calientes (celeste), en el tamaño de sus clastos.

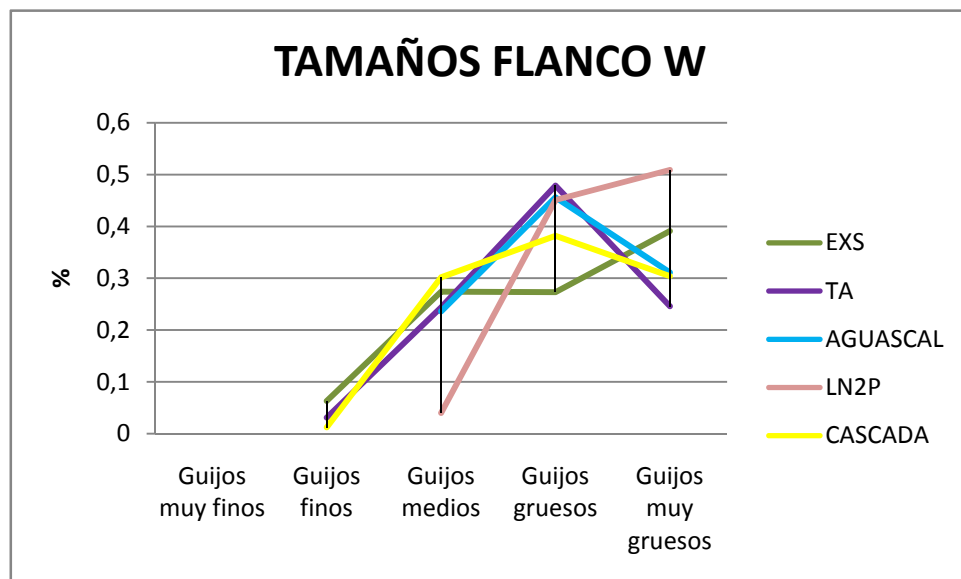
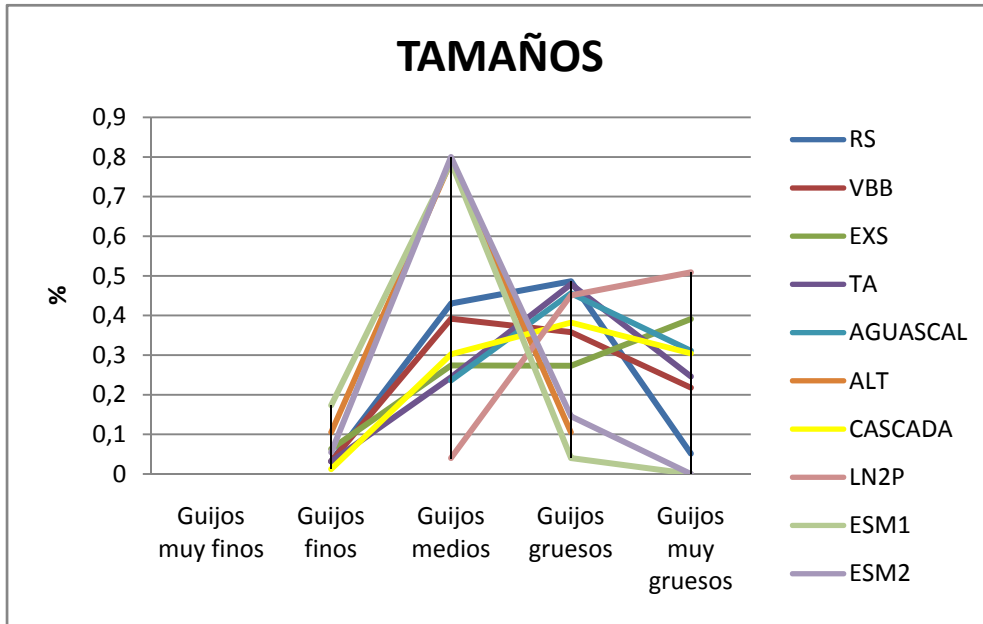


Figura 140. Tamaño clastos de todos los afloramientos.



8.9.2 Formas de los Clastos

Las formas de los clastos en el flanco Este (Figura 142) para los afloramientos Vía Bucaramanga- Barranca y Esmeraldas 1-2, presentan un comportamiento muy similar que puede estar asociado a que los clastos de Esmeraldas1-2 son producto de clastos retrabajados de la Formación La Paz. En el otro grupo se asocian Rio Sucio y Altamira.

Para el flanco Oeste (Figura 143) se observan dos grupos relacionados espacialmente, uno es el de LN-2P y Aguas Calientes (aunque difieren en sus facies) que son los afloramientos ubicados al W-NW del sinclinal y el otro grupo es el de los afloramientos ubicados más al sur del sinclinal que es el caso de Extremo sur, Tienda La Aurora y La Cascada.

Figura 141. Se aprecia la tendencia similar a una forma de M de los afloramientos Río Sucio (rojo), Altamira (naranja), Vía B/ga-B/bermeja (celeste), Esmeraldas 1 (verde) y Esmeraldas 2 (violeta) de las formas de sus clastos.

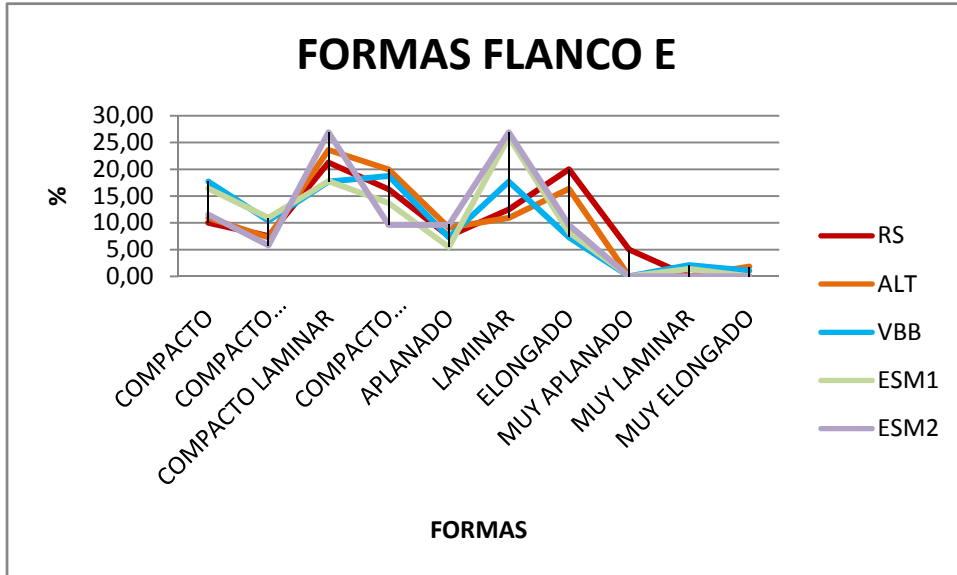
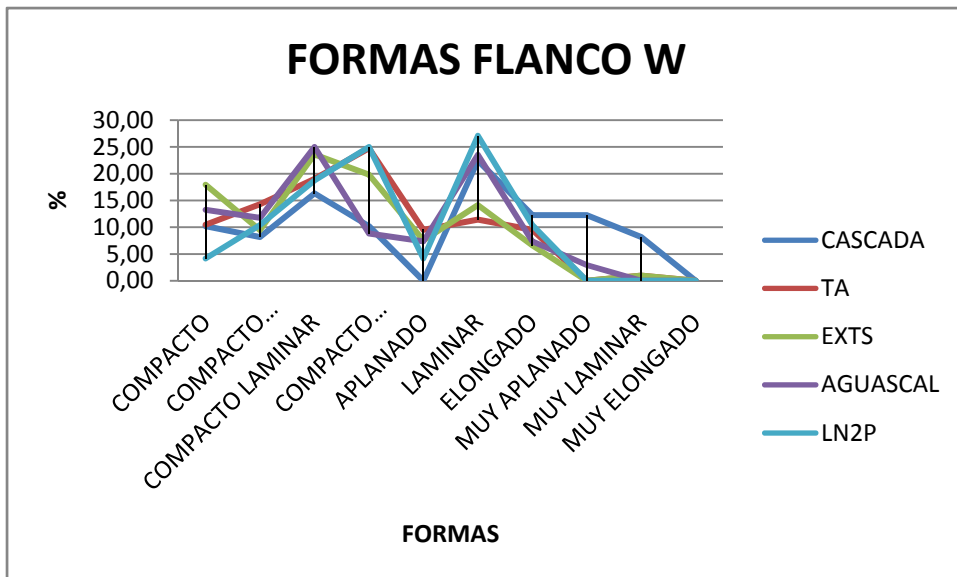
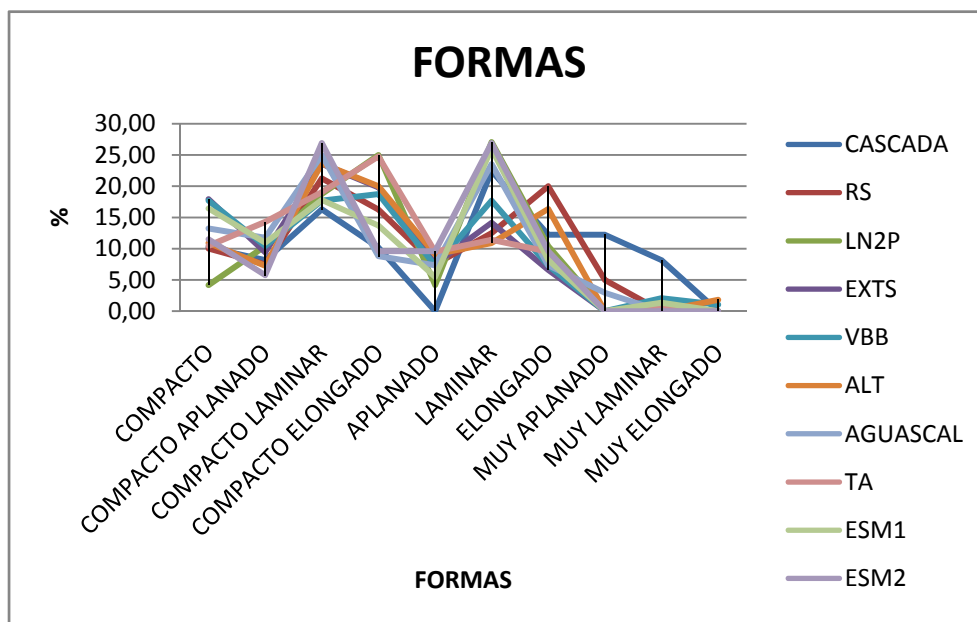


Figura 142. Se aprecia la tendencia a una forma de M de los afloramientos Cerro La Aurora-Cascada (azul), Tienda La Aurora (rojo), Extremo Sur (verde), Pozo LN-2P (celeste) y Aguas Calientes (morado), de las formas de sus clastos.



Los afloramientos presentan tendencias similares con picos en las formas compactas y en las formas laminares a elongadas con caídas en las formas aplanadas (Figura 144), por lo cual el proceso de transporte y el área fuente de estos clastos tuvo que ser de un área común para poder generar unas tendencias tan marcadas en las formas de los clastos, esta área posiblemente se ubique al sur como se describe en el modelamiento de proveniencia.

Figura 143. Formas de todos los afloramientos.



8.9.3 Composición de los Clastos

En el flanco Este (Figura 145) del sinclinal las composiciones son bastante homogéneas, se observa un aumento en el contenido de chert amarillo para los clastos de los afloramientos de la Formación La Paz en dirección S-N, los afloramientos de Esmeraldas tienen diferentes comportamientos entre ellos, con mayor contenido de chert gris en Esmeraldas 2, Esmeraldas1 se comporta muy similar a los afloramientos de La Paz. En el afloramiento Vía Bucaramanga-B/bermeja petrográficamente se tiene el chert criptocristalino, cuarcita, cuarzo de vena y cuarzoarenisca la cual no se reporta en la descripción macro (Anexo 4).

Para el flanco Oeste (Figura 146) se presentan 2 grupos, uno con los afloramientos más cercanos a la base de la Paz o en la base que son La Cascada (base La Paz), Aguas Calientes (base La Paz) y Extremo sur (unos niveles arriba de la base) y el otro grupo Tienda La Aurora y LN-2P.

En el afloramiento Extremo Sur petrográficamente se tiene chert criptocristalino y cuarzo de vena concordante con la composición macro encontrada en éste afloramiento. En el afloramiento Tienda La Aurora petrográficamente se tiene el chert criptocristalino, cuarzo de vena, arenisca sublitica y hay dos variaciones que se habían descrito en macro como cuarzo ahumado, uno resultado chert criptocristalino y el otro resultado cuarzo esquistoso o metamórfico; en general estas composiciones concuerdan con las composiciones descritas macroscópicamente (Anexo 4).

Figura 144. Composición de clastos en el flanco Este.

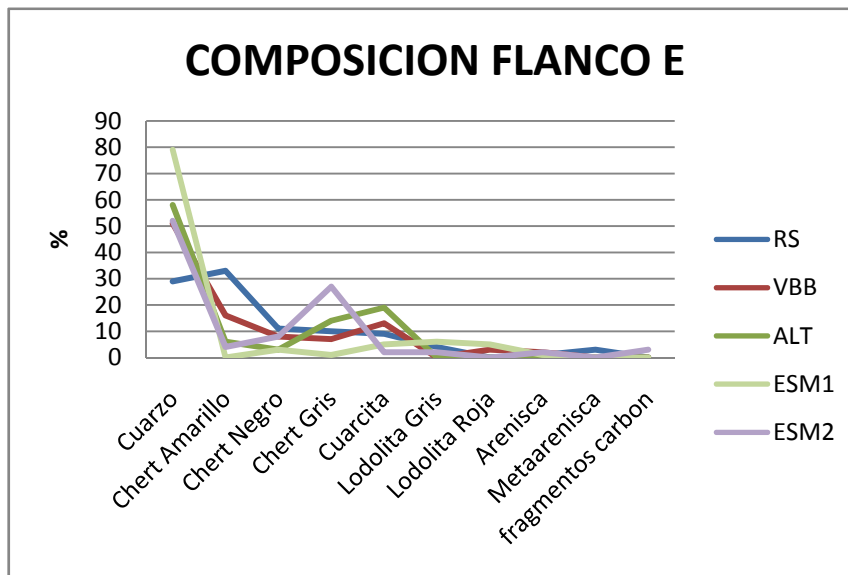
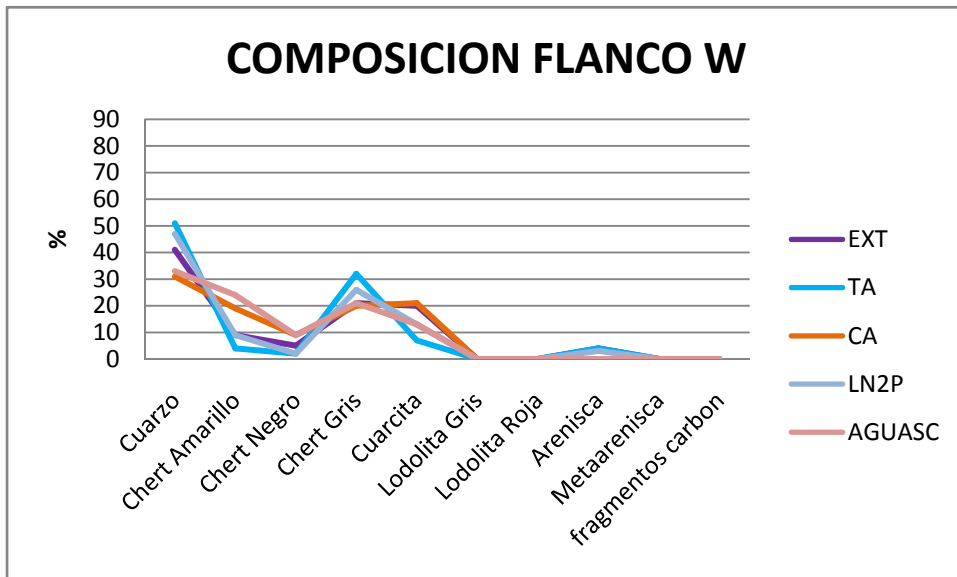


Figura 145. Composición clastos flanco Oeste.

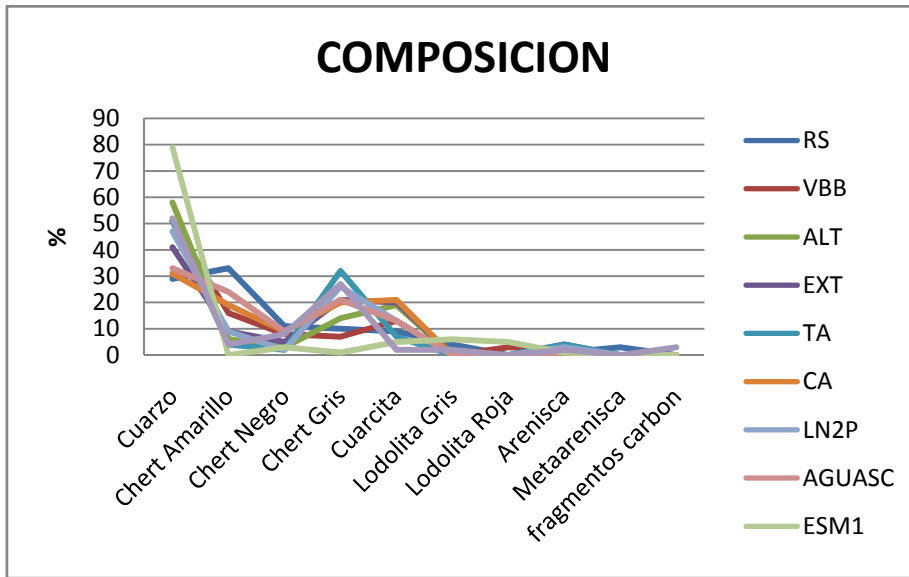


Se observa un mayor contenido de chert amarillo y negro en La Cascada y Aguas Calientes en el resto de afloramientos las tendencias son similares, de igual forma los afloramientos cerca o en la base presentan una mayor composición.

En la composición total (Figura 147) se observa que los afloramientos La Cascada, Aguas Calientes, vía Bucaramanga-Barranca y Rio Sucio presentan un mayor contenido de Chert gris, con una tendencia al aumento en sentido S-N, los afloramientos del flanco Este presentan una cantidad menor de clastos de chert gris a excepción de Esmeraldas 2, Altamira presenta un aumento en el contenido de cuarzita con relación a los otros afloramientos del flanco Este, al igual que la Cascada y Extremo Sur.

En general la composición está influenciada por la posición estratigráfica y la posición espacial, pero los comportamientos en los dos flancos tienen similitudes en su composición que junto con las tendencias en la forma permiten deducir que los afloramientos de los dos flancos tienen una fuente común de aporte y que sus cambios composicionales obedecen a las características propias de cada afloramiento que son: su posición estratigráfica, sus facies y su posición espacial principalmente.

Figura 146. Composición afloramientos ambos flancos.



8.9.4 Mapas de Tendencias

Las tendencias de la distribución de las guijas muy gruesas muestran una tendencia en la disminución del tamaño de grano hacia el NE, lo cual concuerda con el modelamiento de proveniencia y las paleocorrientes que también presentan esta tendencia (Figura 148), la Figura 151 tiene un comportamiento similar en su distribución debido a que los tamaños más gruesos son los que presentan formas menos esféricas y redondeadas.

Para la distribución del espesor de las facies conglomeráticas (Figura 149) se observa un aumento de espesor hacia el SW y NE del sinclinal, en este mapa no se tuvo en cuenta el afloramiento de Altamira debido a que se ubica en una posición estratigráfica por encima de los otros afloramientos de la Formación La Paz y además presenta un contenido de facies gravosas muy bajo lo cual puede cambiar la interpretación para la distribución de estas facies.

Las tendencias de la distribución de las formas muy laminares (Figura 150) que son las formas menos esféricas y redondeadas, es decir aquellas partículas que no han sido transportadas grandes distancias, muestran una tendencia a aumentar

hacia el SW, esto debido a la ubicación de las facies más gruesas en esta área e indica una tendencia del transporte en dirección NE con una disposición de clastos mas esféricos y redondeados hacia el norte.

Para las formas laminares (Figura 151) que son de una esfericidad intermedia, se presentan en mayor proporción al W su contenido disminuye al NE y SE.

En las formas compactas (Figura 152) que son las más esféricas y redondeadas, las tendencias muestran un aumento de las formas compactas hacia el E y SE del sinclinal.

Estas tendencias pueden estar relacionadas con el desarrollo de estratos de crecimiento que han sido los que han formado el acuñamiento en los espesores de esta unidad (Gómez et al., 2005; Caballero, 2010). Debido a que los mayores espesores se ubican hacia el SW y NE del sinclinal (Figura 149) y los menores espesores hacia el NW.

Es posible que a medida que se levantaba la estructura del sinclinal, con un mayor levantamiento en el W-NW, se crearon patrones de drenaje en dirección SE como se observa en los afloramientos de Aguas Calientes y LN-2P, lo cual propicio el retrabajamiento de los niveles de clastos anteriormente depositados generando clastos mas esféricos y redondeados de formas más compactas en dirección contraria al levantamiento y que terminaron acumulándose hacia el E y SE del sinclinal donde el espacio de acomodación era mayor, de igual forma hacia el W-NW el espacio de acomodación era menor lo cual concuerda con el mayor porcentaje de formas muy laminares y laminares (menos esféricas) (Figuras 150 y 151) hacia el W y el mayor porcentaje de formas compactas (más esféricas) hacia el E y SE (Figura 152).

Las tendencias en las formas, tamaños y espesor de facies conglomeráticas, las curvas de proveniencia y las paleocorrientes indican que la Formación La Paz se empezó a depositar primero en el Sur, posteriormente continuo la depositación hacia el Oeste y el Este del Sinclinal.

Figura 147. Tendencia en la distribución de los guijos muy gruesos para los afloramientos de la Formación La Paz.

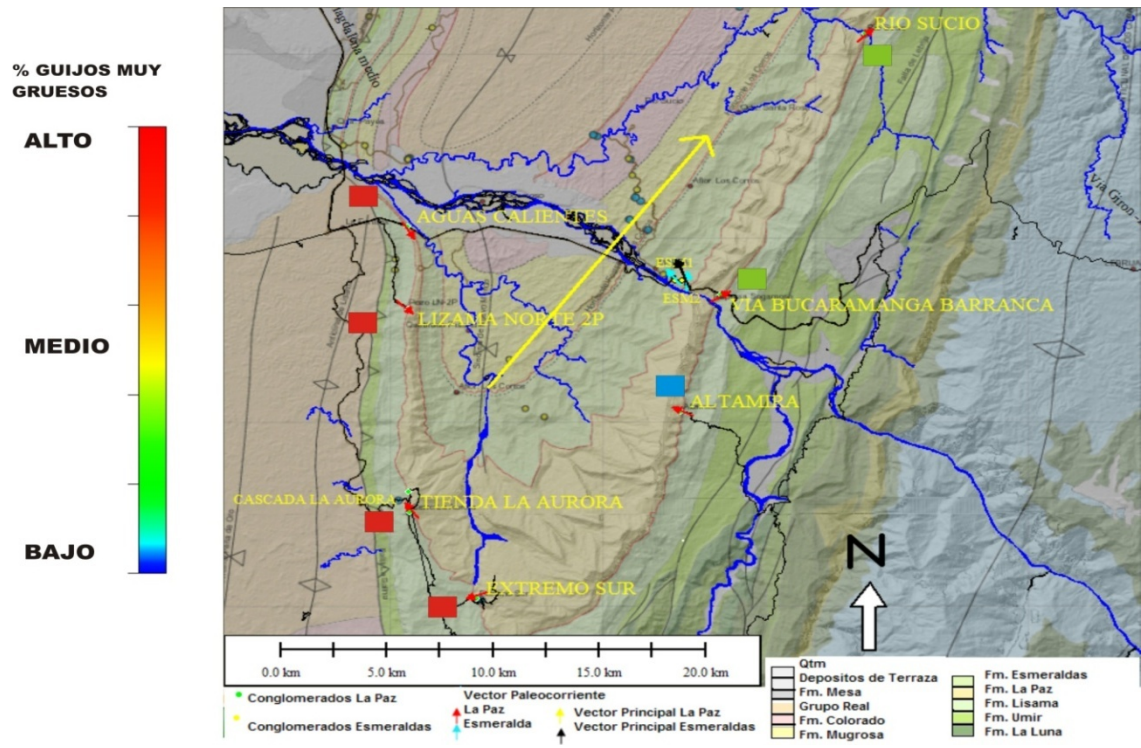


Figura 148. Distribución de espesor de facies conglomeráticas.

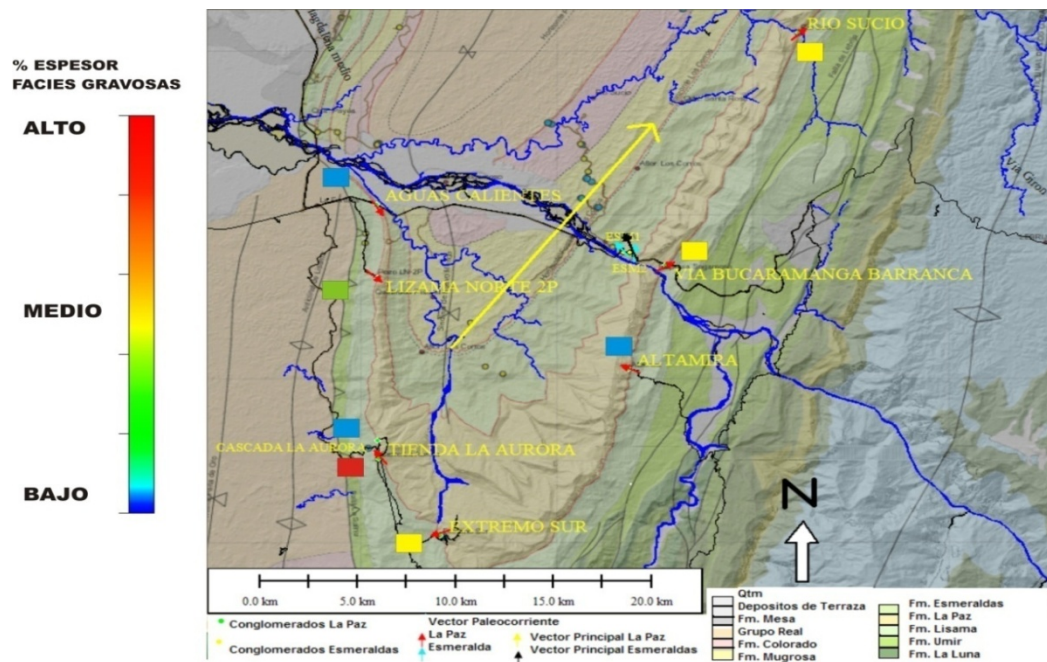
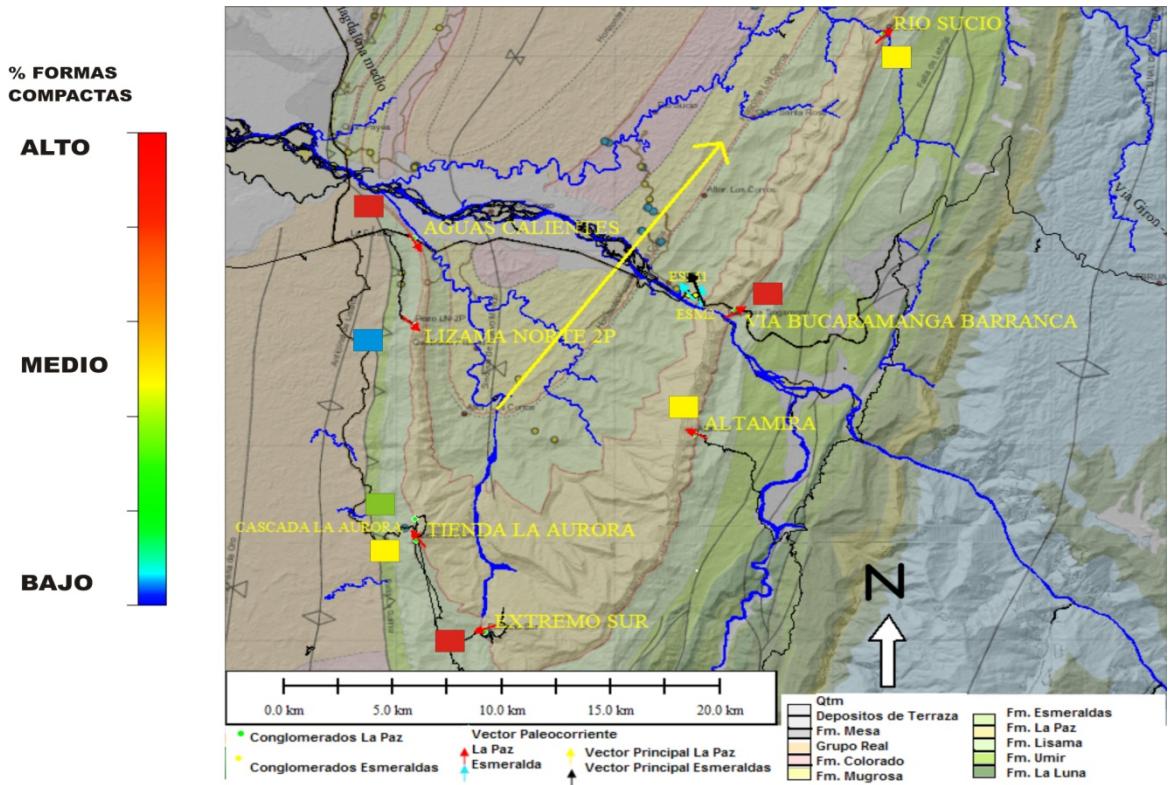


Figura 151. Distribución de formas compactas (más esféricas y redondeadas).



En la Figura 153 y 156 se observa la integración de resultados para la Formación La Paz teniendo en cuenta los análisis de tamaño, forma, composición y ambiente. Las gráficas muestran tendencias similares para los afloramientos de esta Formación siendo las similitudes más notorias en las formas y en la composición, para el caso del tamaño las tendencias unimodales se presentan más en el flanco oeste y las relaciones faciales más claras se observan en dirección oeste - este en los afloramientos de LN-2P, La Cascada, Altamira y Vía Bucaramanga-Barranca. Estas tendencias indican que los conglomerados estudiados fueron depositados por procesos sedimentarios muy similares en un ambiente fluvial de ríos trenzados gravosos en el cual la ubicación espacial, el espacio de acomodación y el levantamiento de la estructura del Sinclinal crearon variaciones en el tamaño, composición, forma, facies y paleocorrientes que propiciaron el desarrollo de una

distribución no uniforme de La Formación evidenciado por su acuífamiento hacia el NW.

Las barras transversales en los afloramientos de Río Sucio, Tienda La Aurora y Extremo sur presentan una composición similar para los tamaños de guijo fino a grueso, las formas predominantes en este tipo de barras son compactas laminares, compactas elongados, elongadasy compactas.

Las barras longitudinales en los afloramientos Vía Bucaramanga-Barranca, La Cascada y pozo LN2P presentan una composición similar para los tamaños de guijo medio y grueso, sus formas predominantes son compactas laminares, compactas elongadas y laminares.

Los Canales menores en los afloramientos de Esmeraldas 1 y 2, presentan un tamaño predominante de guijos medios sus formas principales son laminares, compactas laminares y compactas, los canales en el afloramiento de Altamira presentan guijos medios y sus principales formas son compactas laminares, elongadas y compactas elongadas.

La planicie de inundación en el afloramiento de Aguas Calientes no es propia de una ambiente de ríos trezados gravosos debido a su alto espesor de facies finas , posiblemente porque en el área NW del sinclinal el espacio de acomodación era menor creando secuencias finas más espesas, sin embargo las demás características del afloramiento son similares a las descritas en los otros afloramientos y permiten deducir que presentan un área de aporte similar que fue influenciada por procesos de transporte y depositación que pudieron afectar la homogeneidad de la secuencia en ambos flancos del sinclinal y llevaron a las variaciones faciales, debido al desarrollo de estratos de crecimiento con el levantamiento de la estructura.

En la Figura 154 se observa el mapa de tendencias de las columnas estratigráficas levantadas en los niveles conglomeráticos en el área de estudio, donde se aprecia un mayor espesor de facies gravosas en sentido SW-NE del sinclinal y también el gran espesor de facies finas que presenta el afloramiento Aguas Calientes el cual difiere de los demás afloramientos.

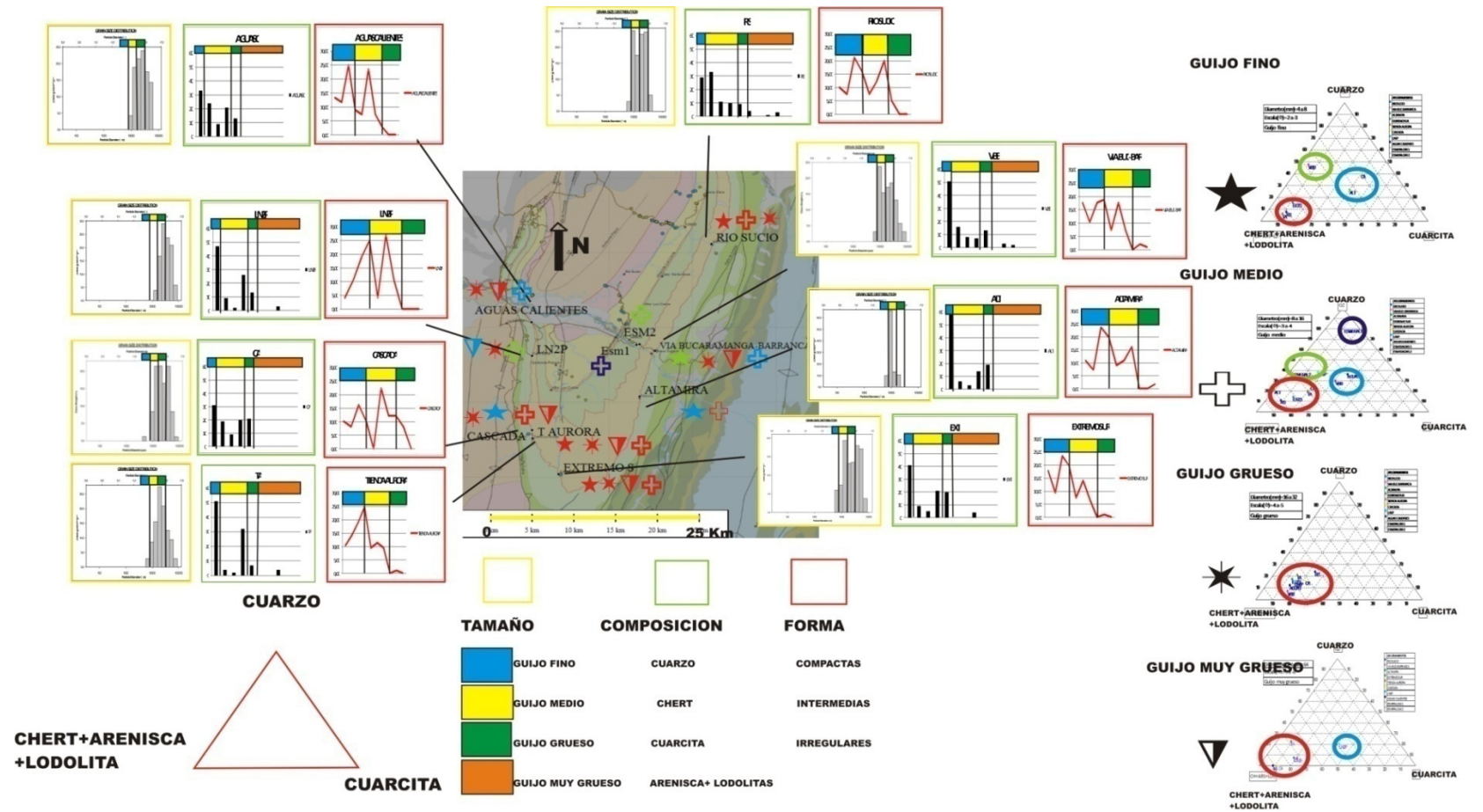
En la Figura 155 se aprecian tres esquemas de comparación planteados entre los afloramientos, donde los esquemas A-A' compara los afloramientos Aguas Calientes – Vía Bucaramanga-B/bermeja, el esquema B-B' compara los afloramientos Extremo Sur – Tienda La Aurora – Cascada – Pozo LN-2P – Aguas Calientes, el esquema C-C' compara los afloramientos Extremo Sur – Altamira - Vía Bucaramanga-B/bermeja – Río Sucio. En estos esquemas no se tiene ningún datum para una posible correlación, sólo se tiene el contacto de las Formaciones Lisama – La Paz en tres afloramientos Cascada, Aguas Calientes y Vía Bucaramanga-B/bermeja. En el Anexo 4 se observa el contacto en el afloramiento Vía Bucaramanga-B/bermeja.

En general se puede observar en los tres esquemas cambios de energía en la secuencia vertical como litofacies gravosas (Gmm, Gmg, Gcm) asociadas a flujos de detritos son reemplazadas por litofacies Gh y Gp, seguidas por litofacies arenosas Sm relacionadas a flujos de granos de alta energía, seguidas por las litofacies St y Sp asociadas a flujos de aguas y finalmente sustituidas por facies finas.

En la Figura 156 se observa la ubicación geográfica de los elementos encontrados en los afloramientos de estudio y su distribución en un sistema de ríos trezados gravosos, las barras longitudinales y transversales se encuentran al SW-NE dando una posible tendencia.

En la Figura 157 se observa una integración de los datos de proveniencia y paleocorrientes los cuales indican un área fuente ubicada al SW del sinclinal.

Figura 152. Integración de resultados para la Formación La Paz. De izquierda a derecha: textura (rectángulos amarillos), composición (rectángulos verdes) y forma (rectángulos rojos). Los triángulos a la derecha indican el tamaño vs composición para los tamaños de guijos finos a muy gruesos.



MAPA DE TENDENCIAS DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

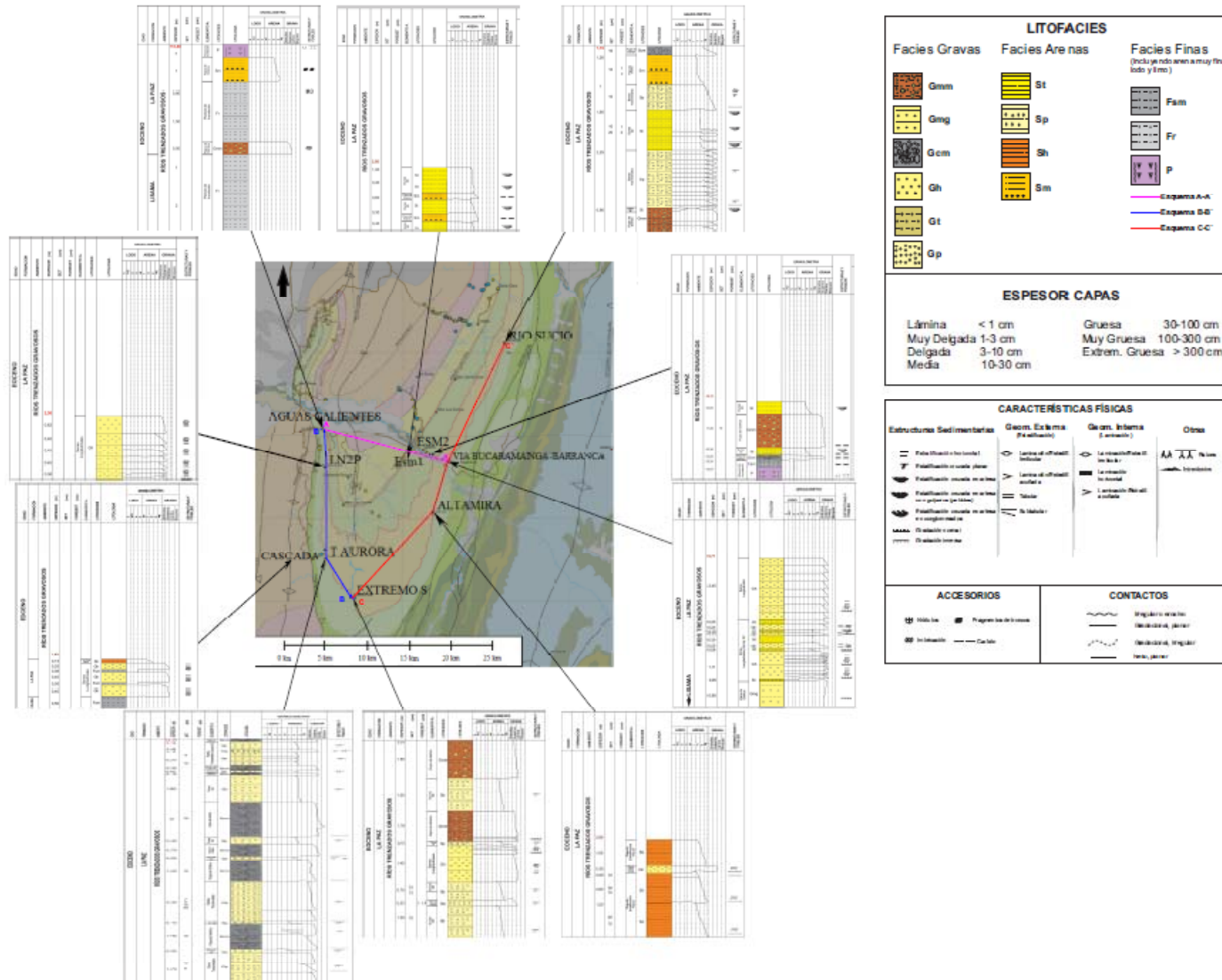


Figura 153. Mapa de tendencias de columnas estratigráficas levantadas en los niveles conglomeráticos de interés en los afloramientos de estudio. (Mapa base tomado de Caballero, 2010).

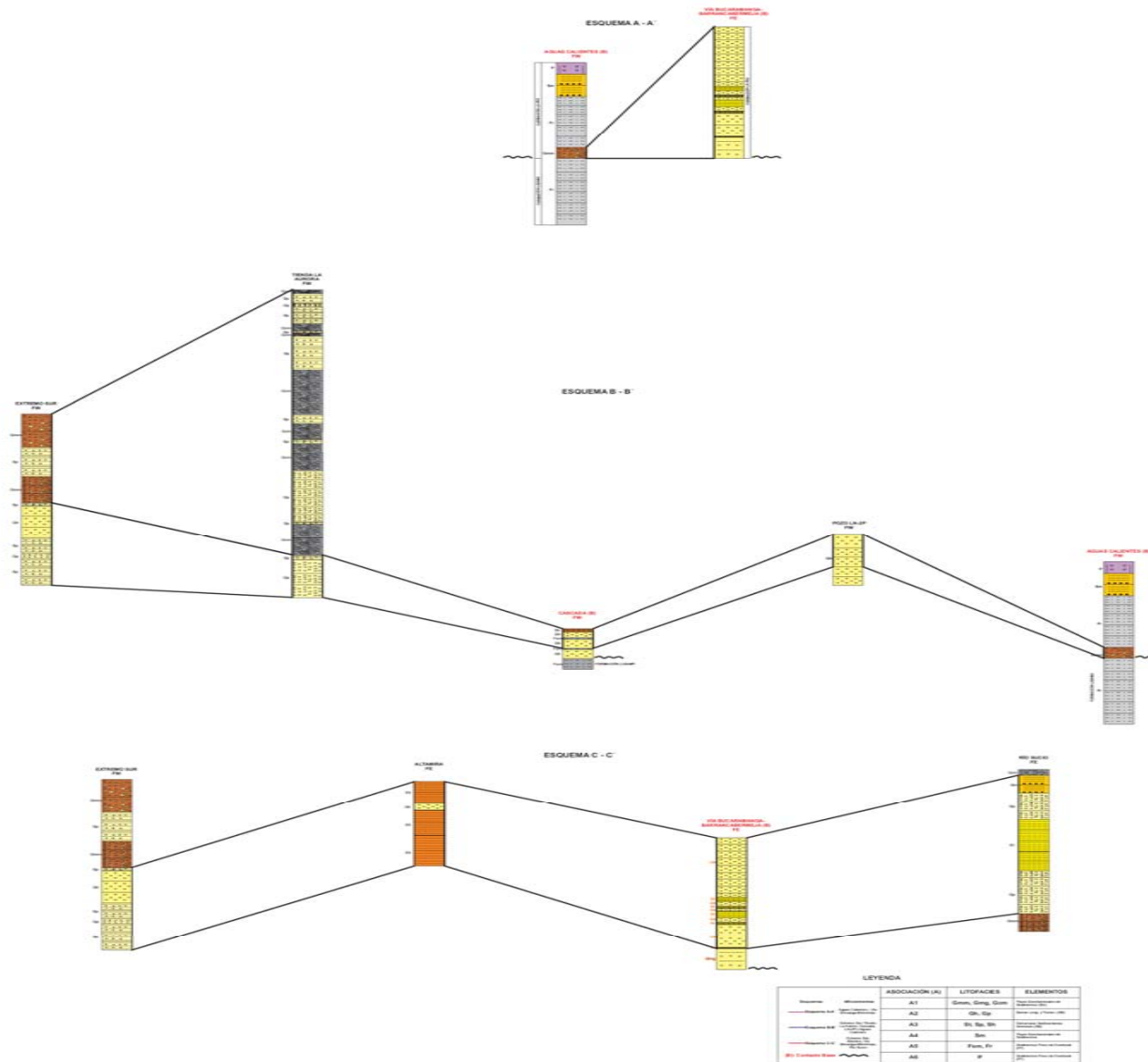
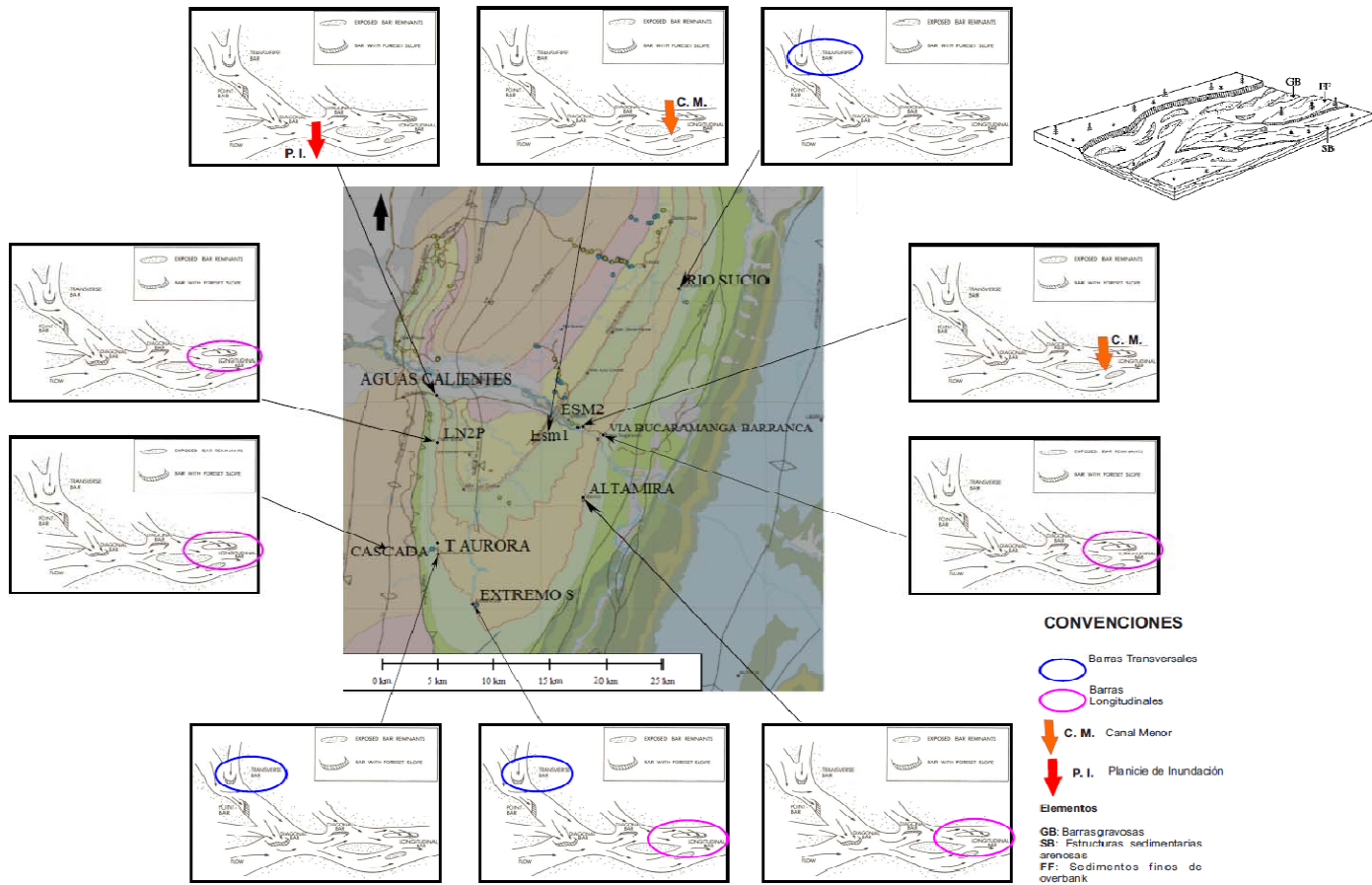


Figura 154. Esquemas planteados de comparación entre los afloramientos de niveles conglomeráticos. Esquemas A-A', B-B' y C-C'.

Figura 155. El mapa muestra la ubicación geográfica de los elementos encontrados en los afloramientos de estudio y su distribución en un sistema de ríos trenzados gravosos.

**MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN UN SISTEMA DE RÍOS
TRENZADOS GRAVOSOS**



CONCLUSIONES

Se identificaron 12 facies principalmente gravosas, seguidas de facies arenosas y finas en menor proporción, donde las facies Gmm, Gmg, Gcm (A1) correspondieron a elementos SG; las litofacies Gh, Gp (A2) correspondieron a elementos GB; las litofacies St, Sh, Sp (A3) correspondieron a elementos SB; la litofacies Sm (A4) al elemento SG y las litofacies Fsm, Fr (A5) y P (A6) correspondieron a elementos FF de este modo según las asociaciones se deduce un ambiente de ríos trenzados gravosos profundos con sus respectivos elementos. Se hace la salvedad por el afloramiento Aguas Calientes el cual presenta un gran porcentaje de facies finas (Fr, P) que representarían un ambiente de llanura de inundación.

Las direcciones de paleocorrientes y las curvas de proveniencia indican un área fuente ubicada al W o SW de la ubicación actual del Sinclinal de Nuevo Mundo que puede ser la Cordillera Central o un paleoalto, el levantamiento de la estructura pudo crear patrones de drenaje en dirección SW como se observa en las paleocorrientes de los afloramientos de Aguas Calientes y LN-2P, estos drenajes pudieron retrabajar los clastos anteriormente depositados dentro de la misma formación, de igual forma las curvas de proveniencia indican un área fuente ubicada al S del sinclinal debido a una disminución del aporte de clastos de cuarzo y cuarcita en dirección norte.

Se presenta un acuñaamiento de los conglomerados hacia el NW del Sinclinal de Nuevo Mundo al igual que tendencias en formas y textura que pueden estar asociados al levantamiento de la estructura y al desarrollo de estratos de crecimiento, indicando un mayor levantamiento en el W-NW, haciendo que se retrabajaban los niveles de clastos anteriormente depositados generando clastos mas esféricos y redondeados de formas más compactas en dirección contraria al levantamiento y que terminaron acumulándose hacia el E y SE del sinclinal donde el espacio de acomodación era mayor, lo cual concuerda con el mayor porcentaje

de formas muy laminares y laminares (menos esféricas) hacia el NW donde el espacio era menor.

Las tendencias en las formas, tamaños, espesor de facies conglomeráticas, las curvas de proveniencia y las paleocorrientes indican que la Formación La Paz se empezó a depositar primero en el Sur, posteriormente continuo la depositación hacia el Oeste y el Este del Sinclinal.

El Toro Shale se encuentra sobre los conglomerados basales de la paz contrario a lo descrito en los estudios anteriores que lo ubican en los primeros niveles de esta formación.

El contacto entre las Formaciones Lisama y La Paz es discordante y erosivo, en su mayoría se encuentra cubierto, el contacto con la Formación Esmeralda es concordante y transicional, varía debido al acuñaamiento de las formaciones, cambiando de esta forma los niveles en contacto a lo largo del Sinclinal.

La Formación La Paz pierde su continuidad hacia el NW del Sinclinal donde la Formación se acuña, presentando una mejor distribución hacia el Sur y el Este del Sinclinal, en los afloramientos de Vía Bucaramanga-Barranca, Aguas Calientes y La Cascada se encontró el contacto con la Formación Lisama, hacia el NW en el afloramiento de Aguas Calientes sobre los conglomerados se observan limolitas síliceas grises denominadas el "Toro Shale" y una capa de arena siendo la única expresión de la Formación en este flanco del Sinclinal, los niveles potentes de areniscas presentes en el flanco Este del Sinclinal no están presentes en el NW del Sinclinal.

Los conglomerados de la Formación La Paz presentan similitudes en todos los aspectos analizados, sus diferencias obedecen a cambios faciales y texturales propios del transporte y depositación de un ambiente de ríos trezados gravosos profundos. En cuanto a la composición de los conglomerados se puede decir que es similar en todos los afloramientos a lo largo del Sinclinal, presentando clastos de cuarzo, chert, areniscas, lodolitas y cuarcita principalmente. El tamaño en el cual se observa una mejor relación de la composición para todos los afloramientos es el de Guijo grueso 16-32 mm. Las formas de clastos presentan una tendencia

similar para los afloramientos con porcentajes mayores en las formas compactas, laminares y elongadas y porcentajes menores en las formas aplanadas, esto permite deducir procesos similares para la depositación de los niveles conglomeráticos de la Formación La Paz en el Flanco Este y el Oeste. Exceptuando en ambiente al afloramiento Aguas Calientes donde las asociaciones de facies indican un sistema de corrientes mucho más tranquilas con menor espacio de acomodación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda un estudio detallado macro y micro de las lodolitas presentes en el Sinclinal de Nuevo Mundo, ya que están presentes con frecuencia en el sinclinal, esto para determinar los procesos pedogenéticos que las están o las han afectado. Estas lodolitas son muy similares en sus características físicas y causan confusión a la hora de determinar contactos y correlación de litofacies.

Realizar un estudio estratigráfico a los afloramientos Altamira y Cerro La Aurora-Cascada más extenso ya que al afloramiento Altamira no se llegó a la base del contacto de la Formación Lisama con La Paz por un acceso muy complicado y riesgoso en época de invierno y el afloramiento La Cascada no se pudo levantar sino una pequeña parte del gran espesor que tiene este afloramiento también por motivos de invierno, se recomienda ir en época de verano ya que por el medio de este afloramiento pasa un corriente de agua.

BIBLIOGRAFÍA

Aguiar, Y. y Reyes, J. P. 1982. Estudio Estratigráfico del Grupo Chorro en el Sinclinal de Nuevo Mundo e Interpretación del Programa Sísmico Nuevo Mundo-80 (Ecopetrol, 1981). Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia, 65p.

Barrero, D., Pardo, A., Vargas, C. A., And Martínez, J. F. 2007. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposals. Agencia Nacional de Hidrocarburos, 92p.

Blatt, H. G., Middleton, G. V. y Murray, R. 1980. Origin of Sedimentary Rocks (Second Edition) Prentice-Hall, New Jersey, 782 p.

Blott, S. 2008. A Grain Size Distribution And Statistics Package For The Analysis Of Unconsolidated Sediments By Sieving Or Laser Granulometer. GRADISTAT Version 6.0.

Boggs, S. Jr. 2006. Principles of Sedimentology and Stratigraphy, Fourth Edition, Pearson, Prentice Hall, New Jersey, 662p.

Boggs, S. Jr. 2009. Petrology of Sedimentary Rocks. Second Edition. Cambridge University Press, 600p.

Brookfield, M.E. 2004. Principles of Stratigraphy. Blackwell Publishing, Oxford, 340p.

Caballero, V. M. 2010. Evolución Tectono-sedimentaria del Sinclinal de Nuevo Mundo, Cuenca Sedimentaria Valle Medio del Magdalena – Colombia, Durante el Oligoceno – Mioceno. Tesis de Maestría, Universidad Industrial de Santander, 148p.

Cant, D. J. 1982. Fluvial facies models and their application. In Scholle, P. A., and Spearing, D. R., eds., Sandstone depositional environments. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 31: 115-137.

Catuneanu, O., Khalifa, M. A. y Wanas, H. A. 2006. Sequence stratigraphy of the Lower Cenomanian, Bahariya Formation, Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt. *Sedimentary Geology*, Elsevier, 190: 121–137.

Cooper, M. A. et al., 1995. Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bulletin*, 79(10): 1421–1443.

De la Cruz, R. 1988. Stratigraphy of the Tertiary of the Middle Magdalena Basin (Colombia), Central and Northern Parts. Faculty of the Graduate School of The University of Texas at Austin.

De Porta J. 1974. *Lexique Stratigraphique International: Amérique Latine*. Colombia. Volume V. Fascicule 4b. Union Internationale des Sciences Géologiques. Paris, 692p.

Decelles, P. G. And Langford, R. P. 1983. Two New Methods of Paleocurrent Determination from Trough Cross-Stratification. *Journal of Sedimentary Petrology*, 53(2): 0629-0642.

Dickinson, W. R. 1985. Interpreting Provenance Relations from Detrital Modes of Sandstones. G. G. Zuffa (ed.), *Provenance of Arenites*, pp. 333-361.

Dickinson, W. R. And Suczek, C. A. 1979. Plate Tectonics and Sandstone Compositions. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63(12): 2164-2182.

Einsele, G. 1992. *Sedimentary Basins: Evolution, Facies, and Sediment Budget*. Springer-Verlag, Berlin, 628p.

Finzel , E. S. y McCarthy, P. J. 2005. Architectural analysis of fluvial conglomerate in the Nanushuk Formation, Brooks Range Foothills, Alaska.State of Alaskam Department Of Natural Resources.Division of Geological & Geophysical Surveys. Fairbanks, Alaska, pp. 1-18.

Folk, R. L. 1980.Petrology of Sedimentary Rocks.Hemphill Publishing Company, Austin, Texas; 184p.

Gómez, A. y Suárez, A. 2009. Determinación de la Procedencia de los Conglomerados de La Formación La Paila entre los Municipios de Cartago y Buga en el Departamento del Valle del Cauca. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Programa de Geología, Manizales, 200p.

Gomez, E., Jordan, T. E., Allmendinger, R. W., Hegarty, K., And Kelley, S.2005. Syntectonic Cenozoic Sedimentation in the Northern Middle Magdalena Valley Basin of Colombia and Implications for Exhumation of the Northern Andes. Geological Society of America Bulletin, 117(5/6): 547-569.

Graham, S. and Midgley, N. 2000. Graphical Representation Of Particle Shape Using Triangular Diagrams: An Excel Spreadsheet Method. Technical Communication.Earth Surf.Process. Landforms 25, 1473–1477.

Graham, S. A., Tolson, R. B., Decelles, P. G., Ingersoll, R. V., Bargar, E., Caldwell, M., Cavazza, W., Edwards, D. P., Follo, M. F., Handschy, J. F., Lemke, L., Moxon, I., Rice, R., Smith, G. A., And White, J. 1986. Provenance Modelling as a Technique for Analysing Source Terrane Evolution and Controls on Foreland Sedimentation.Spec. Publs int. Ass. Sediment, California – USA, pp. 425-436.

Harms, H. C., Sothard, J. B., Spearing, D. R., And Walker, R. G. 1975. Depositional Environments as Interpreted from Primary Sedimentary Structures and Stratification Sequences, Dallas, Texas; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, pp. 133-161.

Howard, J. L. 1993. The statistics of counting clasts in rudites: as review, with examples from the Palaeogene of southern California: *Sedimentology*, 40: 157-174.

Mackenzie, W. S. y Adams, A. E. 1997. Atlas en Color de Rocas y Minerales en Lámina Delgada. Masson, S. A. 215p.

Mackenzie, W. S. y Guilford, C. 1992. Atlas de Petrografía, Minerales Formadores de Rocas en Lámina Delgada. Masson, S. A. 98p.

Miall, A. D. 1977a. A review of the braided-river depositional environment: *Earth Science Reviews*, reprinted by permission of Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 13: 1-62.

Miall, A. D. 1985b. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits: *Earth Science Reviews*, 22: 261-308.

Miall, A. D. 1992. Hierarchies of architectural units in terrigenous clastic rocks: a framework for the analysis of fluvial deposits: 29th International Geological Congress, Kyoto, Japan, Abstracts, 2: p. 293.

Miall, A. D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer – Verlag, Berlin Heidelberg. New York, 582p.

Mrinjek, E. 1993a. Conglomerate fabric and paleocurrent measurement in the braided fluvial system of the Promina Beds in northern Dalmatia (Croatia).–*Geol. Croat.*, 46(1): 125–136.

Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*, Second Edition. Wiley-Blackwell. UK, 419p.

Nie, J., Horton, B. K., Mora, A., Saylor, J. E., Housh, T. B., Rubiano, J., and Naranjo, J. 2010. Tracking exhumation of Andean ranges bounding the Middle

Magdalena Valley Basin, Colombia. *The Geological Society of America*, 38(5): 451-454.

Otero, M. I. 2001. Modelamiento y Evolución Estructural del cierre del Sinclinal de Nuevo Mundo y su Utilidad en el Procesamiento Sísmico. Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander, 100p.

Passchier, C. W. y Trouw, R. A. J. 2005. *Microtectonics*. Second Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 366p.

Patiño, M. A. 2008. Definición de un Modelo Geoestadístico Basado en Objetos a Partir de los Modelos Estratigráfico y Petrofísico de la Formación Mugrosa en el Campo Llanito de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Tesis de Grado, Universidad Industrial de Santander, 230p.

Pettijohn, F.J. 1975. *Sedimentary Rocks*. 3ª Edition. Harper & Row, New York, 628 p.

Ramos, A. y Sopena, A. 1983. Gravel bars in low-sinuosity streams (Permian and Triassic, central Spain). In: Collinson, J.D., and Lewin, J. (Eds): *Modern and Ancient Fluvial Systems: Special Publication of the International Association of Sedimentologists*, 6: 301-312.

Reading, H. G. 1996. *Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy*. Third Edition. Blackwell Science Ltd. 669p.

Reineck, H. E. y Singh, I. B. 1980. *Depositional Sedimentary Environments, With Reference to Terrigenous Clastics*. (Second Edition). Springer-Verlag, New York, 549p.

Royero J. M. y Clavijo J. 2001. Mapa geológico Generalizado del Departamento de Santander, escala 1:400.000, Memoria Explicativa. Instituto de Investigación, Minero-Ambiental y Nuclear INGEOMINAS, 92p.

Selley, R. C. 2000. Applied Sedimentology. Second Edition. Academic Press, London, 523p.

Schamel, S. 1989. Middle and Upper Magdalena Basins, Colombia. Earth Science and Resource Institute, University of South Carolina, Columbia, pp. 283-301.

Sneed, E. and Folk, R. 1958. Pebbles In The Lower Colorado River, Texas, A Study Of Particle Morphogenesis. Journal of Geology 66(2):114–150.

Stow, D. A. V. y Dorrik, A. V. 2005. Sedimentary Rocks in the Field: a Color Guide: London, Manson Publishing Ltd, 320p.

Suarez, M. 1996. Facies Analysis of the Upper Eocene La Paz Formation, and Regional Evaluation of the Post-Middle Eocene Stratigraphy, Northern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. Faculty of the Graduate School of the University of Colorado, Department of Geological Sciences, Boulder, 88p.

Tucker, M. E. 2003. Sedimentary Rocks in the Field, Third Edition. Department of Geological Sciences, University of Durham, UK. Wiley, 249p.

Walker, R. G. 1984. Facies Models, Second Edition. Geoscience. Canada, Reprint Series 1, 318p.

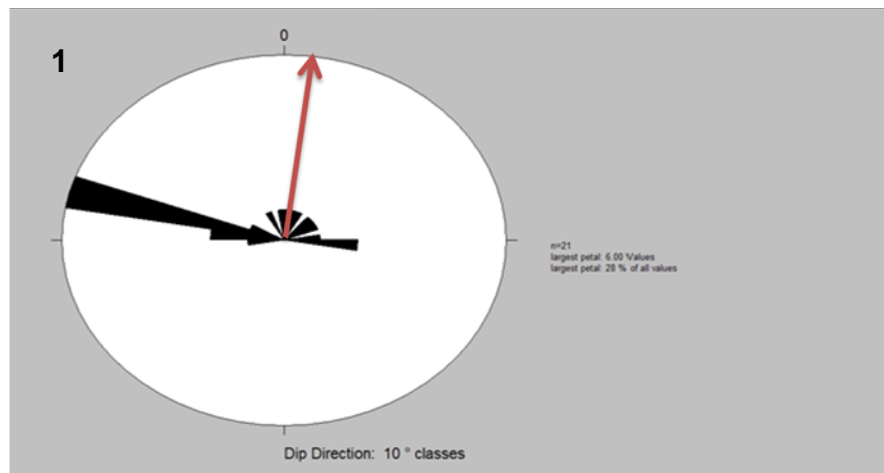
Ward, D.E., Goldsmith, R., Cruz, J., and Restrepo, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona Departamento de Santander, INGEOMINAS. Boletín Geológico, 21(1-3): 132p.

ANEXO 2. ANÁLISIS DE PALEOCORRIENTES

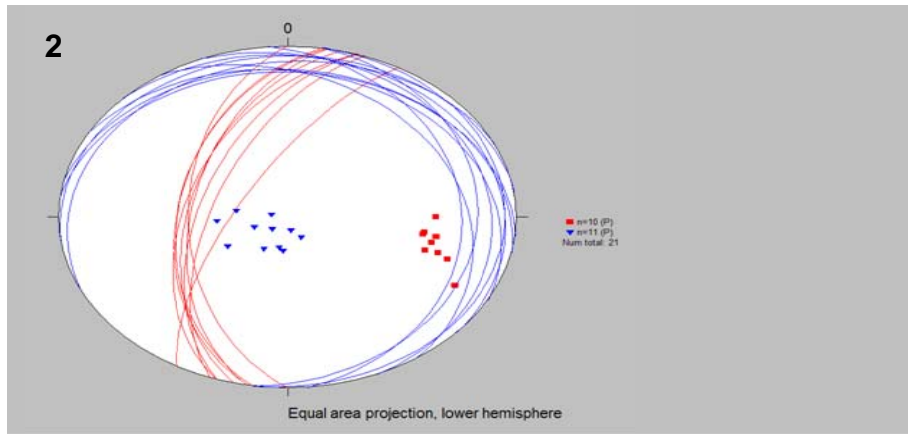
2.1 Paleocorrientes del Afloramiento Río Sucio

Se midieron direcciones de paleocorrientes en 3 niveles con artesas y en un nivel con clastos imbricados.

La dirección principal de artesa 1 es 8.7/8.6 (NE) flecha roja (Gráfica 1). El número de datos es 21, 10 del limbo izquierdo y 11 del limbo derecho (Gráfica 2).



1. Diagrama rosetas de artesas 1, dirección principal flecha roja (NE).

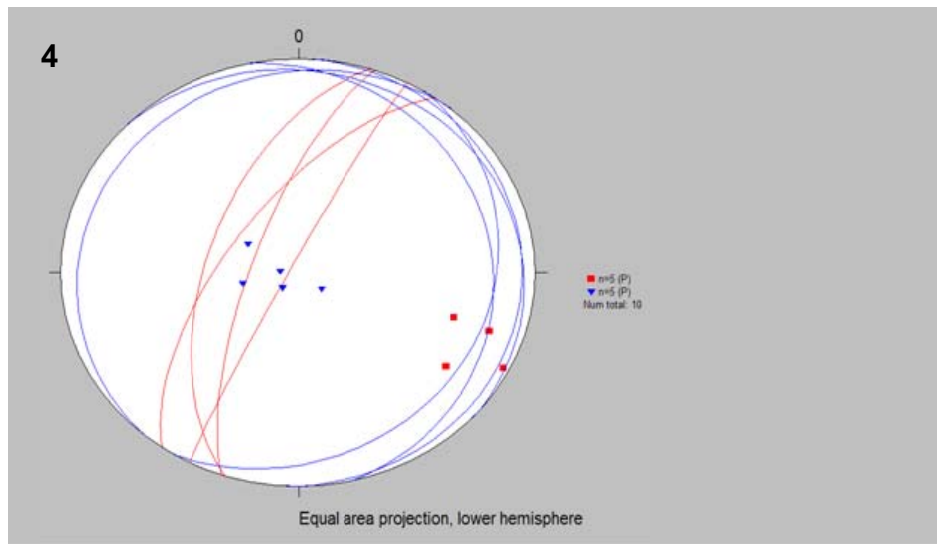


2. Diagrama de polos y gran círculo para artesas1, cuadros rojos limbo izquierdo, triángulos azules limbo derecho.

La dirección principal para artesas 2 es 22.4/4 (NE) flecha roja (Gráfica 3). El número de datos es 10, 5 para cada limbo (Gráfica 4).

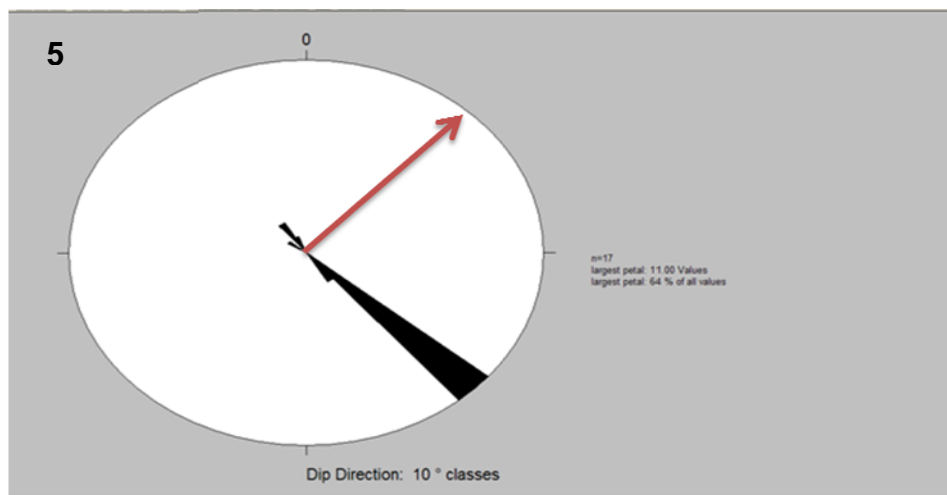


3. Diagrama de rosetas artesas 2. Dirección principal flecha roja (NE).

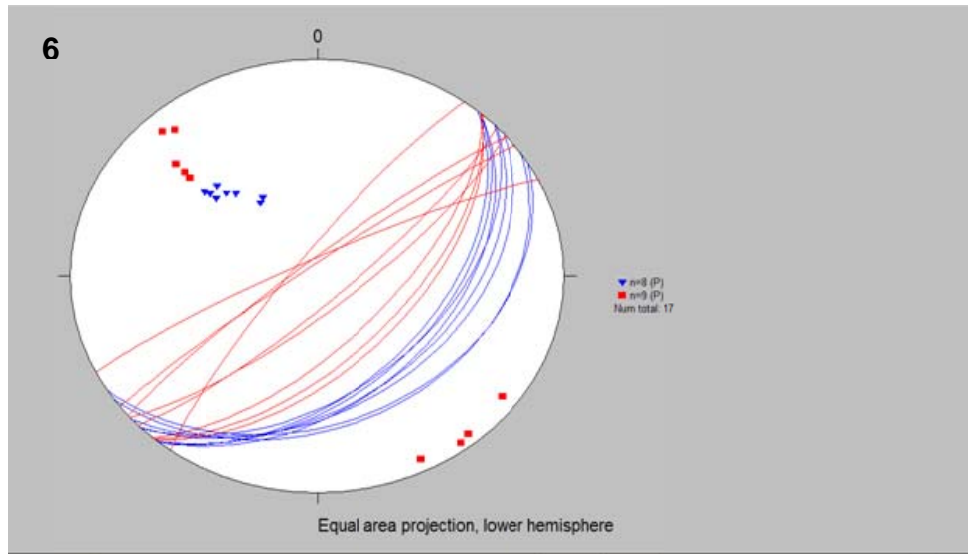


4. Diagrama de polos y gran círculo artesas 2. Cuadros rojos limbo izquierdo, triángulos azules limbo derecho.

La dirección principal para artesas 3 es 48.2/3(NNE) flecha roja (Gráfica 5). El número de datos es 17, 8 para el limbo derecho y 9 para el limbo izquierdo (Gráfica 6).

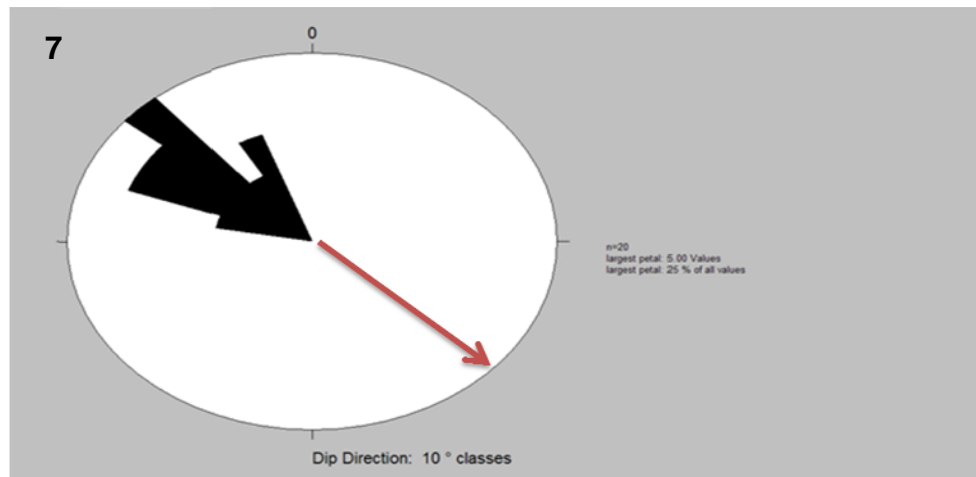


5. Diagrama de rosetas artesas 3. La flecha roja indica la dirección principal (NE).

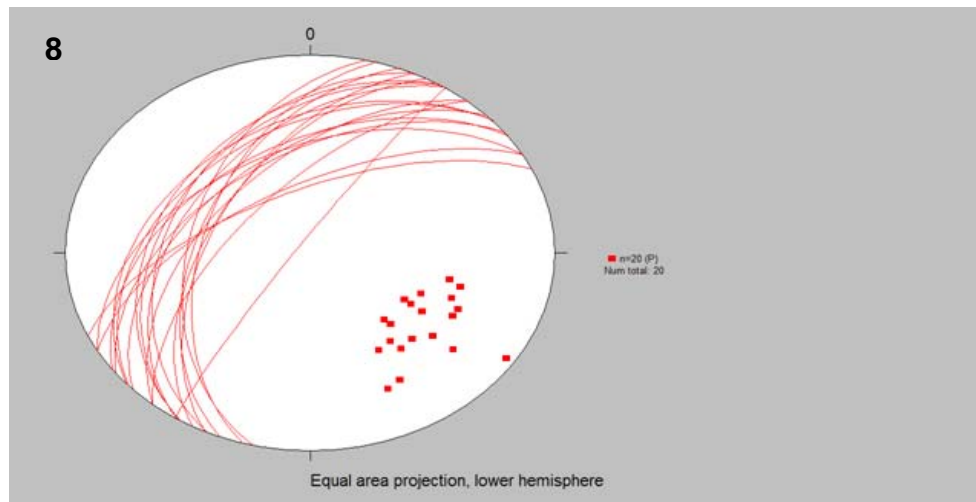


6. Diagrama de polos y gran círculo artesas 3. Triángulos azules limbo derecho, cuadros rojos limbo izquierdo.

La dirección principal de imbricación es 128.8/39.6 (SE). Numero de datos 20 (Gráficas 7 y 8).

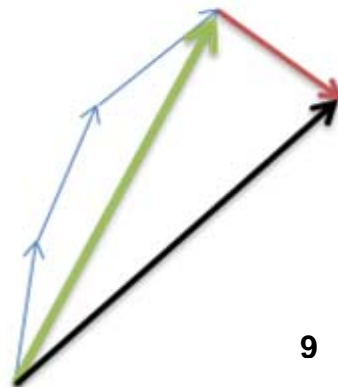


7. Diagrama de rosetas imbricación rio sucio. Flecha roja dirección principal (SE).



8. Diagrama de polos y gran círculo.

Las direcciones de paleocorrientes en artesas y clastos imbricados indican una dirección de flujo hacia el NE (Gráfica 9).



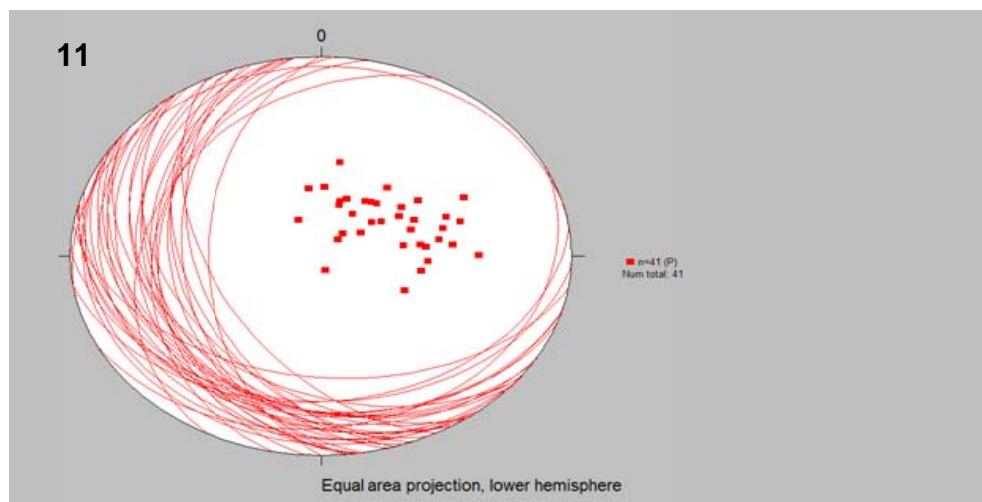
9. Vectores principales de paleocorrientes en Rio Sucio. las flechas azules son los vectores de las artesas, la flecha roja es la dirección de imbricación, la flecha verde es la dirección principal en artesas 27° NE y la flecha negra es la dirección principal tomando artesas e imbricación 46° NE.

2.2 Paleocorrientes del Afloramiento Vía Bucaramanga - Barrancabermeja

En este afloramiento se tomaron 41 datos de imbricación. La dirección principal de paleocorriente es 59.3/69.3 (NE) flecha roja (Gráfica 10 y 11).



10. Diagrama de rosetas imbricación vía Bucaramanga- Barranca. Flecha roja dirección principal paleocorriente NE.

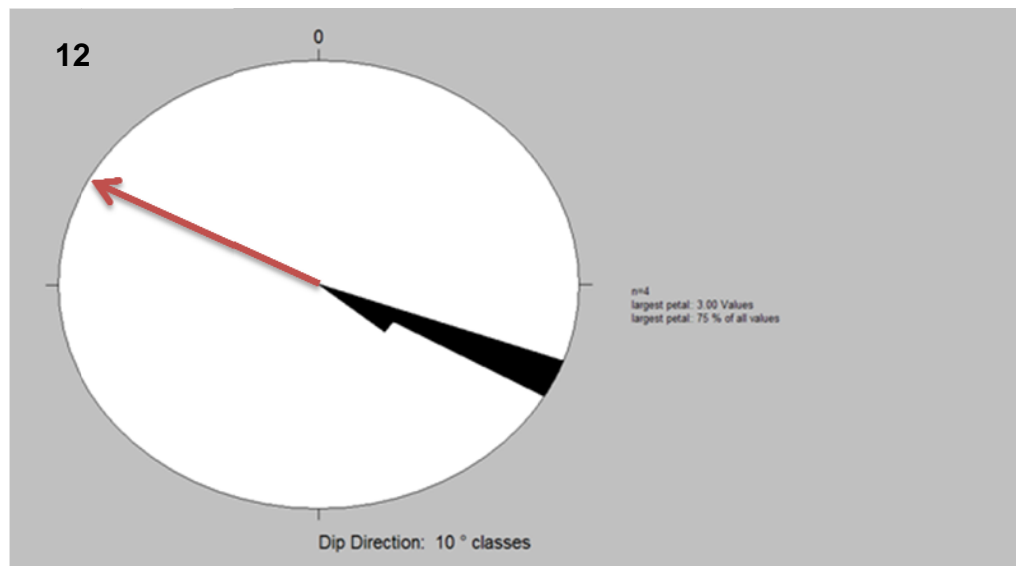


11. Diagrama de polos y gran círculo para vía Bucaramanga-Barranca.

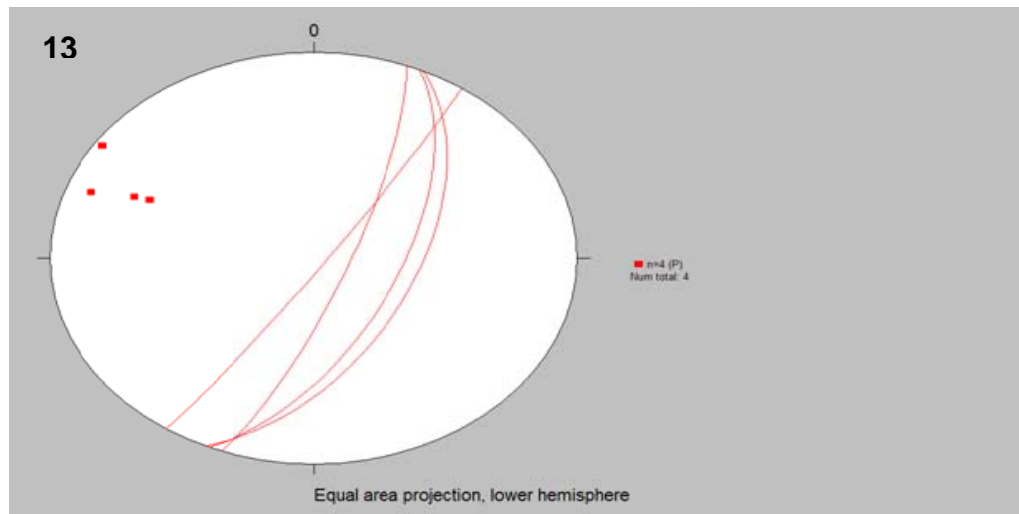
2.3 Paleocorrientes del Afloramiento Altamira

En este afloramiento se tomaron solo 4 datos en clastos imbricados debido a la ausencia de estructuras. La dirección de paleocorriente es 295.9/18.4 (NW) Flecha Roja (Gráficas 12 y 13).

Se observa un cambio en la dirección de paleocorriente relacionada con afloramientos anteriores pasando de direcciones NE a NW, debido a los cambios faciales y a la posición estratigráfica de este afloramiento que es mucho mas arenoso y se ubica un poco más arriba de los otros afloramientos, es decir más arriba que el contacto entre las Fm Lisama y La Paz, su contenido de conglomerados es mucho menor.



12. Diagrama de rosetas imbricación Altamira. Dirección paleocorriente flecha roja (NW).



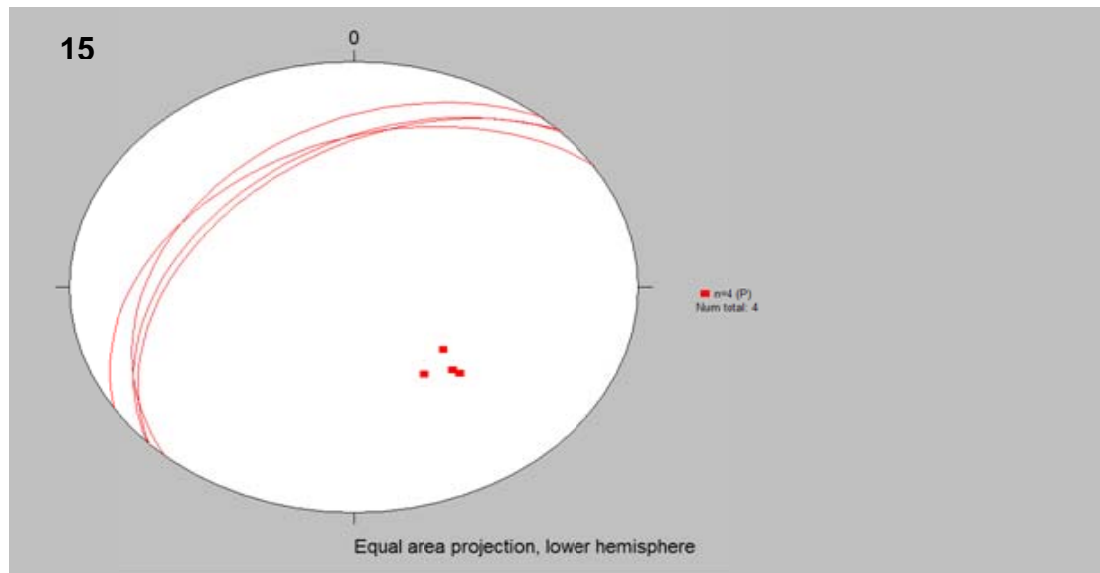
13. Diagrama de polos y gran círculo imbricación Altamira.

2.4 Paleocorrientes del Afloramiento Extremo Sur

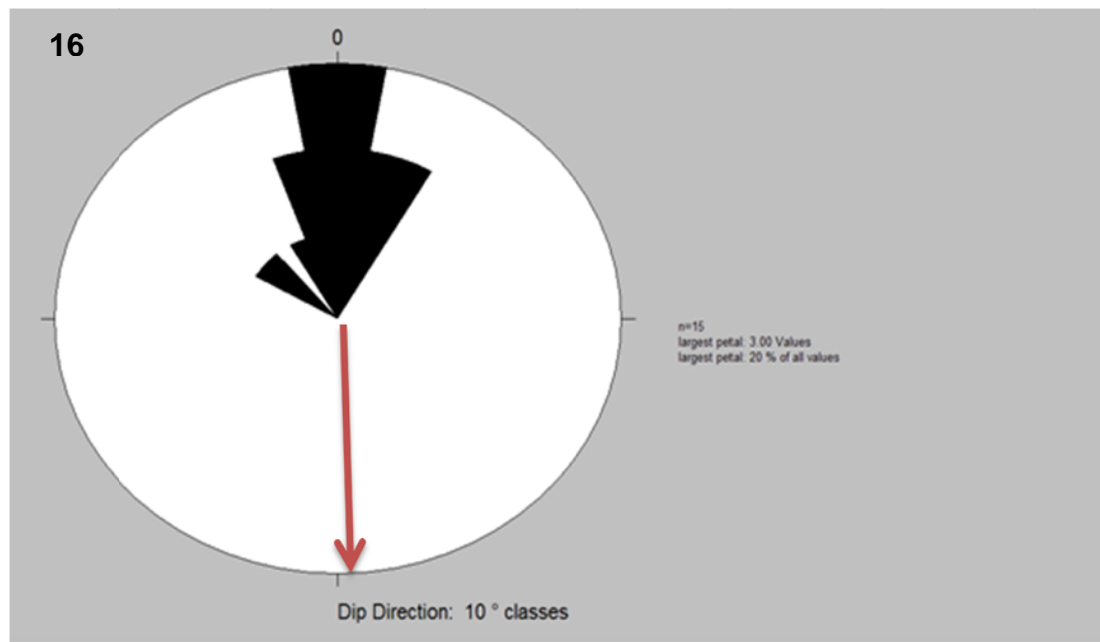
En este afloramiento se tomaron 4 datos en estratificación cruzada planar, con dirección de paleocorriente 317.9/39.8 (NW) flecha roja (Gráficas 14 y 15) y 15 datos de imbricación con dirección de paleocorriente 178.9/57.3 (SW) flecha roja (Gráficas 16 y 17). El vector principal para extremo sur es 250 (SW) (Gráfica 18).



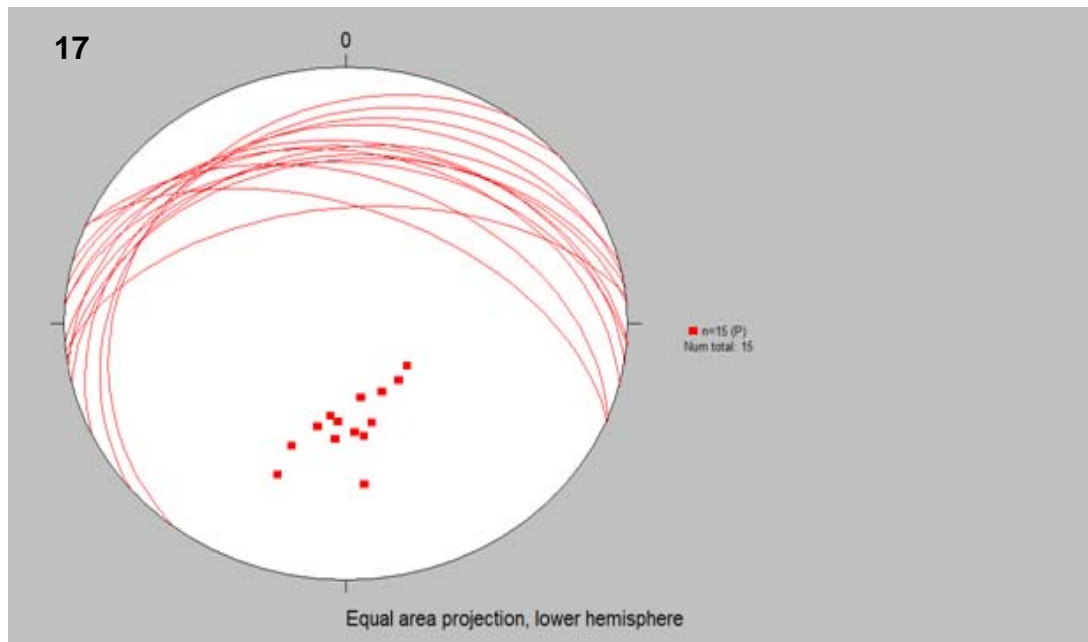
14. Diagrama de rosetas estratificación cruzada planar Extremo Sur. Flecha roja dirección de paleocorriente (NW).



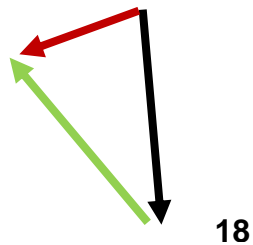
15. Diagrama de polos y gran círculo estratificación cruzada planar Extremo Sur.



16. Diagrama de rosetas imbricación Extremo sur. Flecha roja dirección paleocorriente (SW).



17. Diagrama de polos y gran círculo imbricación extremo sur.

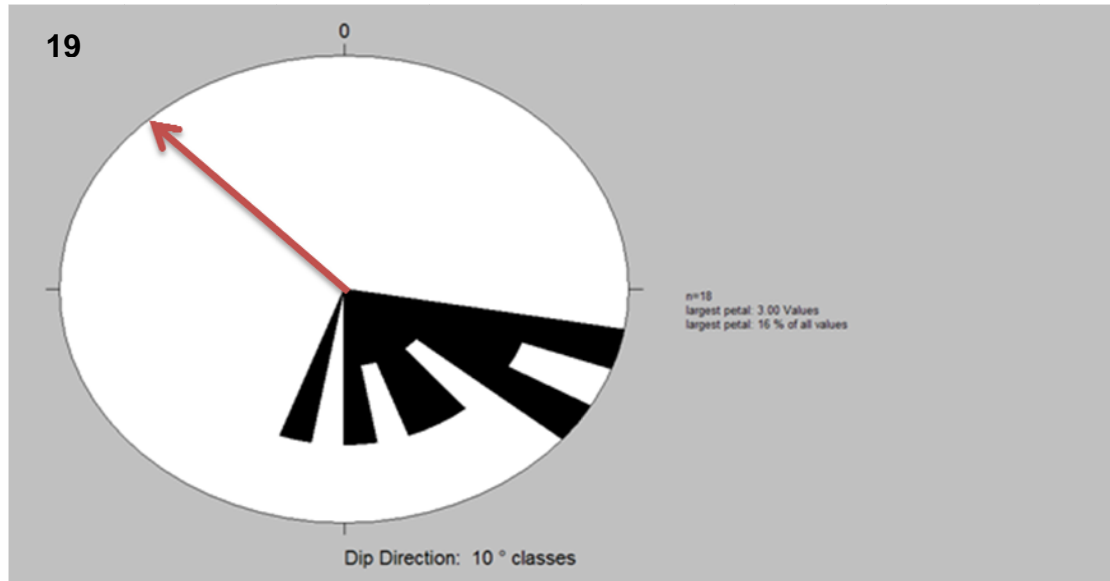


18. Vectores paleocorrientes Extremo Sur. Línea verde dirección de paleocorriente en estratificación cruzada planar, línea negra dirección paleocorriente en imbricación y la línea roja vector principal paleocorriente 250 (SW).

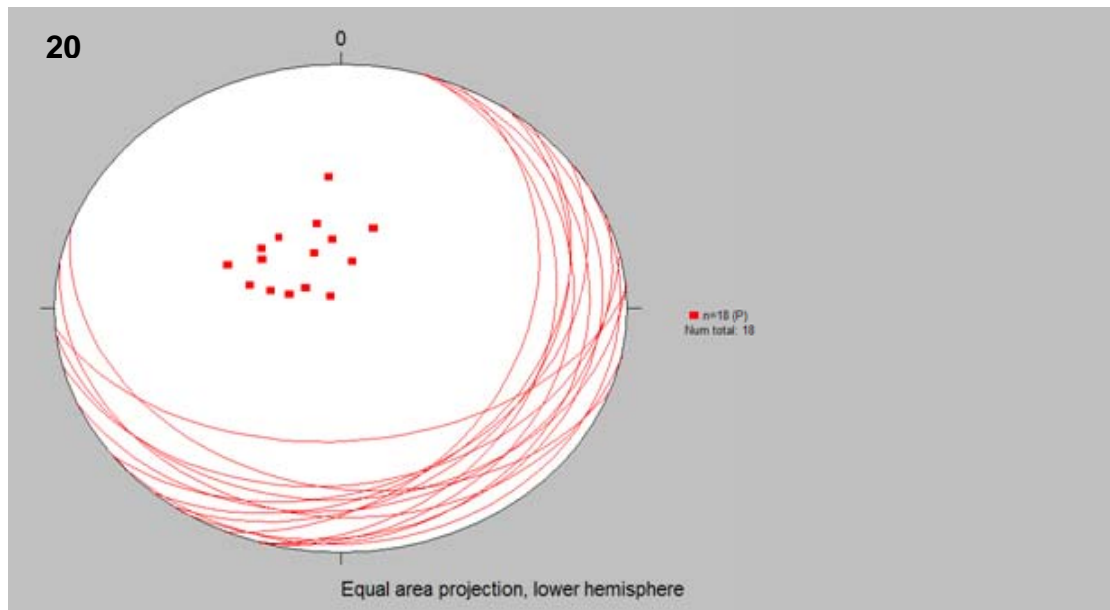
2.5 Paleocorrientes del Afloramiento Tienda La Aurora

En este afloramiento se tomaron 18 datos de imbricación en clastos con una dirección de paleocorriente principal 322.6/68.6 (NW) flecha roja (Gráfica 19 y 20),

la cual es similar a la dirección de paleocorriente en estratificación cruzada planar de Extremo Sur (Gráfica 14).



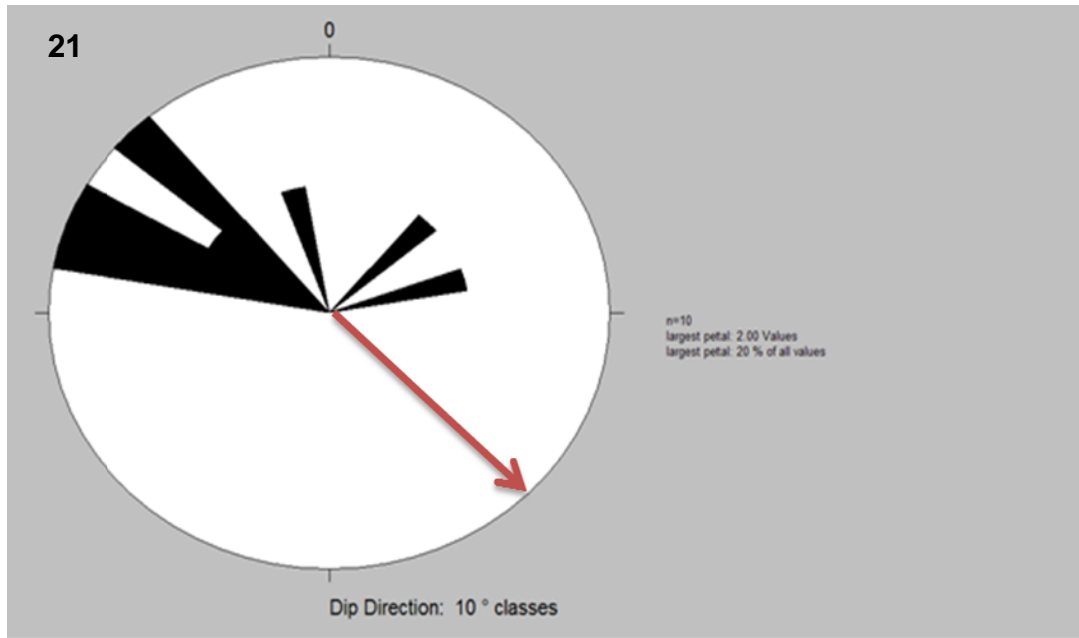
19. Diagrama de rosetas imbricación Tienda la Aurora. Flecha roja dirección paleocorriente (NW).



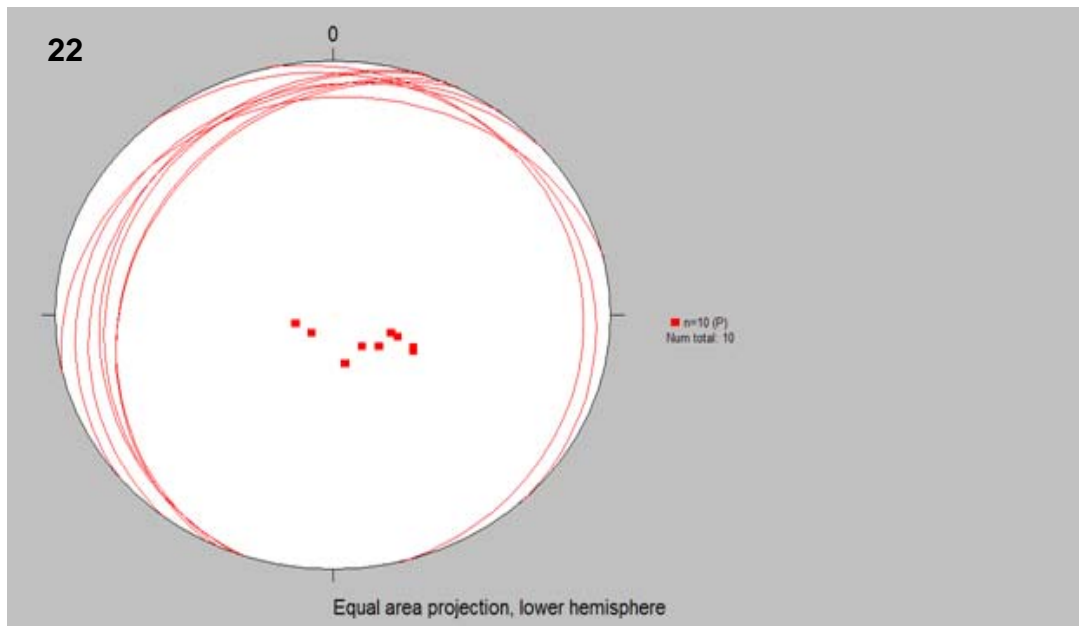
20. Diagrama de polos y gran círculo imbricación Tienda la Aurora.

2.6 Paleocorrientes del Afloramiento LN-2P

En este afloramiento se tomaron 10 datos de imbricación con una dirección de paleocorriente 131.8/76.5 (SE) flecha roja (Gráficas 21 y 22). Se observa de nuevo un cambio en la dirección de paleocorriente con relación a afloramientos anteriores.



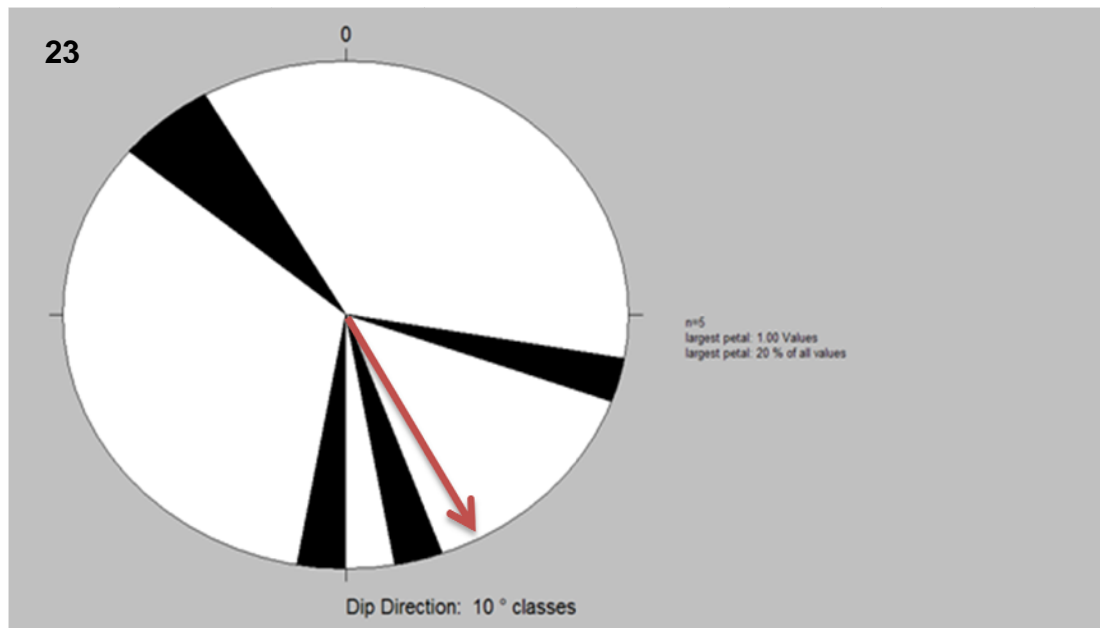
21. Diagrama de rosetas imbricación LN2P. Flecha roja dirección de paleocorriente (SE).



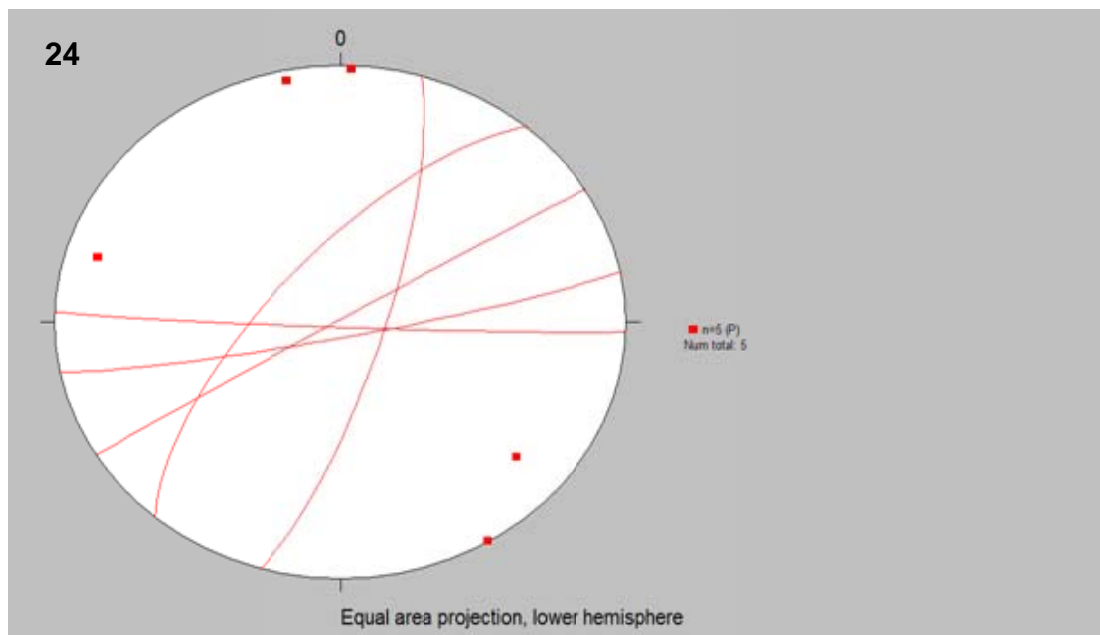
22. Diagrama de polos y gran círculo imbricación LN2P.

2.7 Paleocorrientes del Afloramiento Aguas Calientes

Se midieron 5 datos de imbricación con dirección de paleocorriente 148/0.4 (SE) flecha roja (Gráficas 23 y 24). Este dato es similar al anterior tiene relación con la posición espacial de estos 2 afloramientos que se ubican hacia el W y presentan espesores menores.



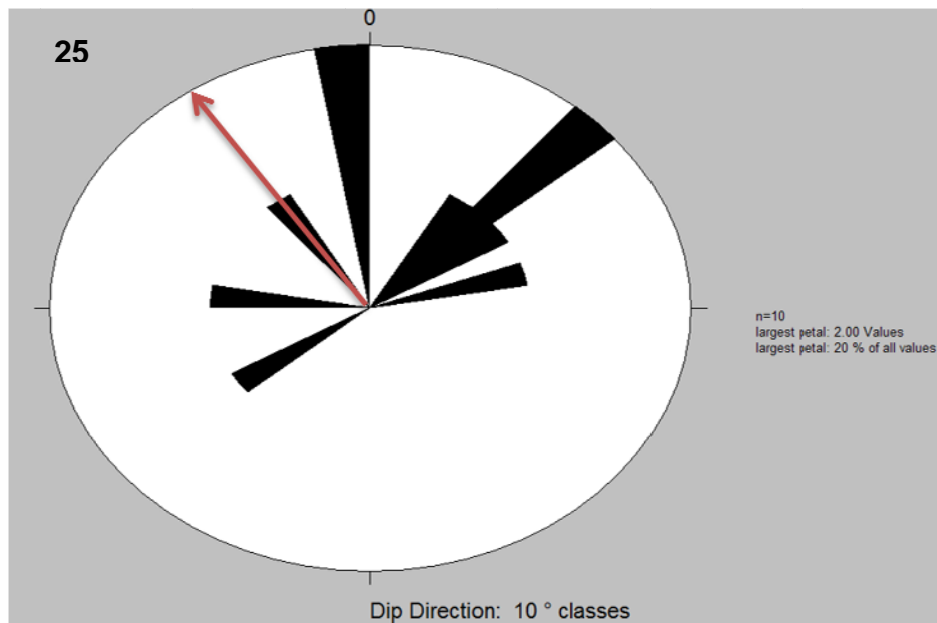
23. Diagrama de rosetas imbricación LN2P. Flecha roja dirección de paleocorriente (SE).



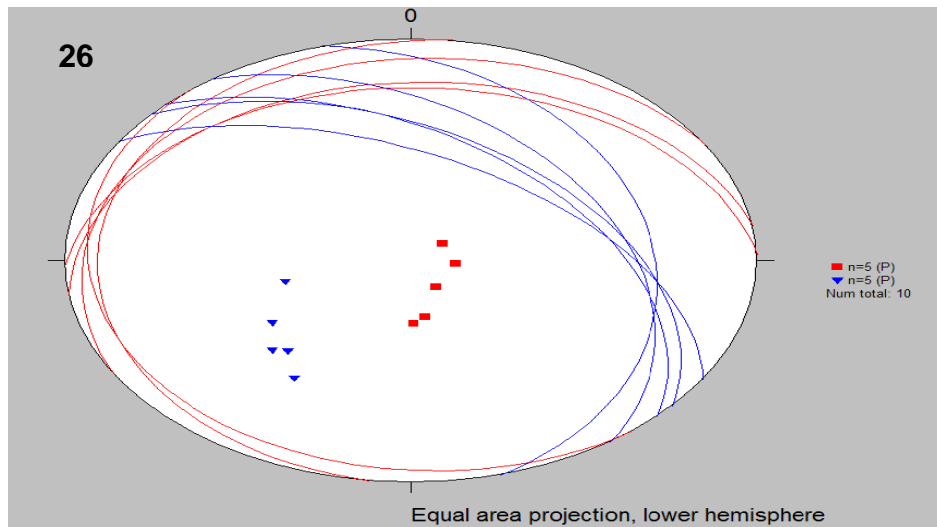
24. Diagrama de polos y gran círculo LN2P.

2.8 Paleocorrientes del Afloramiento Esmeraldas 1

Se midieron 10 datos de paleocorrientes en artesas, 5 datos para cada limbo, con una dirección de paleocorriente 321.5/8.2 (NW) flecha roja dirección de paleocorriente (Gráficas 25 y 26).



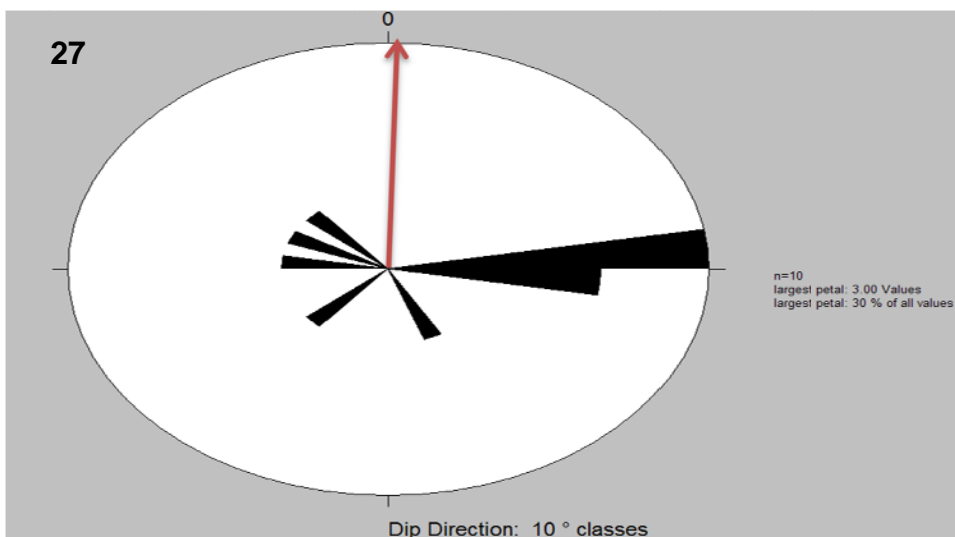
**25. Diagrama de rosetas estratificación cruzada en artesa Esmeraldas 1.
Flecha roja dirección paleocorriente (NW).**



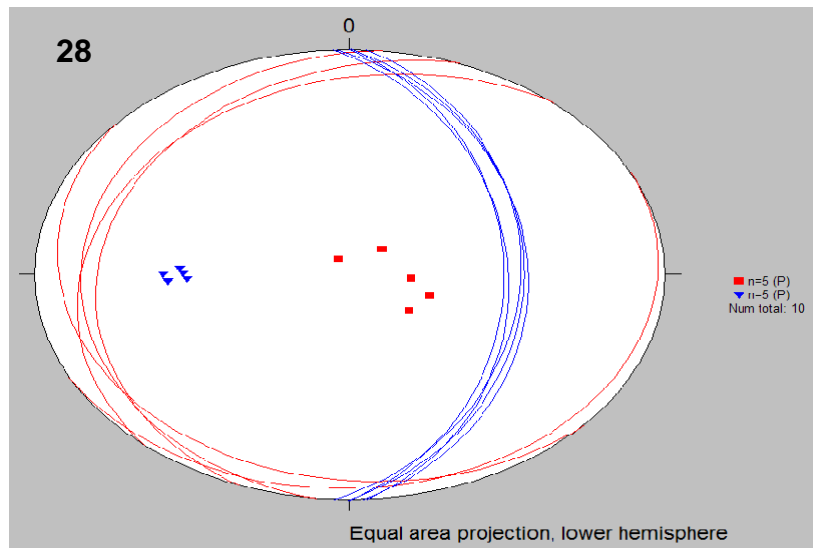
26. Diagrama de polos y gran círculo estratificación cruzada en artesa Esmeraldas 1. Cuadros rojos limbo derecho, triángulos azules limbo izquierdo.

2.9 Paleocorrientes del Afloramiento Esmeraldas 2

Se midieron 10 datos en artesas, 5 para cada limbo, con una dirección de paleocorriente 2.3/1.6 (N) flecha roja (Gráficas 27 y 28).



27. Diagrama de rosetas estratificación cruzada en artesa Esmeraldas 2. Flecha roja dirección de paleocorriente (N).



28. Diagrama de polos y gran círculo estratificación cruzada en artesía Esmeraldas 2. Cuadros rojos limbo derecho, triángulos azules limbo izquierdo.

ANEXO 3. DESCRIPCIÓN DE SECCIONES DELGADAS

Se realizaron 14 secciones delgadas de clastos de diferentes estaciones de trabajo las cuales fueron:

Del flanco Este de la estación Vía Bucaramanga – Barrancabermeja se hicieron cuatro secciones delgadas (Tabla 1).

| LOCALIZACIÓN | CÓDIGO | DESCRIP. MACRO | PETROGRAFÍA |
|---|---------------|----------------|---|
| Estación Vía B/manga-B/bermeja X: 1075580 Y: 1276875 Z: 359 m | DABB04 | Chert Amarillo | Chert criptocristalino de origen sedimentario |
| | DABB05 | Cuarcita | Cuarcita |
| | DABB06 | Cuarcita | Cuarzoarenisca |
| | DABB07 | Cuarzo Lechoso | Cuarzo monocristalino de cuarzo de vena |

Tabla 1. Descripción macro y micro de las secciones delgadas.

Del flanco Oeste las estaciones Extremo Sur y Tienda La Aurora, de las cuales se hicieron tres y siete secciones respectivamente (Tabla 2 y 3).

| LOCALIZACIÓN | CÓDIGO | DESCRIP. MACRO | PETROGRAFÍA |
|--|--------|----------------|---|
| Estación Extremo Sur X: 1064045 Y: 1260371 Z: 703 m | DAES01 | Chert Gris | Chert criptocristalino |
| | DAES02 | Chert Amarillo | Chert criptocristalino |
| | DAES03 | Cuarzo Lechoso | Cuarzo policristalino de cuarzo de vena |

| Tabla 2. Descripción macro y micro de las secciones delgadas. LOCALIZACIÓN | CÓDIGO | DESCRIP. MACRO | PETROGRAFÍA |
|--|--------|-------------------------|---|
| Estación Tienda La Aurora X: 1060913 Y: 1265113 Z: 778 m | DATA08 | Cuarzo Ahumado | Chert criptocristalino |
| | DATA09 | Chert Gris | Chert criptocristalino |
| | DATA10 | Cuarzo Lechoso | Cuarzo policristalino de cuarzo de vena |
| | DATA11 | Cuarzo Ahumado | Cuarzo policristalino – metamórfico cuarzo esquistoso |
| | DATA12 | Cuarzo Lechoso | Cuarzo policristalino de posible origen metamórfico |
| | DATA13 | Chert Gris | Chert criptocristalino |
| | DATA14 | Arenisca Sublítica Gris | Arenisca Sublítica |

Tabla 3. Descripción macro y micro de las secciones delgadas.

ANEXO 3.1 AFLORAMIENTO EXTREMO SUR

DAES01 – CHERT GRIS: Presenta cuarzo criptocristalino en forma de agregados fibrosos de diversas coloraciones que se denomina calcedonia y también presenta óxidos (Figuras 1 y 2).

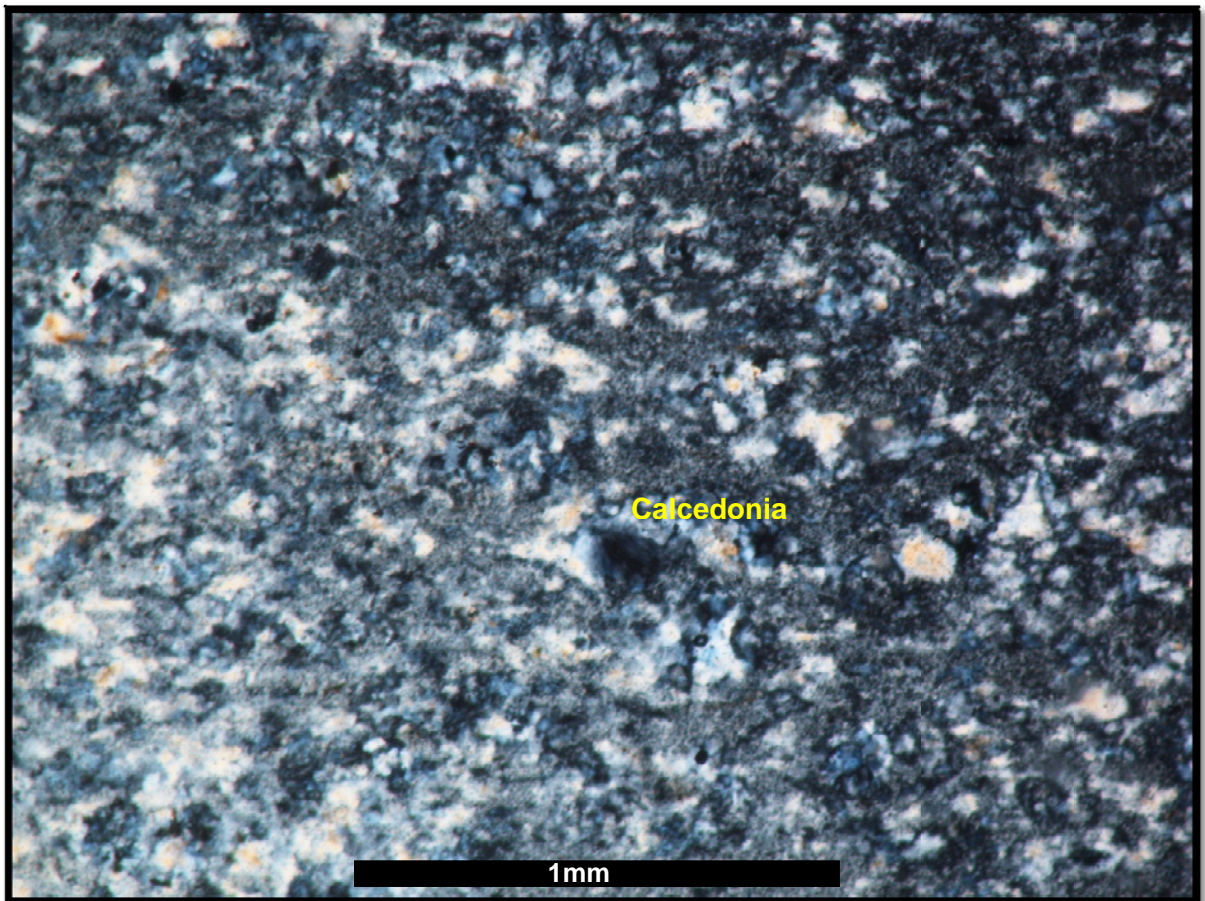


Figura 1. Fotografía en nicoles cruzados de chert criptocristalino que presenta cuarzo calcedónico.

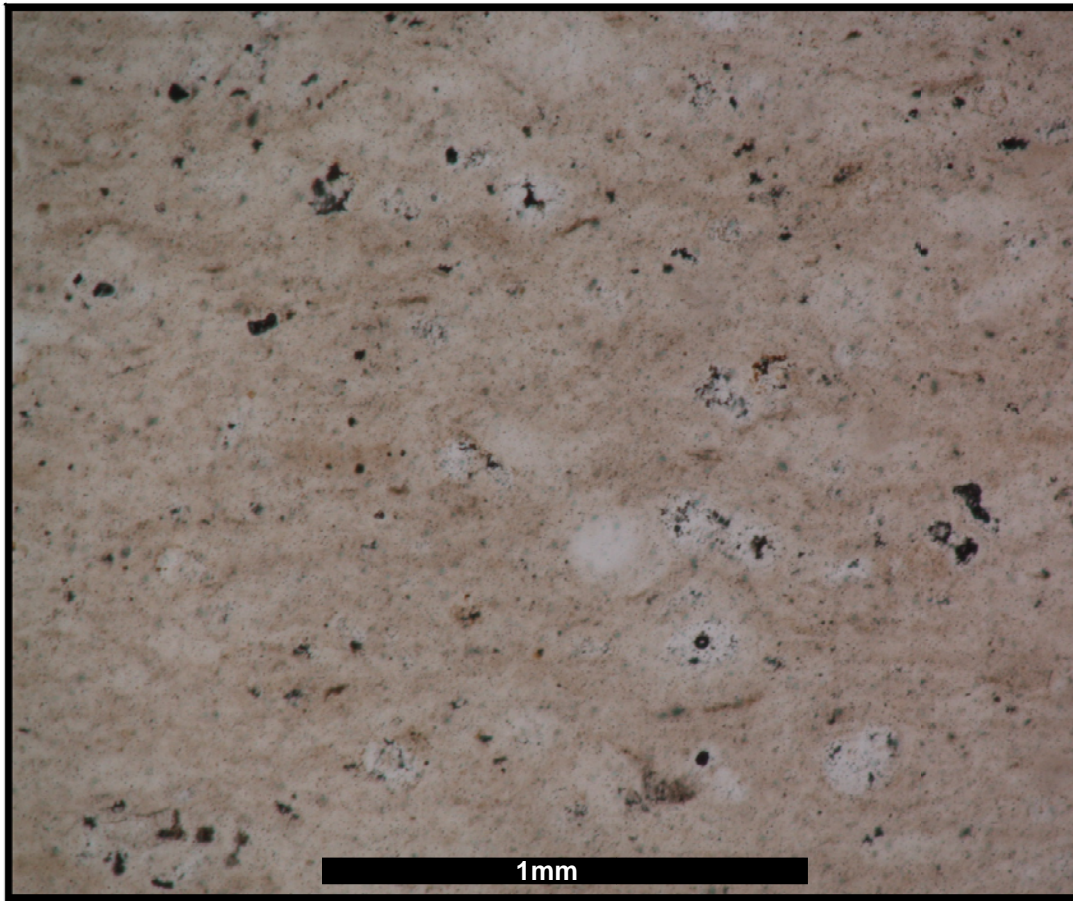


Figura 2. Fotografía en nicoles paralelos de chert criptocristalino que p cuarzo calcedónico.

DAES02 – CHERT AMARILLO: Presenta cuarzo criptocristalino con aline. de radiolarios (Figuras 3 y 4).