



AGENCIA PARA LA
INFRAESTRUCTURA DEL META
NIT. 900 220 547-5

i

**Análisis multitemporal y caracterización sedimentológica de la cuenca del río Guamal
en el sector del Puente La Hormiga ubicado en la vereda San Agustín, municipio de
Castilla La Nueva (Meta)**

Trabajo de grado modalidad pasantía para optar al título de geólogo

Elaborador por:

Daniel José Ortiz Abauat

Pasante de geología

Universidad de Caldas

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Programa de Geología

Manizales - Caldas

26/04/2021

**Análisis multitemporal y caracterización sedimentológica de la cuenca del río Guamal
en el sector del Puente La Hormiga ubicado en la vereda San Agustín, municipio de
Castilla La Nueva (Meta)**

Daniel José Ortiz Abauat

Trabajo de grado modalidad pasantía para optar por el título de geólogo

Director de la empresa

**Fernando Fajardo Álvarez
Ingeniero Civil**

Director de trabajo de grado y Asesor

**Santiago Cano Bedoya
Geólogo – Ingeniero Civil**

Universidad de Caldas

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Programa de Geología

Manizales - Caldas

26/04/2021



ACEPTACIÓN

"Después de revisado el trabajo de grado, titulado **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y CARACTERIZACIÓN SEDIMENTOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RIO GUAMAL EN EL SECTOR DEL PUENTE LA HORMIGA UBICADO EN LA VEREDA SAN AGUSTÍN, MUNICIPIO DE CASTILLA LA NUEVA (META)”**, presentando por el estudiante Daniel José Ortiz Abauat, considero que cumple con los requisitos de calidad para que el estudiante obtenga su título de geólogo. Felicitaciones"

Santiago Cano B

Santiago Cano Bedoya

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO-ASESOR



TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN.....	1
2	INTRODUCCIÓN.....	3
3	OBJETIVOS.....	4
3.1	Objetivo general.....	4
3.2	Objetivos específicos	4
4	LOCALIZACIÓN	5
5	METODOLOGIA	7
5.1	Revisión bibliográfica.....	7
5.2	Revisión preliminar a partir de imágenes satelitales y fotografías aéreas	8
5.3	Trabajo de campo.....	8
5.3.1	Identificación de facies.....	8
5.3.2	Análisis granulométrico de gravas	8
5.3.3	Muestras de material arenoso	9
5.3.4	Medición del caudal.....	10
5.3.5	Medición del sentido de la corriente	11
5.4	Fase de laboratorio.....	11
5.4.1	Tamizado y pesado de las muestras.....	11
5.5	Fase de oficina	11
6	GENERALIDADES.....	13
6.1	Climatología.....	13
6.1.1	Temperatura.....	13
6.1.2	Precipitación.....	14



6.1.3	Evapotranspiración	15
6.1.4	Brillo solar	15
6.2	Marco geológico	16
6.2.1	Estratigrafía	16
6.2.2	Geomorfología.....	24
6.2.3	Geología estructural regional.....	31
7	FACIES SEDIMENTARIAS	33
7.1	Interpretación de facies	34
7.1.1	Gravas masivas matriz soportadas (Gmm):.....	34
7.1.2	Gravas con estratificación paralela (Gh):.....	35
7.1.3	Gravas masivas clasto soportadas (Gcm):.....	36
7.1.4	Arena fina a muy gruesa con ripples asimétricos (Sr):.....	37
7.1.5	Arena masiva fina a muy gruesa (Sm):	38
7.1.6	Arena con laminación paralela (Sh):	39
7.2	Otras estructuras	40
7.2.1	Crescent Marks	40
7.2.2	Bioturbación	41
7.2.3	Grietas de desecación	42
8	CLASIFICACIÓN DE FORMAS DE FONDO.....	44
8.1	Ripples rectilíneos asimétricos	45
8.2	Ripples linguoides.....	46
9	GRANULOMETRÍA	48
9.1	Análisis granulométrico de gravas.....	48



9.2	Análisis granulométrico de arenas	50
9.2.1	Interpretación de parámetros estadísticos.....	55
10	MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA CORRIENTE Y CAUDAL	59
11	MEDICIÓN DEL SENTIDO DE LA CORRIENTE	63
11.1	Medición a partir de Crescent Marks.....	63
11.2	Medición a partir de Ripples Asimétricos	63
12	INDICE DE SINUOSIDAD	65
12.1	Índice de Canal (CI):.....	68
12.2	Índice del Valle (VI):.....	68
12.3	Índice de Sinuosidad Estándar (SSI):	68
12.4	Índice de Sinuosidad Topográfica (TSI):.....	69
12.5	Índice de Sinuosidad Hidráulica (HSI):.....	69
13	ELEMENTOS ARQUITÉCTONICOS.....	71
13.1	Barras de grava (GB)	72
13.2	Estructuras sedimentarias arenosas (SB).....	73
13.3	Arenas laminadas (LS).....	74
14	MODELOS SEDIMENTOLÓGICOS.....	76
15	ANÁLISIS MULTITEMPORAL.....	80
15.1	Descripción del trazado del Cauce.....	80
15.1.1	Cauce de la década de 2020 (Actual)	80
15.1.2	Cauce de la década de 2015.....	82
15.1.3	Cauce de la década de 2000.....	83
15.1.4	Cauce de la década de 1987.....	84



15.2	Dinámica del cauce en el periodo 1987-2020.....	85
15.3	Análisis de la dinámica	90
16	DISCUSION.....	92
17	CONCLUSIONES.....	94
18	ANEXOS	96
19	BIBLIOGRAFIA	99



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio, ubicado al este del municipio de Castilla La Nueva.	5
Figura 2. División de la zona de estudio	6
Figura 3. Metodología utilizada para la elaboración del informe.....	7
Figura 4. Malla de puntos utilizada durante el trabajo de campo.....	9
Figura 5. Muestra de arena tomada a orillas del río. Estación 17.....	10
Figura 6. Ilustración del método del flotador para la medición del caudal. Tomado de Dirección general de infraestructura agraria y riego.	10
Figura 7. Método del flotador utilizado en campo.	11
Figura 8. Distribución espacial de la temperatura en la cuenca del río Guamal.	13
Figura 9. Mapa de precipitación de la cuenca del río Guamal.	14
Figura 10. Distribución espacial de la evapotranspiración potencial en la cuenca del río Guamal.	15
Figura 11 Columna generalizada de la plancha 285. Tomada de Ingeominas, 2015	17
Figura 12. Drenaje actual del Río Guamal.	23
Figura 13. Cauce actual del Río Guamal en el área de estudio	29
Figura 14. Corte morfoestructural esquemático de la región del departamento de Meta.....	31
Figura 15. Facies gravas matriz soportada, constituida principalmente por clastos tamaño guijo, guijarro, embebidos en una matriz de arena fina.....	35
Figura 16. Gravas con estratificación paralela, constituidas principalmente por guijos y guijarros, bien seleccionados, subangulares a angulares.	36
Figura 17. Facies gravas masivas clasto soportadas, con clastos predominantemente guijos y bloques subredondeados a subangulares. Se encuentra localizado en las laderas del cauce actual del río.	37

Figura 18. Arenas finas a muy finas que presentan ripples asimétricos producto de corrientes que chocan lateralmente contra las márgenes del canal. 38

Figura 19. Arenas masivas constituidas principalmente por arenas finas a muy finas, moderadamente seleccionadas y que presentan clastos de gravas tamaño guijarro interrumpiendo su continuidad. 39

Figura 20. Facies de arenas con laminación paralela, donde se puede observar en la imagen de la izquierda, la laminación paralela, mas en la foto de la derecha, presenta una ondulación producto del corte en el que se observa, dado que al realizar un corte transversal, se puede seguir apreciando la laminación paralela. 40

Figura 21. Crescent marks encontrados en la zona de estudio, que se desarrolla en sedimentos de tamaño arena fina, con depositación de gravas tamaño guijo a guijarro en sus partes laterales y arena media a fina en su parte posterior. 41

Figura 22. Crescent marks. Variedades deposicionales y mixtas de medias lunas y sombras formadas por corrientes unidireccionales. Área discontinua: lecho cohesivo; área punteada: arena; y línea discontinua: lecho original. La corriente viene de la izquierda, se presentan diferentes situaciones: (a, b, c), donde la erosión produce una socavación en media luna, corresponde a una vista en planta de (1); situación (d), donde solo la deposición ocurre, corresponde a (2), y situación (e, f), donde una cresta aerodinámica se produce detrás del obstáculo, corresponde a (3) (Tomado de Henrik Hargitai, 2014)..... 41

Figura 23. Estructuras de bioturbación encontradas en el área de estudio. La figura 15 (a, b, d) corresponden a bioturbaciones generadas por organismos excavadores como gusanos, insectos, etc. (burrows). La figura 15 c, corresponde a huellas de aves que se posaron sobre sedimentos finos. 42

Figura 24. Grietas de desecación generadas en barras que han tenido poca actividad del cauce actual y que se han visto expuestas durante mucho tiempo al sol..... 43

Figura 25. Variación de las formas de fondo en función de la velocidad de la corriente. Tomado de Sánchez y Sopeña (2015) 44

Figura 26. Clasificación generalizada de formas de fondo en función de tamaño y simetría. 44

Figura 27. Diagramas para la definición y clasificación de los ripples. Tomado de Collinson et al. 2006 45

Figura 28. Ripples rectilíneos asimétricos encontrados al borde del canal, constituido principalmente por arenas finas a medias..... 46

Figura 29. Ripples linguoides constituidos por arenas medias a gruesas con crestas discontinuas, que se presentan en las barras laterales de los rios en epocas de inundación.	47
Figura 30. Malla de puntos de 1m x 1m utilizada para realizar el análisis granulométrico de gravas en campo	48
Figura 31. Ubicación de las mallas realizadas para la clasificación granulométrica de gravas	49
Figura 32. Diagramas circulares que representan las 8 mallas según su tamaño de grano. Basado en clasificación de Udden - Wentworth, 1922.....	49
Figura 33. Diagramas circulares que representan las 8 mallas según su grado de redondez. Basado en clasificación de Powers, 1953.....	50
Figura 34. Mapa de ubicación de las muestras de arenas tomadas para la clasificación granulométrica	51
Figura 35. Grafica de semiprobabilidad para las 9 muestras tomadas en campo.	53
Figura 36. Escala utilizada para la interpretación de los cálculos de parámetros estadísticos Udden – Wentworth (1922).....	56
Figura 37. Tabla para la clasificación de la selección de los sedimentos según Folk & Ward (1957)	57
Figura 38. Tabla generalizada para la interpretación de Skewness (Sk)	58
Figura 39. Ecuación para el cálculo de la velocidad de corriente	59
Figura 40. Ecuación para el cálculo del área transversal de la corriente.....	60
Figura 41. Ecuación para el cálculo del caudal de la corriente	60
Figura 42 . Diagrama bidimensional de Ashley (1990), que relaciona la velocidad promedio del flujo (m/seg) por el tamaño promedio de los sedimentos (mm).....	62
Figura 43. Diagrama de roseta a partir de crescent marks en el tramo norte, donde se evidencia una tendencia en el sentido de la corriente de S40°E.....	64
Figura 44. Diagrama en roseta a partir de ripples asimétricos para el tramo norte, donde se evidencia una tendencia del sentido de la corriente de S45°E.....	64

Figura 45. Diagramas en roseta a partir de crescent marks en el tramo sur, donde se evidencia una tendencia en el sentido de la corriente de S12°E.....	65
Figura 46. Diagrama en roseta a partir de ripples asimétricos en el tramo sur, donde presentan una tendencia promedio en el sentido de la corriente de S7°E.....	65
Figura 47. Esquema de los parámetros establecidos para el cálculo de la sinuosidad por parte de Muller, 1968.....	66
Figura 48. Imagen satelital (tomada de SAS Planet, UTM 18N). Se observan los parámetros de sinuosidad realizados sobre la imagen satelital.	67
Figura 49. Ecuación para el cálculo del índice de canal (CI).....	68
Figura 50. Ecuación para el cálculo del Índice del Valle (VI)	68
Figura 51. Ecuación para el cálculo del Índice de Sinuosidad Estándar (SSI).....	69
Figura 52. Ecuación para el cálculo del Índice de Sinuosidad Topográfica (TSI).....	69
Figura 53. Ecuación para el cálculo del Índice de Sinuosidad Hidráulica (HSI)	69
Figura 54. Principales tipos de ríos según el número de canales, el índice de entrelazamiento y el grado de sinuosidad (Arche 2010).	70
Figura 55. Barras de gravas longitudinales que se encuentran en las partes laterales y centrales del cauce. Están constituidas por clastos tamaño bloque, guijarros, guijos y granulos, con una matriz arena media a fina. Presentan superficies limitantes de cuarto y quinto orden.....	73
Figura 56. Estructuras sedimentarias arenosas o formas de fondo arenoso (SB), se encuentran constituidas por sedimentos tamaño arena fina a media que forman ripples linguoides y rectilíneos asimétricos. Presenta superficie limitante de quinto orden.	74
Figura 57. Arenas laminadas o inundaciones laminares (LS), que se encuentran constituidas principalmente por arenas finas a medias, y que presentan laminaciones paralelas producidas por inundaciones rápidas en un régimen de flujo superior.	75
Figura 58. Clasificación fluvial de Schumm (1981, 185), relacionando carga de sedimentos, velocidad de flujo, relación anchura profundidad.	77
Figura 59. Modelo sedimentologico propuesto para el area de estudio. Realizado en el software Corel Draw-2018	78

Figura 60. Modelo fluvial Rio Trenzado somero de gravas “tipo Scott”. Tomado de: Miall (1996)	79
Figura 61. Trazado del cauce del Rio Guamal en la década de 2020, en el sector de Puente la Hormiga, Vereda San Agustín, Municipio de Castilla La Nueva, Meta	81
Figura 62. Trazado del cauce del Rio Guamal en la década de 2015, en el sector de Puente la Hormiga, Vereda San Agustín, Municipio de Castilla La Nueva, Meta	82
Figura 63. Trazado del cauce del Rio Guamal en la década de 2000, en el sector de Puente la Hormiga, Vereda San Agustín, Municipio de Castilla La Nueva, Meta	83
Figura 64. Trazado del cauce del Rio Guamal en la década de 1987, en el sector de Puente la Hormiga, Vereda San Agustín, Municipio de Castilla La Nueva, Meta	85
Figura 65. Diagrama del analisis multitemporal del rio Guamal (2020 – 2015) en el sector San Agustín, Castilla la Nueva, Meta. Leyenda por colores: Gris: Llanura de inundación y barras; Azul: Cauce activo; Amarillo: Gaviones; Negro: Puente peatonal; Rojo: viviendas	87
Figura 66. Diagrama del analisis multitemporal del rio Guamal (2000 – 1987) en el sector San Agustín, Castilla la Nueva, Meta. Leyenda por colores: Gris: Llanura de inundación y barras; Azul: Cauce activo; Rojo: viviendas	88
Figura 67. Dinámica del cauce del Rio Guamal periodo 1987 – 2020, en el sector de Puente la Hormiga, Vereda San Agustín, municipio de Castilla La Nueva, Meta	89



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ambientes geomorfológicos junto con unidades encontradas en la región. Tomado de: INGEOMINAS, 2015	24
Tabla 2. Clasificación de facies encontradas en la zona de estudio, basándose en Miall (1985)	33
Tabla 3. Resultados obtenidos del tamizado por vía seca de las muestras de arena recogidas en el área de estudio.....	52
Tabla 4. Resultados obtenidos del tamizado por vía seca de la muestra 5, teniendo en cuenta su porcentaje en peso acumulado y las unidades Phi que corresponden al tamaño de grano	52
Tabla 5. Datos estadísticos necesarios para el cálculo de los parámetros estadísticos de la fórmula de Folk & Ward, 1975, para la muestra 5	54
Tabla 6. Formulas, cálculos y resultados de los parámetros estadísticos para la muestra 5.	54
Tabla 7. Parámetros estadísticos calculados para cada muestra de arena	55
Tabla 8. Interpretación de los parámetros estadísticos para cada muestra. MS=moderadamente seleccionado; BS=Bien seleccionado	55
Tabla 9. Clasificación de Kurtosis.....	58
Tabla 10. Datos tomados en campo para la medición del caudal y la velocidad de la corriente	59
Tabla 11. Datos obtenidos mediante los cálculos anteriores	60
Tabla 12. Resultados de parámetros de sinuosidad en el Rio Guamal, sector Puente La Hormiga, vereda San Agustín. Donde AA' corresponde a la longitud del costado derecho del canal, BB' la longitud del costado izquierdo del canal, CD el largo del canal, XY la longitud lineal desde el punto inicial hasta el punto final del tramo en cuestión.	67
Tabla 13. Resultados de las operaciones realizadas para el cálculo de los parámetros de sinuosidad	69
Tabla 14. Clasificación para la sinuosidad en los canales (Morisawa, 1985)	70
Tabla 15. Elementos arquitectónicos identificados en el área de estudio	72



AGENCIA PARA LA
INFRAESTRUCTURA DEL META
NIT. 900 220 547-5

Tabla 16. Estilos fluviales propuestos por Miall (1996). 76

1 RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo corresponde a la definición de un modelo sedimentológico y la realización de un análisis multitemporal para el Rio Guamal, en la vereda San Agustín, ubicada en el municipio de Castilla La Nueva, Meta; con el fin de determinar las características actuales del río y analizar los principales cambios que ha presentado durante el periodo de 1987-2020. Para la realización del trabajo se realizó una identificación de facies, elementos arquitectónicos, sentidos de corriente, medición de la velocidad y caudal, análisis granulométrico, índices de sinuosidad y un análisis multitemporal.

En el área de estudio se identificaron 6 facies sedimentarias: Gravass masivas matriz soportada (Gmm), Gravass masivas clasto-soportadas (Gcm), Gravass con estratificación paralela (Gh), Arena fina a muy gruesa con ripples asimétricos (Sr), Arenas masivas finas a muy gruesas (Sm), Arenas finas a muy gruesas con laminación paralela (Sh). Se identificaron 2 formas de fondo: Ripples rectilíneos Asimétricos y Ripples linguoides. Por último, se determinaron 3 elementos arquitectónicos que corresponden a Barras de Grava (GB), Formas de fondo arenosa (SB) e Inundación laminar (LS).

El río presenta velocidades promedio de 0,76 m/seg y un caudal de 2,99 m³/seg, que indica un régimen de flujo inferior para el drenaje. A su vez, se determinó la sinuosidad del río mediante el cálculo del índice de sinuosidad estándar, que arroja un valor de 1.019, que correspondería a ríos rectos, sin embargo, debido a las características del río y a su índice de entrelazamiento, correspondería a un río trezado.

En términos de granulometría, el área de estudio se encuentra constituida principalmente por arenas finas, con selección moderada y composiciones platikurticas que indicarían aporte de sedimentos de diferentes tributarios; así mismo presenta clastos tamaño guijo (55%) y guijarro (16%), con concentraciones de gravas tamaño bloque, que indicarían periodos de alto flujo de energía.



Basados en los elementos arquitectónicos (GB, SB y LS) y la baja sinuosidad sobre relieves relativamente planos, se correlaciono con el modelo propuesto por Miall 1996, Rio trezado somero de gravas “Tipo Scott”.

Para finalizar se identificó mediante el análisis multitemporal del rio durante los periodos de 1987-2020, que presenta un grado medio de inestabilidad, producto del aporte constante de grandes volúmenes de material de arrastre y la variación fluvial de los canales, lo que provocaría un aumento en el riesgo de inundaciones en zonas aledañas. Así mismo, el rio presenta ensanchamientos de la llanura de inundación en la zona norte del área de estudio, principalmente hacia el Oeste, lo que permite inferir que presenta un movimiento lateral hacia esta dirección.



2 INTRODUCCIÓN

Los ambientes fluviales corresponden a sistemas naturales en constante cambio, debido a que presenta una acción constante de procesos sedimentarios como erosión, transporte y depositación de sedimentos, siendo el agua el principal agente de transporte. Sin embargo, los sistemas fluviales varían dependiendo de muchos factores, como dinámica sedimentaria, condiciones del terreno, clima, precipitación, entre otros; es por esto, que se requiere hacer una caracterización sedimentológica y fluvial de los ríos, con el fin de obtener un modelo sedimentológico y fluvial que contenga las características sedimentarias e hidrológicas propias de cada uno de ellos.

Debido a la inestabilidad que presentan los sistemas fluviales producto de su acción constante de procesos sedimentos, se hace necesario estudiar el comportamiento que ha tenido a través de los años, para determinar los riesgos directos e indirectos vinculados a la acción de los caudales de aguas superficiales como inundaciones, erosiones laterales y/o verticales, sedimentación en el cauce, entre otros. Para ello, se requiere la geomorfología dado que permite estudiar el sistema fluvial en todas las dimensiones temporales, desde el cauce hasta la llanura aluvial, permitiendo mejorar la gestión de estos riesgos.

En el presente informe se presenta la caracterización sedimentológica y la dinámica fluvial del Rio Guamal, en el sector del Puente la Hormiga en la vereda San Agustín, que se encuentra ubicada en el municipio de Castilla La Nueva, Meta. Además de realizar un análisis multitemporal de la dinámica fluvial del rio en este sector, a través de las décadas de 1987, 2000, 2015 y 2020, con el fin de determinar el comportamiento y variabilidad fluvial que ha tenido y que puede llegar a tener en un futuro.



3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Elaborar una interpretación del comportamiento del río Guamal basado en un modelo sedimentológico y análisis multitemporal, en el sector correspondiente al Puente La Hormiga, en la vereda de San Agustín en el municipio de Castilla la Nueva, Meta.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar una salida de campo a la zona de estudio para la toma de datos y la identificación de características sedimentológicas predominantes.
- Identificar y analizar los diferentes procesos sedimentarios encontrados en el área de estudio.
- Determinar los diferentes estilos arquitectónicos que se presentan en el área de estudio.
- Definir y clasificar un modelo sedimentológico basado en la caracterización sedimentológica realizada y los modelos propuestos por Miall (1985, 1996).
- Realizar una descripción del cauce del río Guamal en las diferentes décadas.
- Efectuar un análisis de la dinámica fluvial del río Guamal.



AGENCIA PARA LA
INFRAESTRUCTURA DEL META
NIT. 900 220 547-5

4 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se sitúa en la cuenca de los llanos orientales, más específicamente en el departamento del Meta entre los municipios de Castilla La Nueva y Guamal, que se ubican al sur de Villavicencio. Abarca principalmente a la cuenca del río Guamal, que corresponde a un río trezado o anastomosado, con grandes barras laterales y centrales.

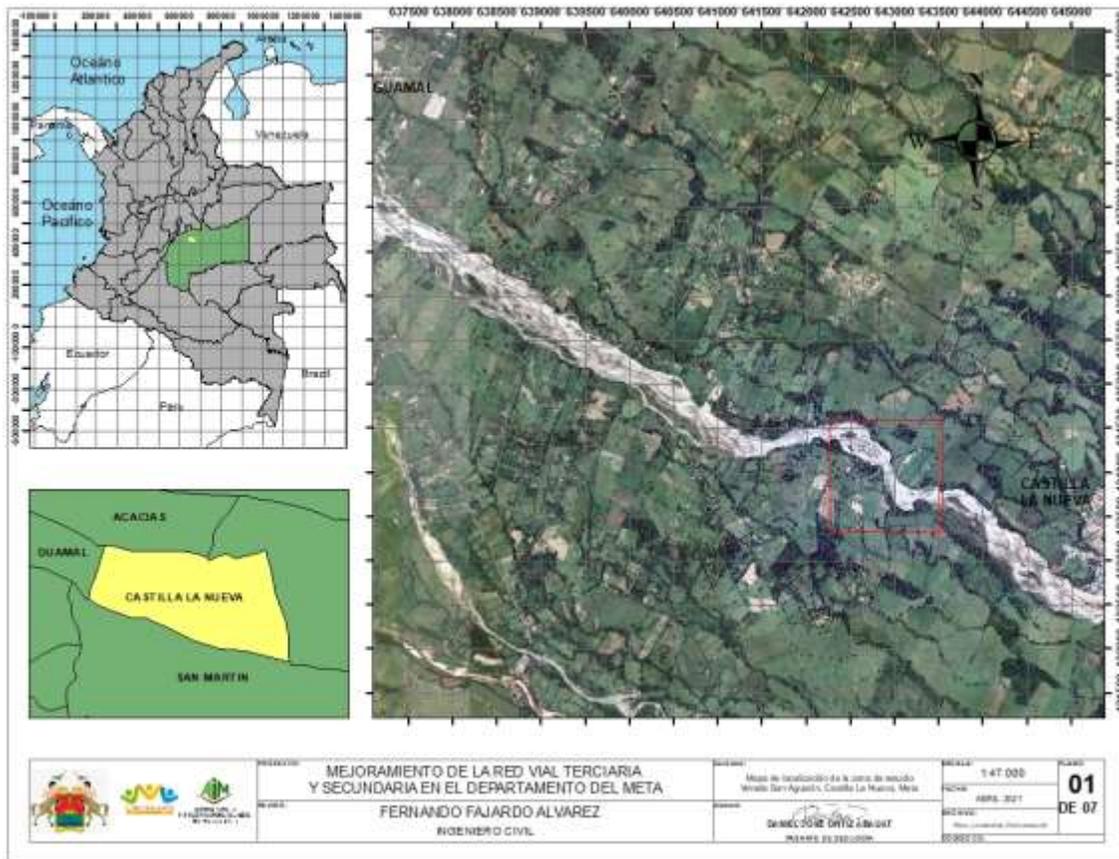


Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio, ubicado al este del municipio de Castilla La Nueva.



AGENCIA PARA LA
INFRAESTRUCTURA DEL META
NIT. 900 220 547-5

Geográficamente el área se encuentra delimitada por las coordenadas $3^{\circ}50'07.16314''$ N – $73^{\circ}42'44.13840''$ W y $3^{\circ}50'01.62211''$ N – $73^{\circ}42'47.35127''$ W, que se tomaron por los topógrafos encargados del sector. Para la realización del estudio se tomó como referencia el puente la Hormiga, que corresponde a un puente peatonal que se encuentra en la Vereda San Agustín del Municipio de Castilla La Nueva, para lo cual se dividió el área teniendo como referencia el mismo puente la Hormiga, siendo el tramo Norte al norte del Puente y el tramo Sur al sur del puente la Hormiga. Para la elaboración del trabajo se realizó la sedimentología del río 500 metros tanto al NW como SE del puente La Hormiga.

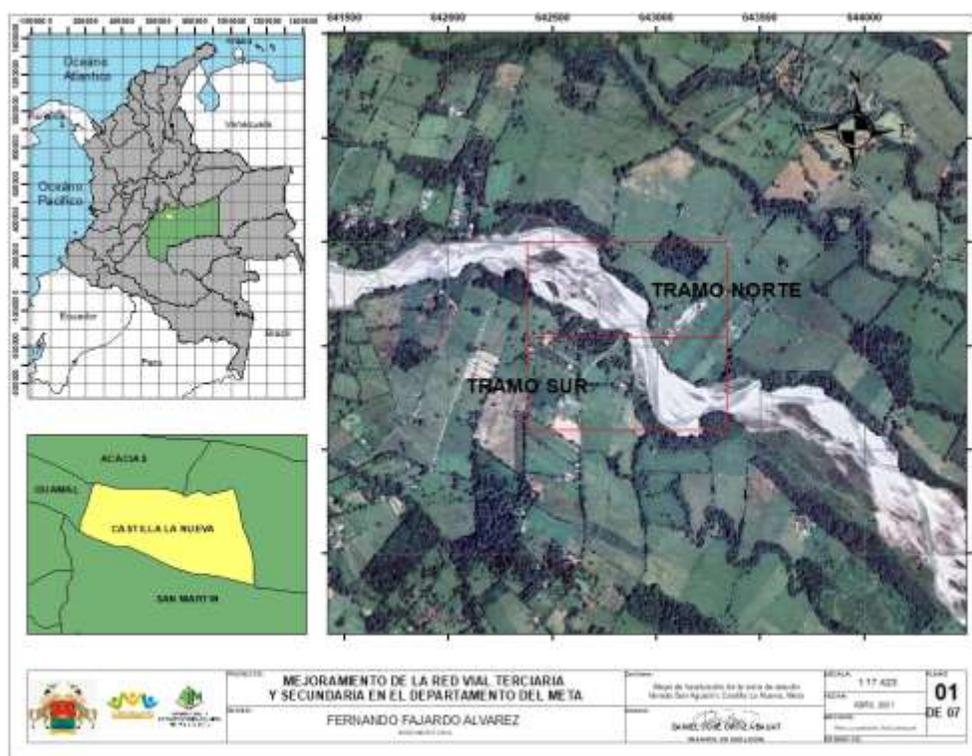


Figura 2. División de la zona de estudio

5 METODOLOGIA

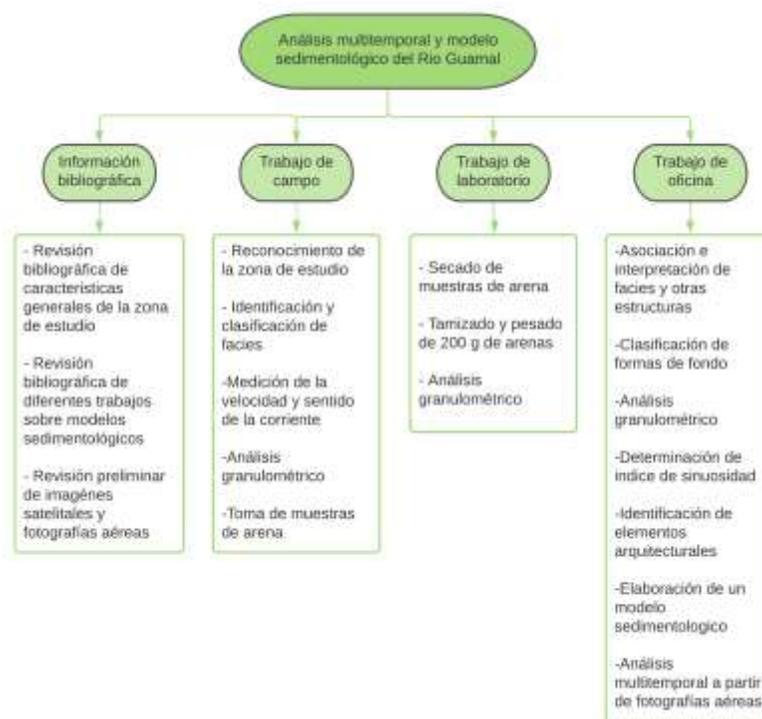


Figura 3. Metodología utilizada para la elaboración del informe.

Esta metodología fue tomada de tesis realizadas en la Universidad de Caldas, las cuales se encuentran asesoradas por el profesor Carlos Alberto Guzmán

5.1 Revisión bibliográfica

Para esta etapa se realizó la búsqueda de información sobre características generales de clima, características geomorfológicas, litológicas y estructurales generales del municipio de Castilla La Nueva, principalmente en el área de estudio que corresponde a la vereda San Pedro, específicamente en el Puente La Hormiga. Además, se revisó la base teórica como Miall (1985, 1996) y Alfredo Arche (2010) junto con información para la construcción de modelos sedimentológicos y análisis multitemporales.

A su vez, se realizó la visita al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para la obtención de imágenes satelitales antiguas de la zona de estudio, para la realización del análisis de la dinámica fluvial del río Guamal a través de los años.



Por último, se examinaron diferentes trabajos hechos con anterioridad de modelos sedimentológicos y caracterización de la dinámica fluvial para obtener mayor información relacionada al tema, tales como Sánchez y Salazar (2019), Jiménez y Muñoz (2019), Tobón y Aranzazu (2020).

5.2 Revisión preliminar a partir de imágenes satelitales y fotografías aéreas

Mediante imágenes satelitales sacadas de Google Earth y SAS Planet, se identificó la zona de estudio y se procedió a definir el área de trabajo y las estrategias para la optimización del tiempo durante la salida de campo. Además, se identificaron características generales del terreno, accesibilidad y peligrosidad.

Por último, se obtuvieron imágenes satelitales de diferentes años en el IGAC y Google Earth para realizar un análisis multitemporal de la zona de estudio.

5.3 Trabajo de campo

Para mejorar el trabajo realizado para la caracterización sedimentológica del área, se dividió la zona estudiada en dos tramos, tomando como referencia el Puente Peatonal La Hormiga, siendo el tramo Norte correspondiente al Norte del Puente Peatonal, y el tramo Sur, al Sur del puente.

5.3.1 Identificación de facies

Durante el trabajo de campo se procede a realizar el reconocimiento e identificación de características sedimentológicas, que se asocian con procesos particulares de manera que evidencie un rango de estructuras características. Estas características corresponden a los espesores, redondez y ordenamiento interno, tamaño de grano y relación clastos matriz, según lo propuesto por Miall (1996).

5.3.2 Análisis granulométrico de gravas

Para la realización del análisis granulométrico de gravas fue necesario realizar el método de malla de puntos, el cual consiste en realizar un conteo de 100 puntos por medio de una

mallas de 1 metro por 1 metro (Figura 4), que se encuentra dividida en su interior por cuadrículas de 10 cm.



Figura 4. Malla de puntos utilizada durante el trabajo de campo

Para el conteo de cada punto es necesario tener en cuenta el tamaño de grava y la redondez del material, así como la matriz predominante.

5.3.3 Muestras de material arenoso

Se realizó una recogida de muestras de material tamaño arena e inferiores, con el objetivo de realizar un análisis granulométrico. Para ello se tomaron 9 muestras de arena en el área de estudio para posteriormente hacer el tamizado y pesado de las muestras.



Figura 5. Muestra de arena tomada a orillas del río. Estación 17.

5.3.4 Medición del caudal

Para la medición del Caudal en el Río Guamal en el sector correspondiente al área de estudio se utilizó el método del flotador, el cual consiste en lanzar una pelota liviana al río con el fin de conocer el tiempo que se demora en recorrer una distancia conocida en un tramo homogéneo del caudal (Figura 6). Así mismo, es necesario conocer el área transversal del río, por lo que se procede a medir el ancho y la profundidad media del río. Este procedimiento se realizó para varios sectores homogéneos del río.

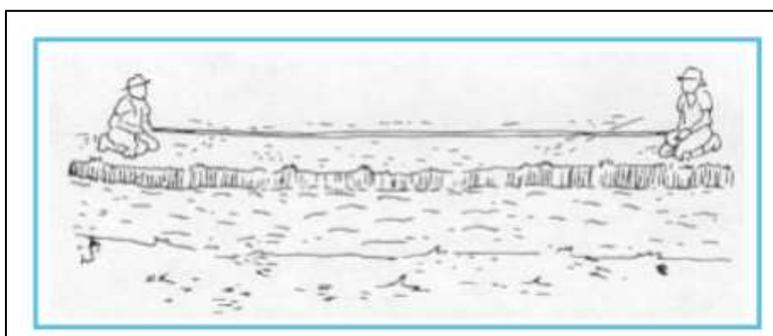


Figura 6. Ilustración del método del flotador para la medición del caudal. Tomado de Dirección general de infraestructura agraria y riego.



Figura 7. Método del flotador utilizado en campo.

5.3.5 Medición del sentido de la corriente

Para la medición del sentido de la corriente fue necesario identificar las estructuras que indican corrientes tales como ripples y crescent marks, y tomar los datos en términos de azimut para la dirección que presentan estas estructuras. Posteriormente, con la brújula se toman los datos del sentido de la corriente actual en las barras del río Guamal analizadas.

5.4 Fase de laboratorio

5.4.1 Tamizado y pesado de las muestras

Primeramente, se dejaron las muestras secando, debido a que este procedimiento es necesario realizar con la muestra completamente seca. Posteriormente en el laboratorio de suelos, concretos y pavimentos de la empresa NHSQ S.A.S INGENIERIA, donde se procedió a realizar el pesaje y tamizado de cada una de las muestras de arena recolectadas en campo.

5.5 Fase de oficina

En esta fase del trabajo se realizó el procesamiento de los datos recolectados en la fase de campo y laboratorio. Para lo cual se realizó el cálculo de parámetros estadísticos a partir de los datos de pesos obtenidos de las muestras de arena recolectadas en campo y que fueron tamizadas y pesadas durante la fase de laboratorio. El cálculo de parámetros estadísticos se calcula mediante las fórmulas de Folk & Ward (1957), junto con el procesamiento mediante histogramas y graficas de semi probabilidad para calcular los parámetros correspondientes a la media, mediana, selección y angulosidad.



Posteriormente, se procede a realizar las descripciones faciales obtenidas en campo, basándose en la propuesta de Miall (1996), con el objetivo de determinar la arquitectura facial del río y las características sedimentológicas de la zona.

Así mismo, se procede a calcular el índice de sinuosidad mediante la utilización del software SAS-Planet para la descargar de imágenes satelitales en alta resolución, y a continuación, mediante la herramienta ArcGIS se procedió a digitalizar la imagen, para determinar la longitud del índice del canal, del valle y del aire, según la propuesta utilizada por Muller (1968).

Para la determinación del sentido de la corriente, se utiliza el software Grapher 15 para realizar diagramas de roseta en el que se grafican las direcciones del rumbo, transformado en azimut, de las formas de fondo y otras estructuras encontradas en campo.

Por último, mediante la adquisición de las imágenes satelitales de la zona de estudio de diferentes años en el IGAC (1987 – 2000 -2015 – 2020), se procedió mediante el software ArcMap a digitalizar cada una de estas imágenes, para así evaluar los cambios que ha sufrido en relación al grado de estabilidad del curso, variaciones de su dinámica fluvial y los cambios en la configuración del canal principal y los canales secundarios.

6 GENERALIDADES

6.1 Climatología

El municipio de Castilla La Nueva según el IDEAM; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2012) presenta un ciclo anual bimodal con dos meses de máxima precipitación (mayo y octubre)

6.1.1 Temperatura

El municipio de Castilla La Nueva, se encuentra a 350 m.s.n.m. presentando unas temperaturas aproximadas de 23 a 27 °C. Los meses más calientes corresponden a los meses más secos que son enero, febrero y marzo, mientras que las menores temperaturas se presentan durante los periodos húmedos.

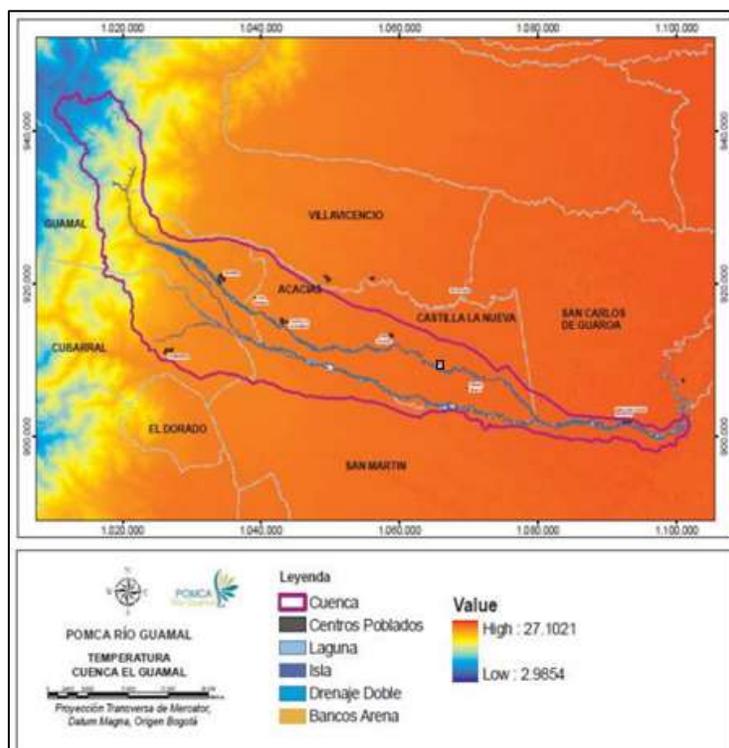


Figura 8. Distribución espacial de la temperatura en la cuenca del río Guamal.

Fuente: UT POMCA Río Guamal 2013

6.1.3 Evapotranspiración

Corresponde a la suma de la evaporación del agua desde la tierra y la transpiración de las plantas y los seres vivos, es decir la cantidad de agua saliente del sistema hacia la atmósfera en forma de vapor de agua, siendo condicionada principalmente por la disponibilidad de agua, disponibilidad de energía para el cambio de estado del agua y las condiciones aerodinámicas para la asimilación y transporte del vapor de agua. Teniendo en cuenta esto, según el POMCA del Río Guamal, 2013 las épocas de mayor evapotranspiración correspondiente a los periodos secos, donde hay menor precipitación (140 mm), en cambio las épocas donde hay mayor precipitación se presentan los menores valores de evapotranspiración (90 mm).

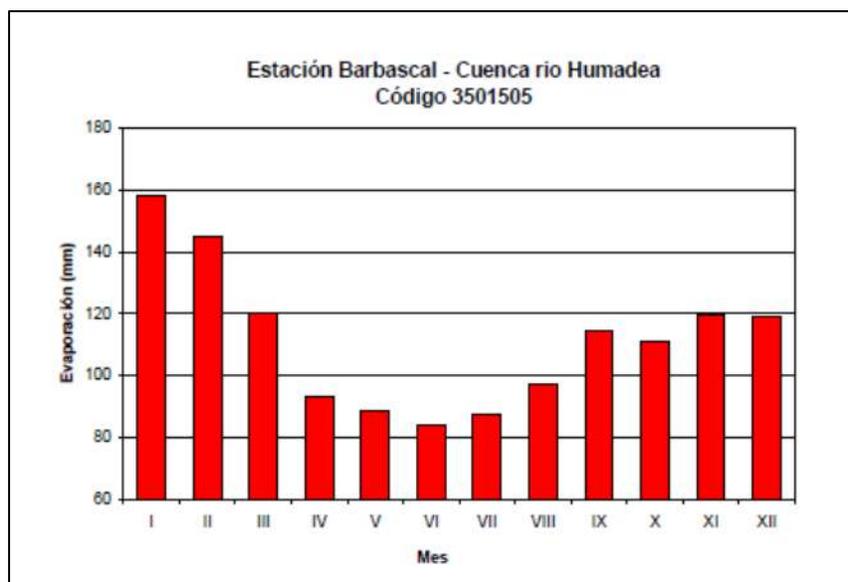


Figura 10. Distribución espacial de la evapotranspiración potencial en la cuenca del río Guamal.

Fuente: UT POMCA RIO GUAMAL, 2013.

6.1.4 Brillo solar

Según el IDEAM (Área operativa N°3. Año 2004) el promedio de brillo solar en la zona de estudio es de 1699 horas de brillo solar por año, que es un promedio sacado de la estación meteorológica de la Hacienda Barbascal entre 1992 y 2003.



6.2 Marco geológico

Basado en la memoria explicativa – Geología de la plancha 285 San Martín- Escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano se realizó un acercamiento preliminar de la geología regional del área a intervenir.

En general la cuenca de los llanos orientales corresponde a una cuenca ante país, que se desarrolló durante el paleozoico que permitió la depositación de sedimentos marinos y comenzó una etapa de fallamientos normales. Posteriormente, en el Mesozoico la cuenca incrementa su apertura, que a su vez genera una cuenca intra-arco relacionada a arcos magmáticos por subducción. Más adelante, se inicia un régimen transpresivo debido a la subducción de la corteza oceánica con el continente, generando el levantamiento de la cordillera central, deteniéndose en el Cretácico.

Durante el Cenozoico debido a los esfuerzos compresionales y el levantamiento previo de la cordillera central, se generó una megacuenca que incluía el Valle Medio del Magdalena, los Llanos Orientales y la cordillera oriental, donde posteriormente se depositaron sedimentos continentales por encima de los sedimentos marinos. Por último, en el Paleógeno se levantó la cordillera oriental en donde continuaron depositándose sedimentos continentales.

6.2.1 Estratigrafía

**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA
DE LA PLANCHA 285**

sin escala

ERA	PERIODO	EPOCA	UNIDAD	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN LITOLOGICA
	CUARZO		Q2ol, Q2co Q1c		(Q2ab): Compuestos por cantos de cuarzoarritas y cuarzo lechoso de tamaño guijos y bloques en una matriz arenosa arcillosa. (Q2co): Conformados por clastos angulares en una matriz arcillosa, mal clasificada, no estratificados (L2001). Conformados por gravas de cuarzo lechoso, clastos de areniscas y clastos metamórficos en una matriz arcillosa.
	CUARZO		FORMACIÓN LA CORNETA		Secuencia cáctica compuesta exclusivamente de gravas con guijos a gujarros de areniscas cuarzosas de color gris marrón (5YR 4/1) y cuarzo lechoso hasta de 80 cm de diámetro, cementados en una matriz arcillosa fuertemente meteorizada. Los clastos son



Figura 11 Columna generalizada de la plancha 285. Tomada de Ingeominas, 2015

6.2.1.1 Cretácico

6.2.1.1.1 Formación Une

Esta unidad fue definida inicialmente por Hubach (1957), quien se refirió a la secuencia arenosa que aflora entre Chipaque y Cáqueza, denominándola Areniscas de Une. Renzoni



en 1962 la definió como Formación Une y posteriormente Rodríguez et al (2000) dividió la formación en tres miembros:

- **Miembro Arenisca Inferior:** Este miembro está compuesto por areniscas de grano fino en la parte inferior del segmento y areniscas gruesas en la parte superior. Comúnmente presenta estratificación cruzada y fragmentos de carbón y plantas.
- **Miembro Lodolita Media:** Compuesto principalmente por lodolitas negras con fragmentos de plantas y carbón. Además, presenta capas de cuarzoarenitas.
- **Miembro Arenisca Superior:** El miembro superior presenta areniscas de grano fino y media que al igual en el inferior va incrementando su tamaño hacia la parte superior del segmento. En algunos sectores se observan pequeñas láminas de lodolitas negras bioturbadas y presentan glauconita comúnmente en las zonas media y superior del miembro.

Se definió una edad Albiano - Cenomaniano para esta unidad, mediante análisis de fauna y palinomorfos recolectados en el sector de Villavicencio y que fueron realizados por diversos autores en Rodríguez, 2000. La Formación Une se encuentra en contacto concordante con la Formación Chipaque en su parte superior y con la Formación Fómeque en su parte inferior, además está limitada al sur por la Falla Ariari, al occidente por la Falla del Río Grande y al Este por la Falla de Algeciras. (INGEOMINAS, 2015)

6.2.1.1.2 Grupo Palmichal

El Grupo Palmichal lo definió inicialmente Ulloa & Rodríguez (1976), como una sucesión de arenitas y conglomerados finos con intercalaciones de lutitas que consta de una serie de



areniscas cuarzosas de grano medio, grueso a conglomerático y que presenta intercalaciones de arcillolitas grises con estratificación cruzada (Pulido & Gómez, 2001).

Vergara y Rodríguez, 1996, dividió el Grupo Palmichal en dos unidades:

- Arenita Inferior: Esta sección se encuentra conformada principalmente por cuarzoarenitas finas a muy finas con una matriz arcillosa, además en algunos sectores presenta lilitas con láminas de limolitas de cuarzo, que se correlacionan con la Formación Plaeners, arenitas fosfáticas finas a medias, y con cementos calcáreos y fosfáticos. (Vergara y Rodríguez, 1996)
- Arenita Superior: Está compuesta principalmente por cuarzoarenitas y sublitoarenitas con altos fragmentos de cuarcita. Se caracteriza por tener una variación textural de base a techo, siendo en la parte inferior inmaduras a submaduras, con tamaños de grano desde muy grueso a fino, y maduras en el techo donde prevalece el tamaño de grano medio. (Vergara y Rodríguez, 1996)

Se encuentra suprayaciendo discordantemente a las metasedimentitas Grupo Guejar. En su parte superior se encuentra en contacto concordante con las arcillolitas de la Formación San Fernando y algunos depósitos aluviales recientes. Mediante análisis paleontológicos se determinó una edad Campaniano – Maastrichtiano, en base a la *Ostrea abrupta D'Orbigny*. (Pulido & Gomez, 2001; Ingeominas, 2015)



6.2.1.2 Paleógeno

6.2.1.2.1 Formación Arenisca del Limbo

Fue definida inicialmente por Hubach, 1941 en Van Der Hammen, 1957, en el que se refiere a la formación a una secuencia de areniscas conglomeráticas, arcillas, areniscas y lutitas que se encuentran cerca al caserío de El Limbo.

La unidad se encuentra conformada principalmente por alternancias de areniscas conglomeráticas con clastos tamaño guijo, y conglomerados con cantos subredondeados de cuarzo. Se encuentra suprayacida por alternancias de arcillolitas y lutitas y en la parte superior de la formación se encuentra areniscas cuarzosas blancas, de grano medio a conglomerático (INGEOMINAS, 2015).

Esta formación se encuentra afectada por la Falla Algeciras en su parte inferior, mientras que en la parte superior presenta un contacto concordante neto con las arcillolitas de la Formación San Fernando. Ulloa & Rodríguez (1976) determinaron una edad Eoceno Superior – Oligoceno, basados en análisis de palinomorfos como esporas y polen.

6.2.1.2.2 Formación San Fernando

Esta formación fue nombrada por primera por Renz 1938 (en Van der Hammen, 1957), en la que describió la unidad como una serie de lutitas y arcillas laminares grises con intercalaciones de areniscas cuarzosas, estratificación cruzada y que afloran en la Mesa de Fernández (Sierra de la Macarena). Posteriormente se describe según Ulloa y Rodríguez (1976), como una serie de arcillas y arcillolitas grises con intercalaciones de areniscas cuarzosas y estratificación cruzada.



La unidad, litológicamente hablando consiste de arcillolitas y limolitas marrones y blancas con alteración supergénica que le da un tono rojizo. En algunos sectores, presenta intercalaciones de areniscas cuarzosas, gravas clasto-soportadas, clastos imbricados de cuarzo lechoso, chert, cuarzoarenitas y sublitoarenitas con matriz arenosa.

(INGEOMINAS, 2015)

La Formación San Fernando se encuentra en contacto discordante con el Complejo Garzón y el Grupo Palmichal en algunos sectores, y en otros sectores presenta un contacto inferior con la Formación Guayabero. También se encuentra cubierta y disectada en algunos sectores por depósitos de abanicos aluviales antiguos y depósitos aluviales recientes del río Güejar. Basado en dataciones palinológicas realizadas en varios pozos de la cuenca de los Llanos Orientales, Dueñas y Van der Hammen (2007) le dan una edad Oligoceno – Mioceno Medio. Según INGEOMINAS (2015) se le da una edad Mioceno Medio, basada en un análisis palinológico de un polen (*Grimsdaleamagnaclavata*).

6.2.1.2.3 Formación La Corneta

Inicialmente fue nombrada por Ulloa & Rodríguez (1976) para definir gravas interestratificadas con limolitas. Su nombre fue dado por la quebrada La Corneta ubicada en el municipio de Bogotá, en la localidad de Nazareth.

Litológicamente se encuentra compuesta de conglomerados que presentan clastos de lodolitas, arcillolitas y areniscas cuarzosas, las cuales se encuentran embebidas en una matriz arenosa cuarzosa de tamaño de grano fina a gruesa. Esta formación infrayace las



unidades correspondientes a los abanicos y terrazas que conforman la morfología de los llanos orientales.

6.2.1.3 Depósitos cuaternarios

6.2.1.3.1 Depósitos de abanicos aluviales antiguos

La unidad se encuentra en mayor extensión por todo el sector de los Llanos Orientales, y se encuentran conformados principalmente por conglomerados y brechas, que varían de tamaño desde guijos hasta bloques, y que presentan clastos con diferente madurez textural, llegando a ser desde redondeados a subredondeados. Los clastos están composicionalmente conformados por cuarzo lechoso y fragmentos de rocas ígneas tanto plutónicas como volcánicas, y dependiendo del sector, se puede encontrar tanto matriz soportados como clasto soportados. Los depósitos de abanicos más antiguos se encuentran disectados por ríos y quebradas, siendo posteriormente rellenados por depósitos aluviales recientes.

(INGEOMINAS, 2015)

6.2.1.3.2 Depósitos de abanicos aluviales subrecientes

Esta unidad corresponde a depósitos de abanicos aluviales más recientes que se emplazaron dentro de los canales que incisaron los abanicos antiguos, por lo tanto se encuentran morfológicamente en una altura menor.

Estos depósitos se encuentran constituidos por conglomerados clastosoportados inmaduros, con clastos que varían desde guijos hasta bloques, y que están compuestos por cuarzoarenitas, cuarzo lechoso y sublitoarenitas, embebidos en una matriz de arena fina a media. (INGEOMINAS, 2015).



6.2.1.3.3 Depósitos aluviales

Esta unidad corresponde a los depósitos más recientes que se encuentran en los llanos orientales, estando conformados principalmente por gravas sueltas de cuarzo lechoso, cuarzoarenitas y se encuentran dentro de una matriz arenosa. Estos depósitos fueron formados debido a la disectación de los abanicos aluviales antiguos que se encuentran en los llanos orientales, por los drenajes actuales.



Figura 12. Drenaje actual del Rio Guamal.

6.2.2 Geomorfología

En términos generales, la geomorfología de los llanos orientales está compuesta por zonas de montaña, piedemonte y terrazas que ocupan la margen con la cordillera oriental y las llanuras que se extienden por todo el oriente Colombiano. Esto se traduce en que la configuración geomorfológica de los llanos está conformada por tres tipos de ambientes morfogenéticos: estructural, denudacional y fluvial, y para las que se identificaron varias unidades geomorfológicas, ubicándose principalmente las estructurales y denudacionales en la zona montañosa y en el piedemonte de la cordillera oriental, mientras que las fluviales se encuentran formando la topografía de los llanos orientales.

Tabla 1. Ambientes geomorfológicos junto con unidades encontradas en la región. Tomado de: INGEOMINAS, 2015

AMBIENTE GEOMORFOLÓGICO	UNIDADES
ESTRUCTURAL	Facetas triangulares
	Ladera escalonada
	Ladera estructural
DENUDACIONAL	Mesa de abanico
	Sierra denudada
FLUVIAL	Abanico aluvial antiguo
	Abanico aluvial actual
	Abanico aluvial sub-reciente
	Cauce aluvial
	Terraza de acumulación
	Terraza aluvial

6.2.2.1 Ambiente estructural

Este ambiente corresponde a geformas en donde se evidencia la influencia geológica – estructural en la conformación del relieve, siendo principalmente por tectónica (plegamientos o fallamientos de los macizos rocosos).



Facetas triangulares:

Estas estructuras corresponden a planos subverticales abruptos, viéndose desde una vista de planta de manera triangular. Estas tienen origen debido a fallamiento, dado que existe un truncamiento y desplazamiento de relieves estructurales y que posteriormente por la erosión y la dinámica fluvial va generando estas geoformas. Estas geoformas se dan a lo largo del piedemonte llanero, siendo principalmente afectada la formación Guape, debido a la falla del Rio Ariari. (INGEOMINAS, 2015)

Ladera Escalonada:

Corresponde a superficies definidas por estratos que se encuentran dispuestos, de manera irregular a escalonada, a favor o en contra de la pendiente del terreno. Cada una de estas superficies se encuentra separada de la otra por escarpes abruptos y se originan debido a la incisión de los drenajes y al fracturamiento perpendicular a los estratos de la roca. Igual que las facetas, estas geoformas se dan en el piedemonte llanero y afectan principalmente a las formaciones Guape- Duda, debido a su alta actividad tectónica y erosiva. (INGEOMINAS, 2015)

Ladera Estructural:

Estas geoformas corresponden a superficies levemente inclinadas o escarpadas con estratos dispuestos a favor de la pendiente del terreno y que se encuentran definidas por planos preferentes como estratos, foliación o diaclasamiento. Esta estructura se encuentran reflejadas en el piedemonte llanero, más precisamente en las formaciones Guape – Duda. (INGEOMINAS, 2015)



6.2.2.2 Ambiente denudacional

Corresponde principalmente a geoformas que se originaron a partir de procesos denudacionales, es decir, procesos de meteorización, erosión y transporte de materiales terrígenos desde partes altas hacia laderas o partes planas, donde posteriormente se acumulan (INGEOMINAS, 2015).

Mesa de Abanico:

Las mesas de abanicos corresponden a superficies planas con una leve inclinación y que se encuentran formando las partes altas de los abanicos aluviales. Estas se encuentran limitadas por laderas escarpadas y que tienen su origen debido a procesos denudativos y erosivos sobre los abanicos. Se ubican cerca al piedemonte llanero, más exactamente en el comienzo de los llanos, donde se forman planicies con suave inclinación y que están siendo erosionadas por drenajes que se mueven paralelamente a la dirección de la inclinación del abanico (INGEOMINAS, 2015).

Sierra Denudada:

Estas sierras se generan debido a procesos erosivos acentuados que se pueden dar en cualquier tipo de sustrato rocoso. Corresponden a geoformas que presentan morfología montañosa y elongadas de laderas largas con grandes pendientes, donde se dan procesos erosivos y movimientos de masa frecuentes. Estas geoformas se ubican principalmente en la zona montañosa y piedemonte llanero, donde se encuentran las unidades estructurales. (INGEOMINAS, 2015).



6.2.2.3 Ambiente fluvial

Este ambiente incluye las geoformas que se originan a partir de procesos relacionados a actividad fluvial. El agua erosiona, transporta y deposita los materiales del río tanto en el lecho del canal como en las orillas, generando diversas geoformas asociadas.

Abanico Aluvial Antiguo:

Corresponde a formas de relieves depositacionales originadas en el piedemonte de un frente montañoso, debido a la descarga de sedimentos de un drenaje que al pasar de una topografía montañosa a una topografía plana o de llanura, se expande en forma de cono o radial, generando superficies relativamente planas con pendientes suavemente inclinadas.

Esta geoforma corresponde a los abanicos de mayor edad y se caracterizan por tener una gran cantidad de drenajes que cortan el abanico, por lo que se encuentran más incisados que los abanicos actuales y subrecientes, además presenta una topografía más alta y presenta escarpes con altas pendientes. Actualmente se encuentran en las partes más cercanas al piedemonte debido a que han sido cubiertos por los abanicos más recientes y han sido incisados por gran cantidad de drenajes (INGEOMINAS, 2015).

Abanico Aluvial Sub-reciente:

Corresponde a formas de relieves depositacionales originadas en el piedemonte de un frente montañoso, debido a la descarga de sedimentos de un drenaje que al pasar de una topografía montañosa a una topografía plana o de llanura, se expande en forma de cono o radial, generando superficies relativamente planas con pendientes suavemente inclinadas.



Estos abanicos son de una edad intermedia entre los abanicos antiguos y los actuales, se caracterizan por tener un proceso de incisión relativamente desarrollado, siendo sencillo reconocer la superficie superior de este. Se encuentran ubicados en la mayor parte de la cuenca de los llanos orientales (INGEOMINAS, 2015).

Abanico Aluvial Actual:

Corresponde a formas de relieves depositacionales originadas en el piedemonte de un frente montañoso, debido a la descarga de sedimentos de un drenaje que al pasar de una topografía montañoso a una topografía plana o de llanura, se expande en forma de cono o radial, generando superficies relativamente planas con pendientes suavemente inclinadas.

Posteriormente a su formación, se generan drenajes que fluyen radialmente y que va erosionando el abanico. Esta geoforma corresponde a los abanicos de menor edad relativa, y se caracterizan por no tener un proceso de incisión marcado, además que se encuentran recostados en abanicos más antiguos (INGEOMINAS, 2015).

Cauce Aluvial:

Corresponde a los canales actuales que circulan por la superficie, y presentan formas variadas dependiendo de la morfología del terreno, resistencia del material, carga de sedimentos y velocidad y fuerza del caudal. En llanuras los cauces son generalmente de tipo trenzado y/o meándrico, y cuando la cantidad de sedimentos es mayor a lo que la corriente puede soportar, se generan canales anastomosados y trenzados con extensas llanuras de inundación y barras de canal tanto laterales como centrales. En la cuenca de los

llanos orientales los principales ríos (Ariari, Guamal, Humadea) son de tipo anastomosado o trezado con extensas llanuras de inundación (INGEOMINAS, 2015).

En el área de estudio se encuentra el río Guamal, el cual presenta un cauce aluvial activo que se divide en varios canales y que tienen un ancho promedio de aproximadamente 15 metros en el canal principal, y de 8 metros en los canales secundarios. Siendo un total para la llanura del río de 100 metros de ancho aproximadamente en su zona más estrecha, y unos 320 metros de ancho en sus zonas más amplias.



Figura 13. Cauce actual del Rio Guamal en el área de estudio

Terrazas de Acumulación:



Estas geoformas corresponden a superficies alargadas, relativamente planas y que se encuentran limitadas por escarpes a lo largo de un río. Se generan por procesos de acumulación aluvial, incisión y erosión dentro de antiguas llanuras de inundación.

Generalmente ocurren en ríos con cauces rectos o meándricos. En los llanos orientales se encuentran asociadas a los abanicos aluviales cerca del piedemonte llanero.

(INGEOMINAS, 2015).

Terraza Aluvial:

Esta geoforma corresponde a superficies planas o levemente inclinadas, que se generan debido la ampliación del valle del río, causando que haya mayor erosión en las márgenes del cauce, ocasionando que los sedimentos que se encuentran rellenando las llanuras de inundación del río se ubiquen topográficamente más altos en forma en escalón que definiría la terraza.

Es importante aclarar que las geoformas relacionadas directamente al área de estudio corresponden a geoformas de ambientes fluviales, dado que se encuentra en la zona de abanicos aluviales, llanuras de inundación y barras de canal del municipio de Castilla La Nueva. (INGEOMINAS, 2015).

6.2.3 Geología estructural regional

El sector Oriental de Colombia se encuentra conformado principalmente por tres provincias estructurales correspondientes a la Provincia Cordillerana y de Piedemonte al Oeste y los Llanos al Este. La provincia Cordillerana se encuentra ubicada entre las provincias de los piedemontes orientales y occidentales de la cordillera oriental y que se encuentra dominada por un estilo estructural caracterizado por fallas de rumbo con componente inverso en basamentos cristalinos, siendo la principal estructura la Falla de Algeciras Sur.

(INGEOMINAS, 2015)

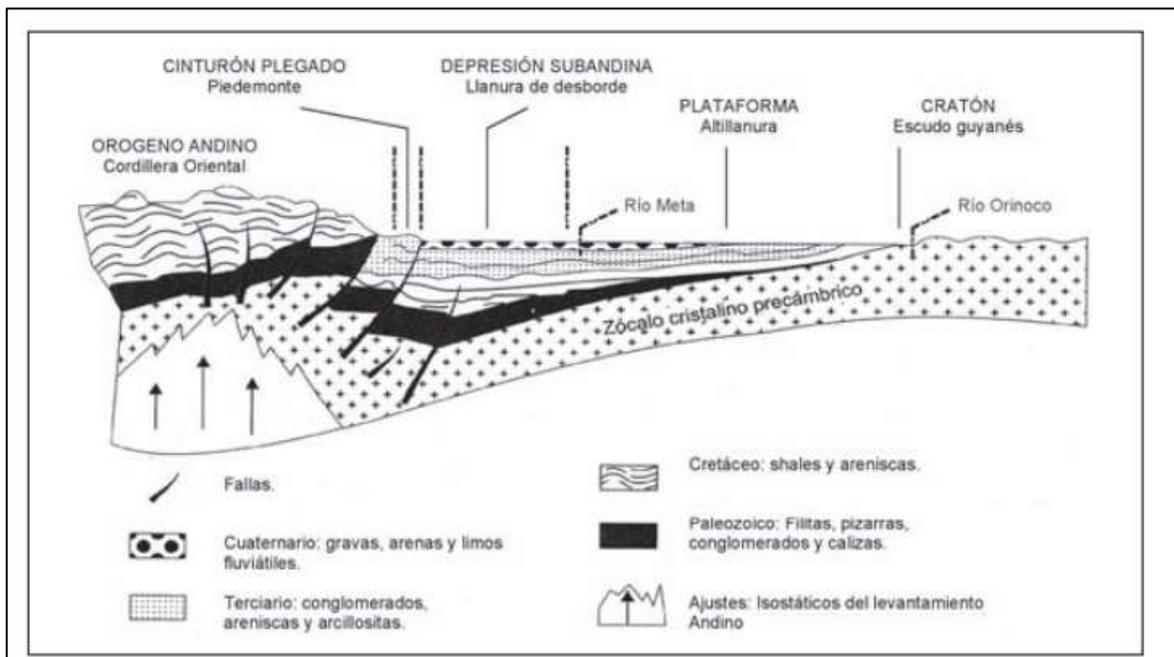


Figura 14. Corte morfoestructural esquemático de la región del departamento de Meta.

Tomado de adaptación de Galvis (1984) en Aguirre et al. 1999.



Las provincia del piedemonte está caracterizada principalmente por presentar pliegues anticlinales y sinclinales, producto de la propagación de las fallas correspondientes al Sistema Algeciras. Estas estructuras se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios (INGEOMINAS, 2015).

Por último, la provincia de los Llanos presenta lineamientos estructurales que fueron identificados mediante imágenes LANDSAT y un modelo digital de Terreno (INGEOMINAS, 2015), en el que se pudieron determinar direcciones preferenciales NE-SW y NW-SE. Igualmente, lineamientos que controlan drenajes como el Rio Ariari, debido a la continuación de la Falla Ariari en la provincia de los Llanos.

7 FACIES SEDIMENTARIAS

Para realizar una correcta interpretación y caracterización sedimentológica de un ambiente sedimentario es necesario la identificación y descripción de facies sedimentarias, las cuales se definen como las características texturales, composicionales y estructurales de un depósito sedimentario que resulta de la acumulación y modificación dentro de un ambiente sedimentario particular

Sin embargo para la identificación de facies sedimentarias en la zona de estudio, solamente se tuvieron en cuenta las características litológicas y texturales (tamaño de grano, forma del grano, selección, madurez, etc.) de los depósitos sedimentarios, dado que el área de trabajo solamente presenta depósitos cuaternarios de ríos trenzados. Se tuvo en cuenta la teoría de Miall (1985) y Miall (1996).

Tabla 2. Clasificación de facies encontradas en la zona de estudio, basándose en Miall (1985)

CODIGO FACIAL	FACIES	ESTRUCTURA SEDIMENTARIA	INTERPRETACIÓN
Gmm	Grava masiva matriz soportada	Gravas masivas embebida en una matriz de arena fina a muy gruesa	Generado en un régimen de flujo medio-alto, en el cual la corriente transporta materiales tamaño grava o superiores, pero permitiendo la depositación de arenas y materiales más finos
Gcm	Grava masiva clasto soportada	Gravas masivas	Flujos de corriente de alta energía
Gh	Grava con estratificación paralela	Estratificación paralela de las gravas	Corresponden a un régimen de flujo alto, y que se depositan principalmente por el apilamiento de carpetas tractivas.

CODIGO FACIAL	FACIES	ESTRUCTURA SEDIMENTARIA	INTERPRETACIÓN
Sr	Arena fina a muy gruesa con ripples asimétricos	Ondulitas	Ripples de régimen de flujos bajos
Sm	Arena fina a muy gruesa	Masivo o con laminación poco apreciable	Generado por el asentamiento gravitacional de las arenas en una corriente de flujo lento
Sh	Arena fina a muy gruesa. Puede presentar gránulos	Laminación paralela	Lechos planos de un régimen de flujo bajo

7.1 Interpretación de facies

7.1.1 Gravitas masivas matriz soportadas (Gmm):

Estas facies se encuentran constituidas por gravas tamaño guijo (60%), guijarro (30%) y gránulos (10%), mal seleccionados que van desde subangulares a subredondeados. Se encuentran embebidos en una matriz de tamaño arena fina, con espesores que van desde 50 cm a 1 m. Litológicamente, presentan rocas sedimentarias como cuarzoarenitas, lutitas, y rocas metamórficas. Estas facies se encuentran tanto en el tramo norte como en el tramo sur del área de estudio y se encuentran en barras longitudinales, en las laderas del cauce principal del río, y se encuentran asociadas a las facies Gh y Sm.

Interpretación: Son generadas durante un flujo alto de energía, que permiten el transporte prolongado de los sedimentos, y su posterior depositación. Sin embargo, dado que las gravas no se encuentran en contacto entre sí, se puede concluir que la corriente no tenía la suficiente energía para transportar grandes cantidades de gravas o que la corriente no presentaba grandes cantidades de sedimentos.



Figura 15. Facies gravas matriz soportada, constituida principalmente por clastos tamaño guijo, guijarro, embebidos en una matriz de arena fina.

7.1.2 Gravas con estratificación paralela (Gh):

Estas facies se encuentran constituidas principalmente por gravas tamaño guijos (70%) y guijarros (30%) con granos bien seleccionados, angulares a subangulares embebidos en una matriz de tamaño de grano arena media a fina, con espesores que varían desde 10 cm hasta 5 cm. Litológicamente se encuentran constituidos por cuarzoarenitas y lutitas. Se presentan principalmente en el tramo norte, más presenta menos concentración en el tramo sur en barras longitudinales en las orillas del cauce principal del río Guamal, y se encuentran asociadas principalmente a las facies Gcm y Sh.

Interpretación: Estas facies se generan por corrientes con alto flujo de energía, ya que permiten el transporte de sedimentos tamaño grava; posteriormente hay una disminución en el flujo de energía del río, depositando los sedimentos. Las gravas no presentan una estratificación bien definida al momento de su depósito, por lo que se generan paquetes de capas con estratificación paralela.



Figura 16. Gravas con estratificación paralela, constituidas principalmente por guijos y guijarros, bien seleccionados, subangulares a angulares.

7.1.3 Gravas masivas clasto soportadas (Gcm):

Esta facies presenta gravas masivas clasto soportadas con tamaños de grano entre guijos (56%), bloques (28%) y guijarros (10%) que se encuentra en contacto entre sí, con granos subredondeados a subangulares y que se encuentran constituidos principalmente por clastos de cuarzoarenitas, lutitas y relictos de rocas metamórficas. Presenta una matriz de tamaño de grano arena fina, mal seleccionada. Se encuentra en las laderas del cauce del río, principalmente en el tramo norte, en espesores aproximados de 1 a 1,5 metros de altura. Estas facies se encuentra asociada a las facies Gh (Gravas con estratificación paralela).

Interpretación: Las facies Gcm según Miall, 1996, son generadas por corrientes con alto flujo de energía, en la cual los sedimentos son transportados y acumulados en las orillas y barras de los ríos. Estas facies generan formas de lechos longitudinales.



Figura 17. Facies gravas masivas clasto soportadas, con clastos predominantemente guijos y bloques subredondeados a subangulares. Se encuentra localizado en las laderas del cauce actual del rio.

7.1.4 Arena fina a muy gruesa con ripples asimétricos (Sr):

Esta estructura se encuentra constituida principalmente por sedimentos tamaño arena fina (52%) a muy fina (36%), muy bien seleccionada. Estas arenas se presentan principalmente en las laderas de los cauces actuales del rio Guamal, cuando las olas chocan contra las barras laterales del rio. Presenta espesores de aproximadamente 50 cm. Estas facies se encuentran asociadas a Sm y Sh. Se localizan en el tramo norte principalmente.

Interpretación: Facies generadas cuando la corriente choca lateralmente contra las márgenes del canal durante etapas de baja energía de la corriente, lo que genera un movimiento bidireccional sobre el fondo (Díaz, 1984).



Figura 18. Arenas finas a muy finas que presentan ripples asimetricos producto de corrientes que chocan lateralmente contra las margenes del canal.

7.1.5 Arena masiva fina a muy gruesa (Sm):

Se encuentran constituidas por arenas finas (57%) a muy finas (28%), con granos moderadamente seleccionados de subredondeados a subangulares. Estas facies se presentan en las márgenes de las barras longitudinales del rio, así como sus partes internas. Se encuentran en grandes espesores de hasta 1 metro, y en algunas ocasiones presentan clastos tamaño guijarro (Figura 19). Según los estudios de campo, están asociadas a las facies Sh. Estas facies se encuentran localizadas en los dos tramos del área de estudio en una gran proporción.

Interpretación: Presentan laminaciones en el momento de su depositación, y posteriormente sufren cambios postdepositacionales que enmascaran los patrones de ordenamiento interno. Se generan principalmente por asentamiento gravitación en corrientes con una baja energía de flujo (Miall, 1996).



Figura 19. Arenas masivas constituidas principalmente por arenas finas a muy finas, moderadamente seleccionadas y que presentan clastos de gravas tamaño guijarro interrumpiendo su continuidad.

7.1.6 Arena con laminación paralela (Sh):

Facies constituidas principalmente por arenas muy finas (42%) a finas (34%), moderadamente seleccionadas, con clastos sub angulares a sub redondeados. Se presentan en las barras longitudinales del rio. A primera vista, pareciera que tuvieran una estratificación inclinada u ondulada (Figura 20), sin embargo al momento de hacer un corte transversal se puede observar la laminación paralela. Los espesores son de unos pocos centímetros, llegando hasta 15 o 20 cm, y se encuentran asociadas a las facies Sm; además se encuentran localizadas en ambos tramos del área de estudio.

Interpretación: Estas facies se generan principalmente en condiciones de flujos planares (Koster & Steel, 1984) que ocurren debido a eventos canalizados de menor energía provocando flujos turbulentos longitudinales. Generalmente, esta facies ocurren en sedimentos de tamaño arena fina a media en velocidades de corriente de alrededor de 1 m/s y profundidades someras de entre 0.25 a 0.5m (Miall, 1996)



Figura 20. Facies de arenas con laminación paralela, donde se puede observar en la imagen de la izquierda, la laminación paralela, mas en la foto de la derecha, presenta una ondulación producto del corte en el que se observa, dado que al realizar un corte transversal, se puede seguir apreciando la laminación paralela.

7.2 Otras estructuras

7.2.1 Crescent Marks

Esta estructura se presenta en los dos tramos definidos para el área de estudio, principalmente en las barras alrededor del cauce actual, y se caracterizan por depresiones en forma de conos o herraduras alrededor de un obstáculo (Pye and Tsoar 1990), en este caso una roca tamaño bloque, que no ha sido movido debido a que la corriente no tiene suficiente fuerza (Figura 21). Esta corriente choca contra el obstáculo produciendo una excavación en la parte frontal de este, y provocando que la corriente rodee el objeto, dando una forma de herradura, y generando una depositación de sedimentos detrás del obstáculo, teniendo en cuenta esto, este tipo de estructuras son muy importantes para el estudio dinámico dado que permiten determinar el sentido de la corriente.

En la Figura 21 se puede observar el obstáculo y la excavación que se genera en su parte frontal debido a la corriente; esta estructura se dio principalmente en arenas finas y en sus partes laterales se depositaron gravas tamaño guijo y guijarros, y en su parte posterior se encuentran arenas medias a finas.



Figura 21. Crescent marks encontrados en la zona de estudio, que se desarrolla en sedimentos de tamaño arena fina, con depositación de gravas tamaño guijo a guijarro en sus partes laterales y arena media a fina en su parte posterior.

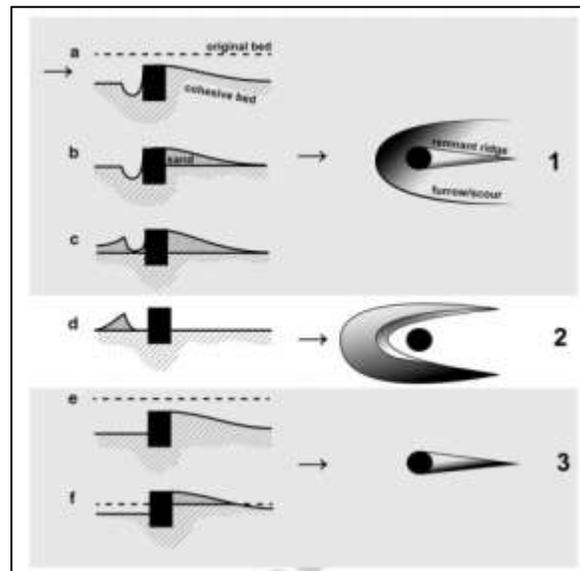


Figura 22. Crescent marks. Variedades deposicionales y mixtas de medias lunas y sombras formadas por corrientes unidireccionales. Área discontinua: lecho cohesivo; área punteada: arena; y línea discontinua: lecho original. La corriente viene de la izquierda, se presentan diferentes situaciones: (a, b, c), donde la erosión produce una socavación en media luna, corresponde a una vista en planta de (1); situación (d), donde solo la deposición ocurre, corresponde a (2), y situación (e, f), donde una cresta aerodinámica se produce detrás del obstáculo, corresponde a (3) (Tomado de Henrik Hargitai, 2014)

7.2.2 Bioturbación

Las bioturbaciones son estructuras irregulares, que cortan o perturban la estratificación y la cual es producida por la acción de organismos vivos, como organismos excavadores,

huellas de animales sobre sedimentos o incluso raíces. Estas bioturbaciones se encuentran durante todo el trayecto visitado en la zona de estudio.

En las barras estudiadas en el río Guamal se encontraron burrows (Figura 23 A, B, D), que corresponden a estructuras formadas por organismos excavadores como gusanos, hormigas, insectos y otros tipos de animales, al enterrarse y generar sus madrigueras. Estas estructuras presentan formas alargadas, irregulares y profundidades de aproximadamente 2 milímetros. Además, en la Figura 23 C se pueden observar huellas de aves que se formaron por las pisadas de estas al aterrizar y desplazarse a través del sedimento, generando huellas con morfologías alargadas y rectilíneas.



Figura 23. Estructuras de bioturbación encontradas en el área de estudio. La figura 15 (a, b, d) corresponden a bioturbaciones generadas por organismos excavadores como gusanos, insectos, etc. (burrows). La figura 15 c, corresponde a huellas de aves que se posaron sobre sedimentos finos.

7.2.3 Grietas de desecación

Este tipo de estructuras se genera en materiales arcillosos cuando el material absorbe agua, y posteriormente es deshidratado por la exposición sub aérea, generando una contracción



del material y posterior expansión, causando que el terreno se fraccione en particiones poligonales. Este tipo de estructuras son muy buenas indicadores de polaridad y de exposición sub aérea del terreno. En la zona de estudio se presentan principalmente en las barras laterales que se encuentran alejadas del cauce actual del rio y que durante un tiempo no han sido inundadas por este.



Figura 24. Grietas de desecación generadas en barras que han tenido poca actividad del cauce actual y que se han visto expuestas durante mucho tiempo al sol.

8 CLASIFICACIÓN DE FORMAS DE FONDO

Las formas de fondo o ripples son estructuras que pueden reflejar las características de los tipos y las diferentes fuerzas de las corrientes que arrastran y depositan los sedimentos. Estas características corresponden principalmente al tamaño de sedimento transportado, que suele ser generalmente limos gruesos y arenas de grano fino a medio, velocidad de la corriente (Figura 25) y profundidad según Miall, 1996.

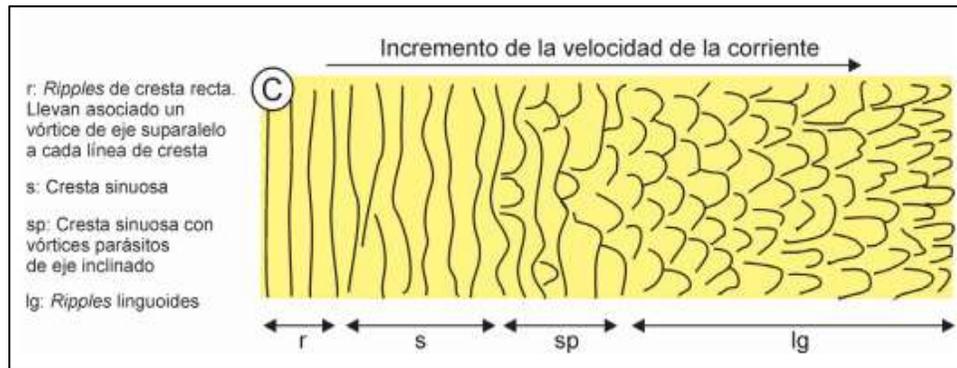


Figura 25. Variación de las formas de fondo en función de la velocidad de la corriente. Tomado de Sánchez y Sopeña (2015)

Para la clasificación de las formas de fondo se debe tener en cuenta el tamaño de las ondulaciones dado que se diferenciaría entre un ripple y una duna (Figura 26).

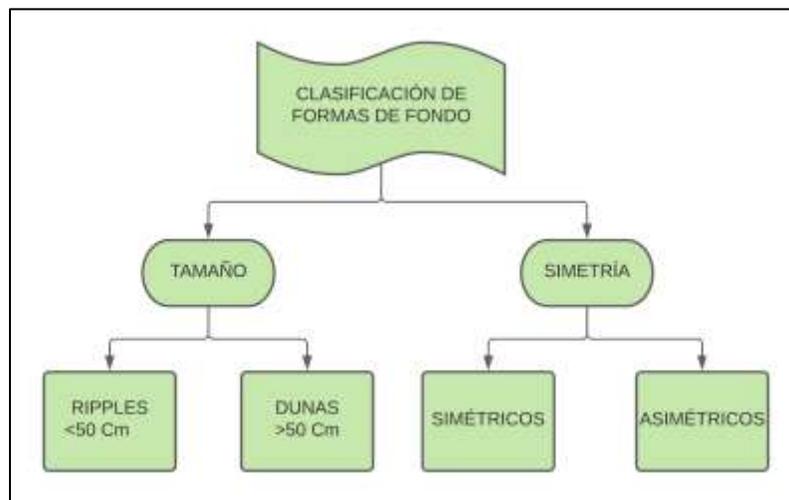


Figura 26. Clasificación generalizada de formas de fondo en función de tamaño y simetría.

Para la clasificación de los ripples es necesario tener en cuenta varias características como lo pueden ser amplitud de la onda, morfología, continuidad de las crestas y el tamaño de grano en el cual se formaron, debido a que las ondulaciones presentan gran variedad de formas dependiendo de procesos sedimentarios particulares. Es importante aclarar que la morfología de la ondulación no es del todo precisa para dar una interpretación acertada, más sin embargo, se debe tener en cuenta para dar un resultado más preciso.

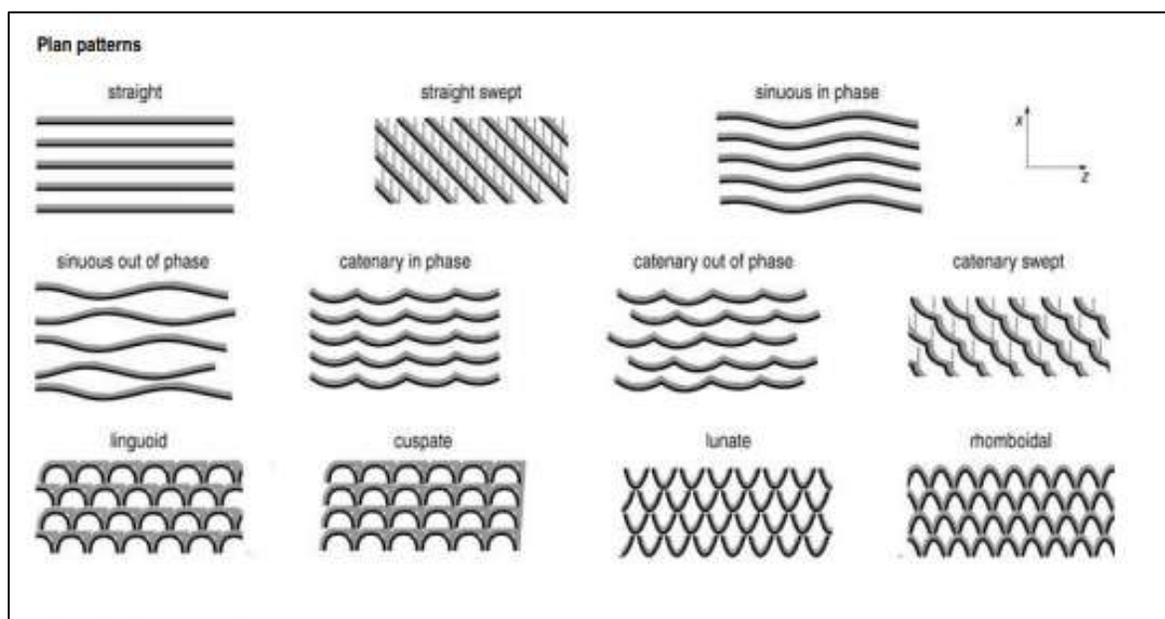


Figura 27. Diagramas para la definición y clasificación de los ripples. Tomado de Collinson et al. 2006

Teniendo en cuenta todo esto, se utilizó la clasificación de ripples otorgada por Collinson et al. 2006 (Figura 27), para la clasificación de las estructuras de fondo encontradas en el área de estudio.

8.1 Ripples rectilíneos asimétricos

Estos ripples se encuentran principalmente en los bordes de los canales, donde la corriente es muy baja. Presentan crestas y valles rectos con buena continuidad, con una longitud de onda de aproximadamente 4 cm, y que se acomodan paralelos entre sí (Figura 28). Estas

estructuras se forman en sedimentos correspondientes a arena fina a media, muy bien seleccionada.



Figura 28. Ripples rectilineos asimetricos encontrados al borde del canal, constituido principalmente por arenas finas a medias.

8.2 Ripples linguoides

Estas estructuras se generan principalmente en zonas con altas velocidades de la corriente y donde predomina un tamaño de grano de arena media a gruesa, con muy buena selección. Presentan espesores que varían desde 15 a 30 cm, y longitudes de onda de aproximadamente 5 cm. En el área de estudio se generan cuando hay crecientes del río, debido a que la profundidad en estas zonas no supera los 50 cms, generando condiciones aptas para la formación de este tipo de ripples.



AGENCIA PARA LA
INFRAESTRUCTURA DEL META
NIT. 900 220 547-5



Figura 29. Ripples linguoides constituidos por arenas medias a gruesas con crestas discontinuas, que se presentan en las barras laterales de los rios en epocas de inundación

9 GRANULOMETRÍA

9.1 Análisis granulométrico de gravas

Se realizó este análisis con el fin de conocer la distribución de materiales tamaño grava en las barras centras y laterales que conforman el rio Guamal; para lo cual se procedió a realizar el método de conteo de puntos mediante una malla de 1m x 1m, dividida internamente cada 10 cm (Figura 30). Durante el proceso del conteo de 100 los puntos, se identifican el tamaño de los clastos según la clasificación de Udden - Wentworth (1922), y la redondez y esfericidad según Powers (1953).



Figura 30. Malla de puntos de 1m x 1m utilizada para realizar el análisis granulométrico de gravas en campo

Se tomaron 8 conteos de puntos en las diferentes barras que conforman la zona de estudio, observándose en la Figura 31 la localización de cada una de las mallas tomadas en campo, y que son representadas en diagramas circulares según el tamaño de grano, teniendo en cuenta que se contarían bloques, guijos, guijarros, gránulos y matriz, además de diagramas circulares de redondez (Figura 32 y Figura 33).



Figura 31. Ubicación de las mallas realizadas para la clasificación granulométrica de gravas

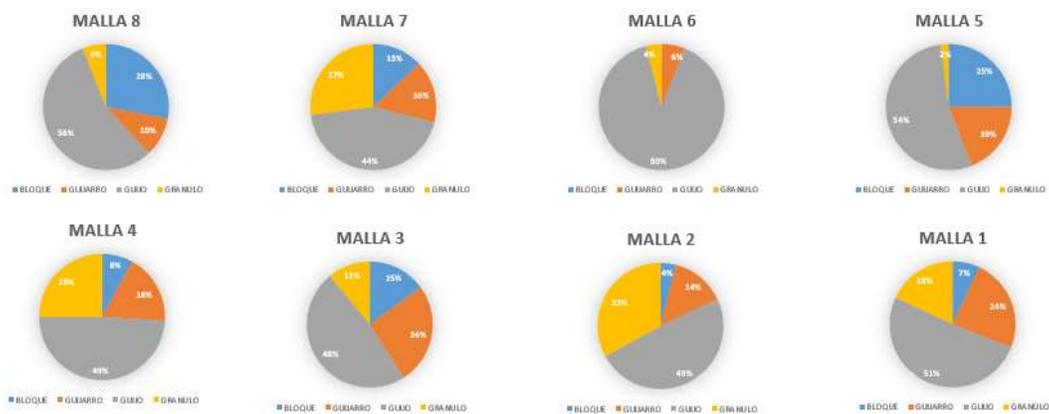


Figura 32. Diagramas circulares que representan las 8 mallas según su tamaño de grano. Basado en clasificación de Udden - Wentworth, 1922

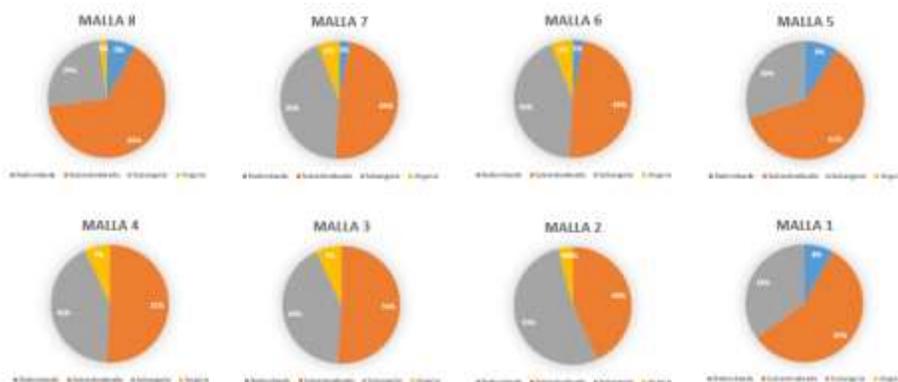


Figura 33. Diagramas circulares que representan las 8 mallas según su grado de redondez. Basado en clasificación de Powers, 1953.

Basándose en los resultados obtenidos, se puede concluir que el río Guamal presenta en la zona de estudio un predominio de guijos (55%), guijarros (16%) y gránulos (15%), tanto en el tramo norte como el tramo sur; además presenta en algunas zonas, principalmente el tramo norte, una gran concentración de clastos tamaño bloque, producto de alto flujos de energía. Y teniendo en cuenta los diagramas circulares de redondez, se puede concluir que en ambas zonas predominan principalmente guijos subredondeados a subangulares.

9.2 Análisis granulométrico de arenas

Para realizar el análisis granulométrico de arenas, se procedió a tomar 9 muestras de sedimentos tamaño arena en varias sectores del área de estudio (Figura 34), teniendo las muestras 1,2,3,4,5,8 en el tramo norte y las muestras 6,7,9 en el tramo sur, con el objetivo de realizar un análisis granulométrico del río.



Figura 34. Mapa de ubicación de las muestras de arenas tomadas para la clasificación granulométrica

Para el tamizado de las muestras se utilizó el laboratorio de suelos, concretos y pavimentos de la empresa NHSQ INGENIERIA SAS, en la cual se realizó el pesaje de 200 gramos de arena por cada muestra, para posteriormente realizar un tamizado por vía seca. Adicional a esto, se pesaron los sedimentos tamizados en una balanza analítica, teniendo en cuenta las cantidades obtenidas por cada tamiz, y posteriormente se anotaron los respectivos datos de acuerdo al número de muestra (Tabla 3), para continuar con el análisis granulométrico.

Tabla 3. Resultados obtenidos del tamizado por vía seca de las muestras de arena recogidas en el área de estudio

CLASIFICACIÓN	TAMAÑO (mm)	NUMERO DE MUESTRA								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		PESO (gr)								
Grava	>2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena muy gruesa	1 - 2	-	-	-	0,21	-	-	-	-	-
Arena gruesa	0,5 - 1	0,04	0,04	0,16	0,67	0,06	-	0,62	-	0,06
Arena media	0,25 - 0,5	3,43	1,02	4,72	10,61	6,92	0,12	64,49	5,93	3,35
Arena fina	0,125 - 0,25	113,76	19,62	67,67	103,82	147,56	16,92	85,54	121,7	64,38
Arena muy fina	0,0625 - 0,125	56,38	130,15	84,42	73,44	40,34	86,64	43,18	51,65	93,43
Lodo	<0,0625	25,58	48,43	41,6	10,78	3,92	95,33	5,21	19,49	38,01
SUMATORIA		199,19	199,26	198,57	199,53	198,8	199,01	199,04	198,77	199,23

Teniendo en cuenta que para construir las gráficas de semi probabilidad se debe trabajar con los porcentajes en peso acumulado de cada muestra, se procedió a realizar una corrección y adición a las tablas:

Tabla 4. Resultados obtenidos del tamizado por vía seca de la muestra 5, teniendo en cuenta su porcentaje en peso acumulado y las unidades Phi que corresponden al tamaño de grano

	Tamiz (mm)	Unidades Phi	Peso en gramos	% Peso	Peso acumulado	% Peso acumulado
Gravas	> 2	-1	0	0	0	0
Arena muy gruesa	1 - 2	0	0	0	0	0
Arena gruesa	0,5-1	1	0,06	0,03	0,06	0,03
Arena media	0,25 - 0,5	2	6,92	3,46	6,98	3,49
Arena fina	0,125 - 0,25	3	147,56	73,77	154,54	77,26
Arena muy fina	0,0625 - 0,125	4	40,34	20,17	194,88	97,43
Lodos	<0,0625	> 4	3,92	1,96	198,8	99,39
Total		-	198,8	99,39		-

Basados en la Tabla 4, se procedió a realizar las gráficas de semi-probabilidad para cada una de las muestras tomadas en campo (Figura 35), teniendo en cuenta los datos de tamaño de grano en unidades phi y el porcentaje de peso acumulado.

De las gráficas de semi probabilidad se extrajeron los valores de phi correspondientes para cada muestra, teniendo en cuenta los datos requeridos para el método de Folk & Ward, 1957 (Tabla 6), con el fin de realizar el cálculo de los parámetros estadísticos que corresponden a mediana, media, desviación estándar, Skewness y Kurtosis.

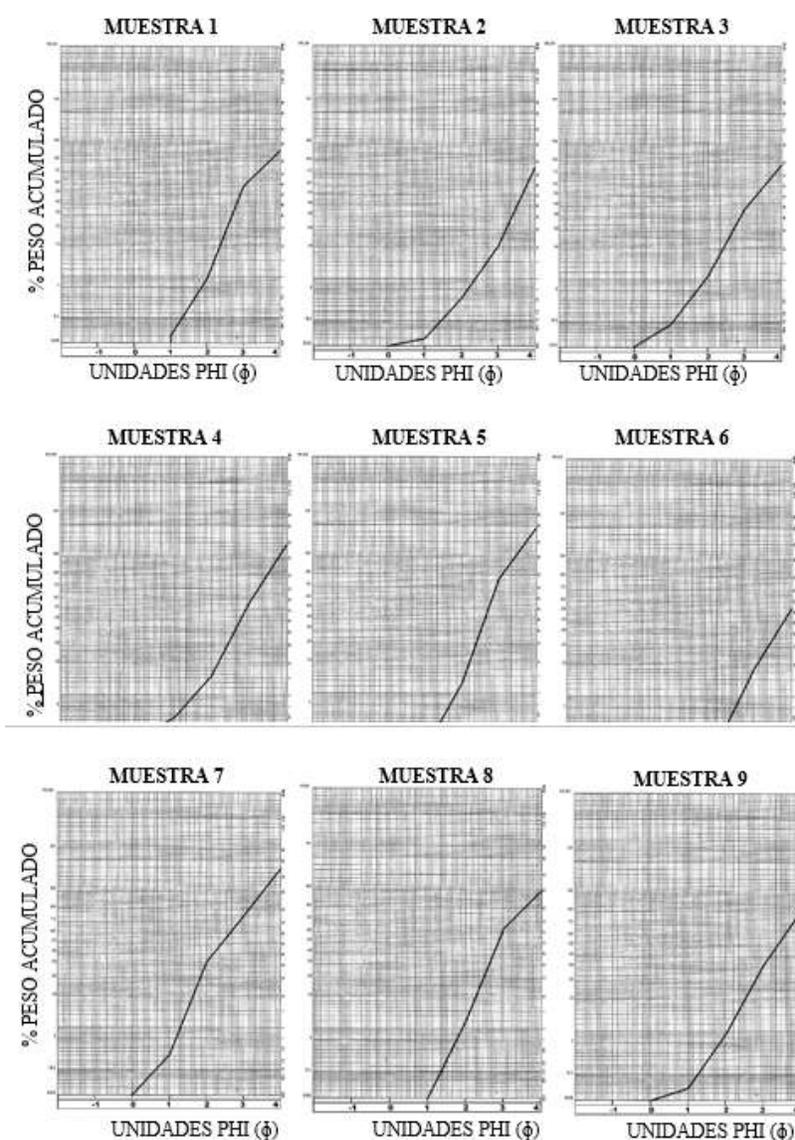


Figura 35. Grafica de semiprobabilidad para las 9 muestras tomadas en campo.



En la Tabla 5, se tienen los principales valores phi que se utilizan para calcular los parámetros estadísticos presentados en la Tabla 6. Para ello se utilizó como ejemplo el cálculo de los parámetros de la muestra 5, en la cual se aprecia los cálculos y resultados derivados de su gráfica.

Tabla 5. Datos estadísticos necesarios para el cálculo de los parámetros estadísticos de la fórmula de Folk & Ward, 1975, para la muestra 5

Patrón	Curva en papel de semiprobabilidades
$\Phi 5$	2,06
$\Phi 16$	2,33
$\Phi 25$	2,43
$\Phi 50$	2,7
$\Phi 75$	2,96
$\Phi 84$	3,2
$\Phi 95$	3,73

Tabla 6. Formulas, cálculos y resultados de los parámetros estadísticos para la muestra 5

PARAMETROS ESTADISTICOS	METODO DE FOLK & WARD, 1957	CALCULO Y RESULTADO
Mediana (Md)	$\phi 50$	$2,7\phi = 0,15\text{mm}$
Media (M)	$\frac{\phi 16 + \phi 50 + \phi 84}{3}$	$\frac{2,33\phi + 2,7\phi + 3,2\phi}{3} = 2,74\phi = \mathbf{0,14\text{mm}}$
Desviación Estándar (S)	$\frac{\phi 84 - \phi 16 + \phi 95 - \phi 5}{4 \quad 6.6}$	$\frac{3,2\phi - 2,33\phi + 3,73\phi - (2,06)\phi}{4 \quad 6.6} = \mathbf{0,47\phi}$
Skewness (Sk)	$\frac{\phi 84 + \phi 16 - 2\phi 50 + \phi 95 + \phi 5 - 2\phi 50}{2(\phi 84 - \phi 16) \quad 2(\phi 95 - \phi 5)}$	$\frac{3,2\phi + 2,33\phi - 2(2,7\phi) + 3,73\phi + 2,06\phi - 2(2,7\phi)}{2(3,2\phi - 2,33\phi) \quad 2(3,73\phi - 2,06\phi)}$

		= 0,382
Kurtosis (K)	$\frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$	$\frac{3,73\phi - 2,96\phi}{2.44(2,96\phi - 2,43\phi)} = 1,29$

Teniendo en cuenta las formulas anteriores, se procedió a realizar el cálculo de los parámetros estadísticos para cada muestra (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros estadísticos calculados para cada muestra de arena

MUESTRA									
PARAMETROS ESTADISTICOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MEDIANA (mm)	0,13	0,08	0,1	0,13	0,15	0,07	0,19	0,14	0,1
MEDIA (mm)	0,12	0,08	0,1	0,13	0,14	0,08	0,18	0,13	0,1
DESVIACIÓN	0,62	0,41	0,63	0,62	0,47	0,36	0,73	0,61	0,6
SKEWNESS	0,72	-0,42	-0,25	0,22	0,38	-0,79	0,76	0,64	-0,34
KURTOSIS	0,77	0,81	0,69	1	1,29	0,87	0,88	0,94	0,72

9.2.1 Interpretación de parámetros estadísticos

Tabla 8. Interpretación de los parámetros estadísticos para cada muestra. MS=moderadamente seleccionado; BS=Bien seleccionado

MUESTRA									
PARAMETROS ESTADISTICOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MEDIANA (mm)	Arena fina	Arena muy fina	Arena muy fina	Arena fina	Arena fina	Arena muy fina	Arena fina	Arena fina	Arena muy fina
MEDIA (mm)	Arena muy fina	Arena muy fina	Arena muy fina	Arena fina	Arena fina	Arena muy fina	Arena fina	Arena fina	Arena muy fina
DESVIACIÓN (ϕ)	MS	BS	MS	MS	BS	BS	MS	MS	MS
SKEWNESS	Muy positivamente sesgado	Muy negativamente sesgado	Negativamente sesgado	Positivamente sesgado	Muy positivamente sesgado	Muy negativamente sesgado	Muy positivamente sesgado	Muy positivamente sesgado	Muy negativamente sesgado
KURTOSIS	Platikturtica	Platikturtica	Platikturtica	Mesokurtica	Leptokurtica	Platikturtica	Platikturtica	Mesokurtica	Platikturtica

- **Tamaño promedio**

El valor de este parámetro fue obtenido a partir de cálculos estadísticos, dando como resultado un valor promedio de 3ϕ , que corresponde a un tamaño arena, y en escala milimétrica corresponde a 0,125 mm, que se encuentra dentro del intervalo de 0,125 – 0,250 mm, que según la escala de Udden – Wentworth (1922), se asocia a un tamaño de arena fina (Figura 36), lo cual puede indicar que los sedimentos han sido transportados grandes distancias, permitiendo una buena selección, así mismo para todas las muestras predomina un tamaño de grano arena fina a muy fina.

Millimeters	μm	Phi (ϕ)	Wentworth size class	
4096		-20	Boulder (8 to 12 ϕ)	Gravel
1024		-10		
256		-8		
64		-6	Pebble (2 to 8 ϕ)	
16		-4		
4		-2	Gravel	
3.36		-1.75		
2.83		-1.50		
2.36		-1.25		
2.00		-1.00	Very coarse sand	
1.68		-0.75		
1.41		-0.50		
1.19		-0.25	Coarse sand	
1.00		0.00		
0.84		0.25	Medium sand	
0.71		0.50		
0.59		0.75	Fine sand	
1/2 - 0.50	500	1.00		
0.42	450	1.25		
0.35	390	1.50	Very fine sand	
0.30	300	1.75		
1/4 - 0.25	250	2.00	Coarse silt	
0.210	210	2.25		
0.177	177	2.50		
0.149	149	2.75	Medium silt	
1/8 - 0.125	125	3.00		
0.105	105	3.25	Fine silt	
0.098	98	3.50		
0.074	74	3.75		
1/16 - 0.0625	63	4.00	Very fine silt	
0.0530	53	4.25		
0.0440	44	4.50		
0.0370	37	4.75	Clay	
1/32 - 0.0310	31	5		
1/64 - 0.0156	15.6	6	Clay	
1/128 - 0.0078	7.8	7		
1/256 - 0.0039	3.9	8		
0.0020	2.0	9		
0.00098	0.98	10		
0.00049	0.49	11		
0.00024	0.24	12		
0.00012	0.12	13		
0.00006	0.06	14		

Figura 36. Escala utilizada para la interpretación de los cálculos de parámetros estadísticos Udden – Wentworth (1922)

- **Selección**

Basándose en la Tabla 8, se obtuvo un valor promedio de $0,561 \phi$, para la desviación estándar, lo que indica según la tabla de Folk & Ward (1957), que presenta una selección moderada. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las muestras 2, 5 y 6 presentan una buena selección, por lo cual el río presenta una selección promedio de moderadamente seleccionada a bien seleccionada. Además, se debe tener en cuenta que la selección de sedimentos se ve afectada por cuatro

factores principales, tales como el tamaño de material aportado al ambiente, tipo de depósito, características de la corriente y la tasa de aporte de sedimentos.

Selección	Folk & Ward (1957)
<0,35 Φ	Muy bien seleccionado
0,35 a 0,49 Φ	Bien seleccionado
0,50 a 0,99 Φ	Moderadamente seleccionado
1,00 a 1,99 Φ	Pobrementemente seleccionado
2,00 a 3,99 Φ	Muy pobrementemente seleccionado
>4,00 Φ	Extremadamente mal seleccionado

Figura 37. Tabla para la clasificación de la selección de los sedimentos según Folk & Ward (1957)

Dados estos factores adicionales, el río Guamal corresponde a un río entrelazado, con una alta capacidad de transporte y retrabajamiento de material, además de que presenta en muchas ocasiones fluctuaciones en el flujo de energía, que permiten el transporte tanto de materiales gruesos como finos, sin embargo, estas fluctuaciones no son constantes, por lo que el río es constante a la hora de transportar sedimentos, permitiendo una mejora en la selección de sedimentos.

- **Skewness (Sk)**

Este parámetro consiste en establecer mediante cálculos estadísticos el predominio de sedimentos gruesos o finos en la muestra de sedimentos trabajada. Teniendo en cuenta la gráfica de semi probabilidad y los cálculos realizados (Tabla 8), se obtuvo un promedio de 0.10, lo cual indica un comportamiento predominantemente simétrico, que presenta una variación local a positivamente sesgado, indicando que presentaría exceso de sedimentos finos, sin embargo 4 muestras (2, 3, 6 y 9) presentan variaciones negativas, que indicarían un exceso de sedimentos gruesos. Evidenciando, los cambios de flujo de energía que suele tener la corriente durante algunos intervalos.

SKEWNESS (SK_1)	
Very positively skewed	+0.3 to +1.0
Positively skewed	+0.1 to +0.3
Symmetrical	+0.1 to -0.1
Negatively skewed	-0.1 to -0.3
Very negatively skewed	-0.3 to -1.0

Figura 38. Tabla generalizada para la interpretación de Skewness (Sk)

- **Kurtosis (K)**

La kurtosis corresponde a la angulosidad de la curva de frecuencia, y se usa para el análisis de la concentración de los valores alrededor de la zona central de la distribución de frecuencias. Para este río, se dio un promedio de 0.88, lo que me indicaría una medida de angulosidad tipo Platikurtica, lo que se entendería como una mejor selección a los extremos de la distribución de frecuencias.

Tabla 9. Clasificación de Kurtosis

MUY PLATIKURTICA	< 0.67
PLATIKURTICA	0.67 – 0.90
MESOKURTICA	0.90 – 1.11
LEPTOKURTICA	1.11 – 1.5
MUY LEPTOKURTICA	1.5 – 3.0
EXTREMADAMENTE LEPTOKURTICA	>3.0

Así mismo, presenta en 3 muestras comportamiento de kurtosis mesokúrtico y leptokúrtico, lo cual podría indicar aportes de sedimentos de diferentes tributarios al río Guamal.

10 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA CORRIENTE Y CAUDAL

Durante la medición del caudal y la velocidad de la corriente, se utilizó el método del flotador, el cual consiste en medir una distancia x en un tramo homogéneo del río, y lanzar una pelota de ping pong al río para contabilizar el tiempo que se demora en recorrer dicha distancia. A su vez, es necesario medir las dimensiones del caudal en esa zona, para lo cual se utiliza una cinta métrica para medir el ancho y la profundidad del río.

A continuación se presenta la tabla de las mediciones realizadas:

Tabla 10. Datos tomados en campo para la medición del caudal y la velocidad de la corriente

Conteo	Distancia (m)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Tiempo promedio (Seg)
1	10	0,208	12	21,07
2	9	0,3	12	14,92
3	8,7	0,31	12	13,15
4	10,5	0,435	11	15,89
5	16,8	0,262	10	25,17
6	20	0,387	12,5	25,77
7	11,5	0,236	18	18,43
8	12	0,345	13	10,08
9	10	0,335	15	10,3
10	11,5	0,334	8	11,82

Con los datos obtenidos, se proceden a realizar los cálculos respectivos para el cálculo de la velocidad, para lo cual se debe utilizar la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que x corresponde a la distancia recorrida por la pelota y t al tiempo promedio que se demoró la pelota en recorrer dicha distancia:

$$V \text{ (m/seg)} = \frac{x \text{ (m)}}{t \text{ (seg)}}$$

Figura 39. Ecuación para el cálculo de la velocidad de corriente

Posteriormente, se calcula el área transversal del río, que se obtiene mediante la multiplicación del ancho del río por la profundidad:

$$\text{Área transversal (m}^2\text{)} = \text{Ancho (m)} * \text{Profundidad (m)}$$

Figura 40. Ecuación para el cálculo del área transversal de la corriente

Teniendo los cálculos anteriores, se procede a realizar el cálculo del caudal, para lo cual se multiplica la velocidad de la corriente por el área transversal del río:

$$\text{Caudal (m}^3\text{/seg)} = \text{Velocidad (m/seg)} * \text{Área transversal (m}^2\text{)}$$

Figura 41. Ecuación para el cálculo del caudal de la corriente

Posterior a los cálculos realizados, se presenta la Tabla 11, con los resultados de las velocidades de la corriente, área transversal y el cálculo del caudal, junto con el promedio respectivo para cada dato:

Tabla 11. Datos obtenidos mediante los cálculos anteriores

Conteo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Velocidad (m/seg)	0,47	0,60	0,66	0,66	0,66	0,77	0,62	1,19	0,97	0,97	0,76
Área transversal (m²)	2,49	3,6	3,72	4,78	2,62	4,83	4,248	4,48	5,02	2,67	3,84



Conteo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Caudal (m³/seg)	1,18	2,17	2,46	3,16	1,74	3,75	2,65	5,33	4,87	2,59	2,99

Teniendo en cuenta los datos obtenidos mediante los cálculos respectivos, se pudo obtener una velocidad promedio de la corriente de 0,76 m/seg, con un caudal de aproximadamente 2,99 m³/seg. Esto se debe principalmente a que el río Guamal en este sector, presenta una pendiente baja a moderada, y por sus grandes dimensiones transporta gran cantidad de agua.

Al llevar los datos obtenidos al diagrama de Ashley (1990), teniendo previamente en cuenta el tamaño de grano promedio de la zona que corresponde a arena fina (0,125mm – 0,25 mm), se pudo establecer que el régimen de flujo predominante para el río corresponde al régimen de flujo inferior parte superior (Figura 42), que basado en la teoría correspondería a estructuras de ripples simétricos a asimétricos con baja longitud de onda, y que presentan crestas relativamente onduladas dado la alta velocidad de flujo.

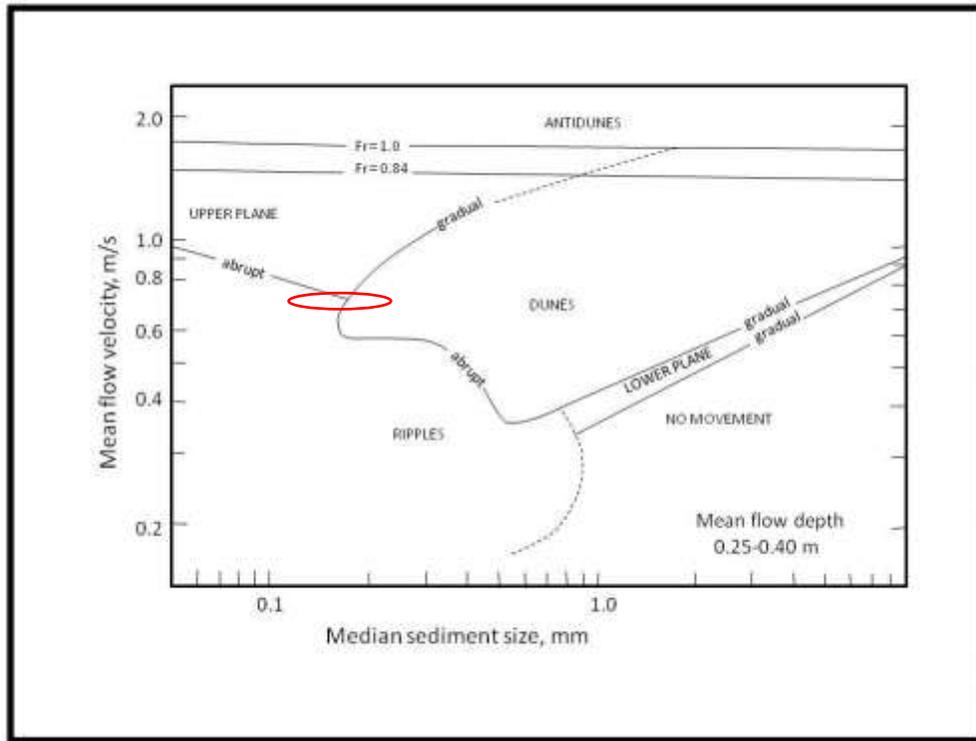


Figura 42 . Diagrama bidimensional de Ashley (1990), que relaciona la velocidad promedio del flujo (m/seg) por el tamaño promedio de los sedimentos (mm)



11 MEDICIÓN DEL SENTIDO DE LA CORRIENTE

Los ambientes fluviales presentan variaciones constantes en su morfología, lo que causa una alteración en la dirección del sentido de la corriente a través de los años, además varía dependiendo de las condiciones meteorológicas. El presente trabajo se realizó durante época de verano, por lo que fue posible identificar estructuras tales como ripples asimétricos y crescent marks, que permiten establecer el sentido de la corriente. Además, se tuvo en cuenta dos sectores, teniendo como punto de referencia el puente peatonal La Hormiga, que correspondería a la parte más al norte del puente, y la parte sur del puente. Para lo cual se graficaron diagramas de roseta en el software Grapher 15, mediante los datos recolectados durante el trabajo de campo.

11.1 Medición a partir de Crescent Marks

Esta estructura corresponde a depresiones en forma de conos o herraduras alrededor de un obstáculo, para lo cual se midió mediante la pínula de la brújula apuntando en dirección del sentido de la corriente, permitiendo medir con facilidad el sentido de la corriente.

11.2 Medición a partir de Ripples Asimétricos

Los ripples asimétricos corresponden a estructuras de forma de fondo, que indican sentidos de la corriente mediante la medición de las pendientes de sus crestas.

Tramo norte

Crescent Marks: Para la realización del diagrama de rosetas correspondiente a las crescent marks del tramo norte, se utilizaron 6 datos azimutales del sentido de la corriente, los cuales presentan una tendencia en la dirección del sentido de la corriente promedio de S40°E (Figura 43).

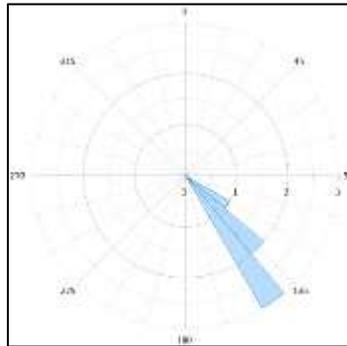


Figura 43. Diagrama de roseta a partir de crescent marks en el tramo norte, donde se evidencia una tendencia en el sentido de la corriente de S40°E.

Ripples asimétricos: Se realizó el diagrama de rosetas correspondiente a los ripples asimétricos con 6 datos azimutales del sentido de la corriente, que fueron obtenidos principalmente en las barras longitudinales que se encuentran a lo largo del cauce, en la parte más norte del área de estudio. El diagrama muestra una tendencia del sentido de la corriente promedio de S45°E, pero que presenta ciertas variaciones hacia el W. (Figura 44).

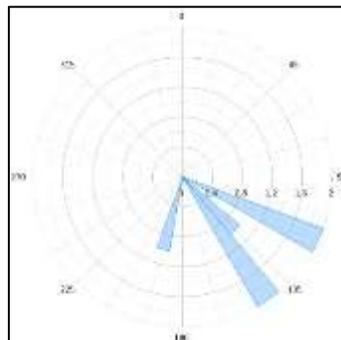


Figura 44. Diagrama en roseta a partir de ripples asimétricos para el tramo norte, donde se evidencia una tendencia del sentido de la corriente de S45°E.

Para el tramo norte se presenta un sentido promedio de la corriente de S42°E en su tramo principal, sin embargo sus canales secundarios presentan una tendencia más hacia el sur.

Tramo sur

Crescent Marks: Para el tramo sur del puente La Hormiga, se realizó un diagrama de roseta para las estructuras de crescent marks, que se generaron mediante 3 datos azimutales, dado que no se pudieron encontrar más estructuras en este sector. El diagrama presenta una tendencia S12°E (Figura 45).

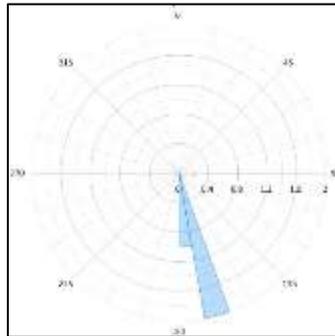


Figura 45. Diagramas en roseta a partir de crescent marks en el tramo sur, donde se evidencia una tendencia en el sentido de la corriente de S12°E.

Ripples asimétricos: Para el tramo sur del puente La Hormiga, se realizó un diagrama de roseta para las estructuras de ripples asimétricos, que se generaron mediante 4 datos azimutales, que presentan una tendencia del sentido de la corriente al S7°E (Figura 46).

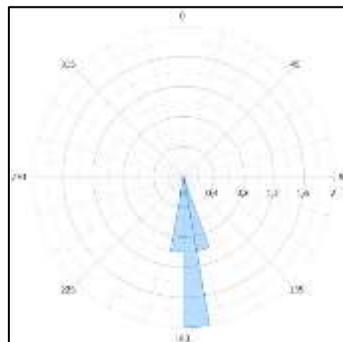


Figura 46. Diagrama en roseta a partir de ripples asimétricos en el tramo sur, donde presentan una tendencia promedio en el sentido de la corriente de S7°E.

Para el tramo sur se tiene un sentido de la corriente promedio de S10°E, que presenta ciertas variaciones hacia el Oeste.

12 INDICE DE SINUOSIDAD

La morfología fluvial estudia la forma de los ríos debido a que estos presentan diferentes formas y características que los hace diferenciarse entre sí. Mistri, 2012 clasifica estas

formas en: rectos, sinuosos, meándricos, trenzados y anastomosados, utilizando el índice de sinuosidad.

Para la clasificación de este río, se procede a utilizar la clasificación tanto de Muller, 1968 como Ghosh & Mistri, 2012, que corresponden al cálculo del Índice de Sinuosidad Estándar (SSI), ya que indica el comportamiento lineal o curvo de la corriente y adicional a esto, también procede a calcular el Índice de Sinuosidad Topográfica (TSI) e Índice de Sinuosidad hidráulica (HSI), que muestran el comportamiento relacionado al control topográfico e hidráulico al que se encuentra sometido la corriente.

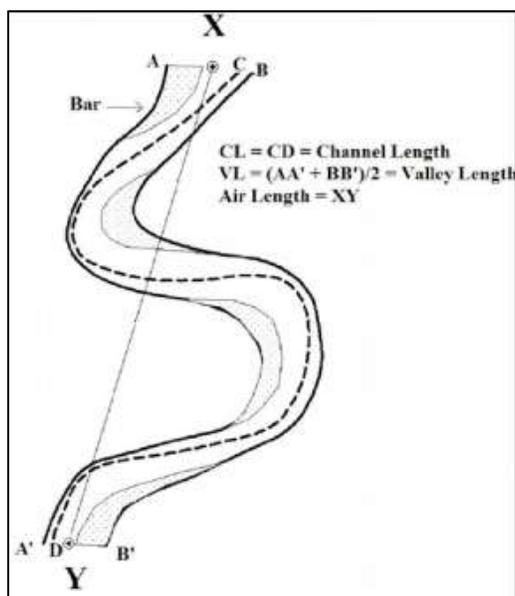


Figura 47. Esquema de los parámetros establecidos para el cálculo de la sinuosidad por parte de Muller, 1968

Para la medición del índice de sinuosidad, se procede a utilizar la metodología propuesta por Muller (1968), que consiste en calcular los parámetros correspondientes a la longitud del cauce derecho del canal (AA'), la longitud del cauce izquierdo del canal (BB'), la longitud del canal desde su punto medio (CD) y la longitud más corta entre el inicio y final del cauce (YX) (Figura 47).

Teniendo en cuenta esto, se procedió a descargar una imagen satelital del Rio Guamal en el área de estudio mediante el software SAS Planet, el cual se encuentra georreferenciado con coordenadas UTM zona 18N, y que posteriormente, se utiliza el software ArcMap 10.5 para la digitalización y medición de las longitudes correspondientes a los parámetros de Muller, 1968, en formato Shapefile (Figura 48).



Figura 48. Imagen satelital (tomada de SAS Planet, UTM 18N). Se observan los parámetros de sinuosidad realizados sobre la imagen satelital.

Los resultados obtenidos se anotaron en la Tabla 12, y se procedió a realizar los cálculos del índice de canal (CI) e Índice del valle (VI), debido a que las formulas correspondientes para determinar el índice de sinuosidad estándar (SSI), índice de sinuosidad Topográfica (TSI) e índice de sinuosidad Hidráulica (HSI), los requiere.

Tabla 12. Resultados de parámetros de sinuosidad en el Rio Guamal, sector Puente La Hormiga, vereda San Agustín. Donde AA' corresponde a la longitud del costado derecho del canal, BB' la longitud del costado izquierdo del canal, CD el largo del canal, XY la longitud lineal desde el punto inicial hasta el punto final del tramo en cuestión.

RESULTADOS DE PARAMETROS DE SINUOSIDAD

Parámetros de Sinuosidad	YX	CD	BB'	AA'
Longitud (m)	1332,21	1777,35	1757,86	1728,73

12.1 Índice de Canal (CI):

Corresponde a la longitud del canal en el área de estudio, que se obtiene dividiendo la longitud del canal desde su punto medio (CD) por la longitud del aire o la longitud más corta desde el inicio hasta el final del cauce (YX).

$$CI = \frac{CD}{YX}$$

Figura 49. Ecuación para el cálculo del índice de canal (CI)

12.2 Índice del Valle (VI):

Corresponde a la longitud del valle a lo largo del tramo (Mistri, 2012), y se obtiene mediante la división de la longitud del valle (VL) que corresponde al promedio entre las longitudes AA' y BB', por la longitud del aire o la longitud más corta desde el inicio hasta el final del cauce (YX).

$$VI = \frac{VL}{YX}$$

Figura 50. Ecuación para el cálculo del Índice del Valle (VI)

12.3 Índice de Sinuosidad Estándar (SSI):

Este índice se obtiene mediante la división entre el índice del canal (CI) y el índice del Valle (VI).

$$SSI = \frac{CI}{VI}$$

Figura 51. Ecuación para el cálculo del Índice de Sinuosidad Estándar (SSI)

12.4 Índice de Sinuosidad Topográfica (TSI):

Este índice corresponde principalmente al porcentaje del cauce que se encuentra controlado por factores topográficos (Muller, 1968).

$$TSI = \frac{(VI - 1)}{(CI - 1)} \times 100\%$$

Figura 52. Ecuación para el cálculo del Índice de Sinuosidad Topográfica (TSI)

12.5 Índice de Sinuosidad Hidráulica (HSI):

Este índice corresponde principalmente al porcentaje del cauce que se encuentra controlado por factores hidráulicos (Muller, 1968).

$$HSI = \frac{(CI - VI)}{(CI - 1)} \times 100\%$$

Figura 53. Ecuación para el cálculo del Índice de Sinuosidad Hidráulica (HSI)

Realizados todos los cálculos correspondientes, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13. Resultados de las operaciones realizadas para el cálculo de los parámetros de sinuosidad

PARAMETROS DE SINUOSIDAD	RESULTADOS
VL	1743,295
CI	1,33413651
VI	1,30857372
HSI (%)	7,65040212
TSI (%)	92,3495979
SSI	1,01953485

Tabla 14. Clasificación para la sinuosidad en los canales (Morisawa, 1985)

TIPO DE RIO	RANGO DE INDICE DE SINUOSIDAD
RECTO	<1.05
SINUOSO	>1.05
MEANDRICO	>1.50
TRENZADO	>1,80
ANASTOMOSADO	>2.00

Teniendo en cuenta la clasificación (Tabla 14) y los cálculos realizados mediante las formulas del SSI, HSI y TSI (Tabla 13), se pudo clasificar el cauce como un río recto dado que presenta un SSI de 1.019, sin embargo por la naturaleza del río, se debe tener en cuenta características adicionales para una correcta clasificación.

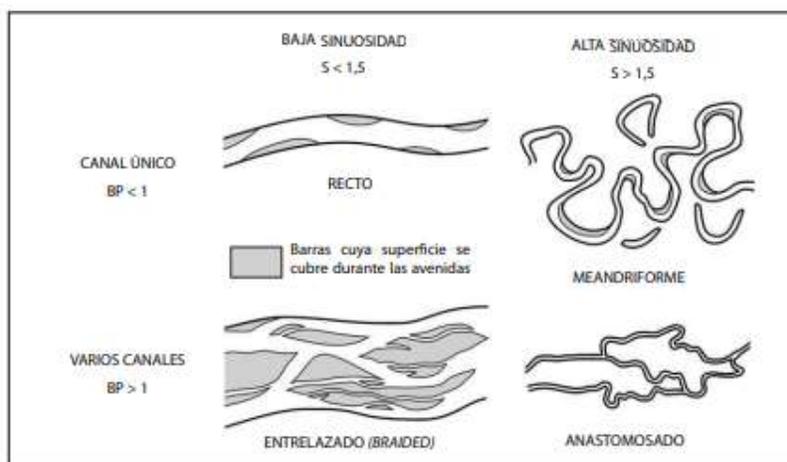


Figura 54. Principales tipos de ríos según el número de canales, el índice de entrelazamiento y el grado de sinuosidad (Arche 2010).

Es necesario aclarar que este río presenta varios canales por lo que su índice de entrelazamiento (BP) es mayor a 1 (Figura 54), así mismo, tomando en cuenta los valores obtenidos para el índice de sinuosidad estándar (1.019), nos daría como resultado un río tipo entrelazado o trenzado, que contiene grandes barras longitudinales y extensas llanuras de inundación.



13 ELEMENTOS ARQUITÉCTONICOS

Los elementos arquitectónicos o arquitectura facial corresponden al análisis sistemático de micro hasta macro formas en unidades sedimentarias clásticas (Miall & Tyler, 1991).

Gracias a esta metodología, se es posible separar unidades deposicionales, según el rango de sus propiedades físicas, geometría, composición facial, escala, secuencias estratigráficas y otras características con el fin de determinar los elementos arquitectónicos relacionados.

Miall (1996) propone 9 elementos arquitectónicos, que deben cumplir los siguientes parámetros descriptivos para su definición:

- Naturaleza de superficies limitantes
- Geometría externa: Lamina, lentes, cuñas
- Escala: Espesor, extensión paralela y perpendicular al flujo
- Geometría interna: Ensamblaje de litofacies, secuencia vertical y dirección de paleocorrientes en formas de fondo

Además se debe tener en cuenta, la jerarquía de superficies limitantes que los conforman (Miall, 1996), para lo cual se definen esas jerarquías de la siguiente manera; según Allen (1983) & Miall (1996) las superficies de primer y segundo orden limitan *sets* y *cosets*; las superficies de tercer orden indican reactivación de las corrientes fluviales; las superficies de cuarto orden, corresponden a superficies que describen el límite superior de macroformas, esta superficie se puede encontrar tanto de forma plana, convexa y cóncava; por último, las superficies de quinto orden, corresponden a las que limitan complejos de canales o grandes canales multiepisódicos (Miall, 1996). Teniendo estos parámetros y lo observado durante el trabajo de campo, se pudieron determinar cuatro elementos arquitectónicos (Tabla 15):

Tabla 15. Elementos arquitectónicos identificados en el área de estudio

ELEMENTO	SIMBOLO	PRINCIPALES ASOCIACIONES DE FACIES	GEOMETRIA Y RELACIONES
Barras de grava	GB	Gh, Gmm, Gcm	Barras longitudinales y cuerpos tabulares, generalmente intercalados con elementos SB
Estructuras sedimentarias arenosas	SB	Sr, Sh	Ripples en formas de fondo arenoso
Arenas laminadas	LS	Sh	Capas, planos

13.1 Barras de grava (GB)

Las barras de grava fueron identificadas en todo el sector correspondiente al área de estudio, y está asociado principalmente con las facies Gcm, Gmm y Gh. Este elemento arquitectónico se encuentra en ambos tramos de la zona de estudio. Constituido granulométricamente por bloques, guijos, guijarros, gránulos y matriz de arena media a fina. Presentan formas lenticulares, elongadas con aproximadamente 300 - 400 metros de largo, entre 40 y 80 metros de ancho, y con un espesor aproximado de 1 metro. Además se encuentran a lo largo del cauce principal en sus partes laterales, y también en las partes centrales. Este elemento arquitectónico está limitado por superficies de quinto orden en su base, y sus partes cóncavas y planas corresponden a la superficie limitante de cuarto orden (Figura 55).

Esta arquitectura facial ocurre principalmente cuando hay un aumento en el nivel del agua y la energía de la corriente, provocando que haya un aumento en la carga y transporte de sedimentos tamaño grava, lo que conllevaría a descarga de sedimentos al acabar el suceso.



Figura 55. Barras de gravas longitudinales que se encuentran en las partes laterales y centrales del cauce. Están constituidas por clastos tamaño bloque, guijarros, guijos y granulos, con una matriz arena media a fina. Presentan superficies limitantes de cuarto y quinto orden.

13.2 Estructuras sedimentarias arenosas (SB)

Las formas de fondo arenosas fueron identificadas sobre las barras de grava, y asociándose principalmente con las facies Sh, Sm y Sr. Este elemento arquitectónico se encuentra en ambos tramos de la zona de estudio. Constituido granulométricamente por sedimentos tamaño arena media a fina. Presentan formas planas con largos aproximados de 50 metros, 5 metros de ancho y espesores de 10 a 15 cm.

Este elemento arquitectónico está limitado por superficies de quinto orden (Figura 56); es generada en los fondos de canales activos, por el accionar de la corriente produciendo ripples linguoides y rectilíneos asimétricos, se encuentran como rellenos de canales y en barras menores (Miall, 1996).

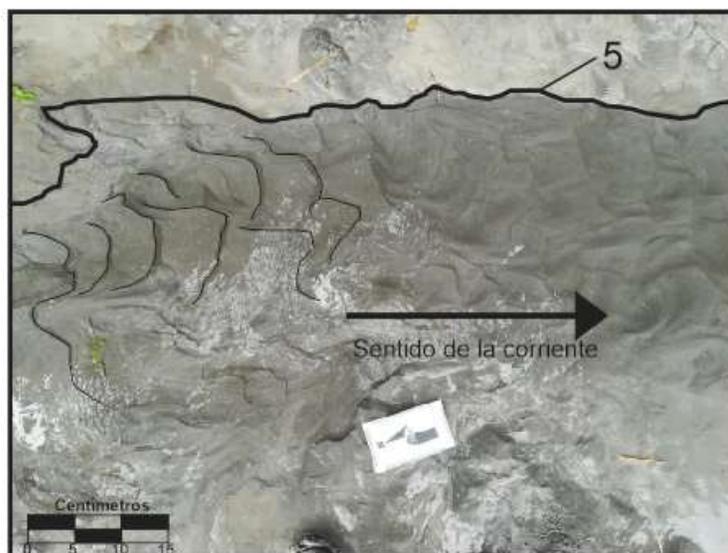


Figura 56. Estructuras sedimentarias arenosas o formas de fondo arenoso (SB), se encuentran constituidas por sedimentos tamaño arena fina a media que forman ripples linguoides y rectilíneos asimétricos. Presenta superficie limitante de quinto orden.

13.3 Arenas laminadas (LS)

Las arenas laminadas fueron identificadas sobre las barras de grava, más específicamente sobre las partes laterales de las barras, que colindan con el cauce principal; se asocian principalmente con las facies Sh, Sm. Este elemento arquitectónico se encuentra principalmente en el tramo norte de la zona de estudio. Constituido granulométricamente por sedimentos tamaño arena media a muy fina. Presentan formas tabulares y planas con espesores de 20 cm, e internamente se observan superposiciones de evento que infieren un aumento en el régimen de flujo, presentando superficies limitantes de segundo orden (Figura 57). Estas estructuras se generan en los lechos de los cauces activos. Son generadas por flujos torrenciales que producen inundaciones rápidas en condiciones de un alto régimen de flujo, facilitando la generación de láminas de arenas (Miall, 1996).



Figura 57. Arenas laminadas o inundaciones laminares (LS), que se encuentran constituidas principalmente por arenas finas a medias, y que presentan laminaciones paralelas producidas por inundaciones rápidas en un régimen de flujo superior.

14 MODELOS SEDIMENTOLÓGICOS

Los estilos fluviales resultan de la combinación de todas las características naturales de la cuenca y de los procesos geomorfológicos ocurridos en ella, como pueden ser la carga de sedimentos, gradiente, sinuosidad, medidas de ancho y profundidad del río, y otros factores a tener en cuenta. Sin embargo Miall (1985, 1996), propone la arquitectura fluvial con la cual se clasifica los diferentes estilos fluviales y determina los tipos de modelos basados en sus características, que se definen mediante el tamaño de grano, composición, secuencia interna y geometría externa que presenta.

Tabla 16. Estilos fluviales propuestos por Miall (1996).

Style name	No. ^a	Sinuosity ^b	Braiding parameter ^c	Sediment type	Characteristic elements ^d	Modern examples and interpreted ancient examples
<i>Part 1: Gravel-dominated rivers</i>						
Gravel braided with sediment-gravity flows	1	Low	High	Gravel, minor sand	SG (GB, SB)	Hooke (1967), Bull (1972), Wasson (1977), Nemeč and Muszynski (1982), Schultz (1984), Blair and McPherson (1992)
Shallow gravel braided "Scott type"	2	Low	High	Gravel, minor sand	GB (SB)	Boothroyd and Ashley (1975), Boothroyd and Nummedal (1978), Miall and Gibling (1978), Vos and Tankard (1981), Ramos and Sopeña (1983), Dawson and Bryant (1987), Muñoz et al. (1992)
Deep gravel braided "Donjek type"	3	Low to int.	Int. to high	Gravel, minor sand, fines	GB, SB, DA (FF)	Williams and Rust (1969), Rust (1972, 1978b), Steel (1974), Minter (1978), Massari (1983), Miall (1984b), Morison and Hein (1987), S.A. Smith (1990), Reinfelds and Nanson (1993)
Gravel wandering	–	Int. to high	Int.	Gravel, minor sand, fines	GB, DA, LA (SB, FF)	Church (1983), Ferguson and Werrity (1983), Desloges and Church (1987), Billi et al. (1987), S.A. Smith (1990), Brierley and Hickin (1991)
Gravel meandering	4	High	Low to int.	Gravel, minor sand, fines	GB, LA, FF (SB)	Bluck (1971), Lewin (1976), Gustavson (1978), Schwartz (1978), Ori (1979, 1982), Arche (1983), Ramos and Sopeña (1983), Forbes (1983), Hooke (1986)

Además, Schumm (1981, 1985), también presenta clasificaciones basadas en su carga de fondo, relación ancho/profundidad, pendiente y movilidad del sistema, diferenciándolos en tres tipos básicos: carga en suspensión, carga mixta y carga de fondo (Figura 58).

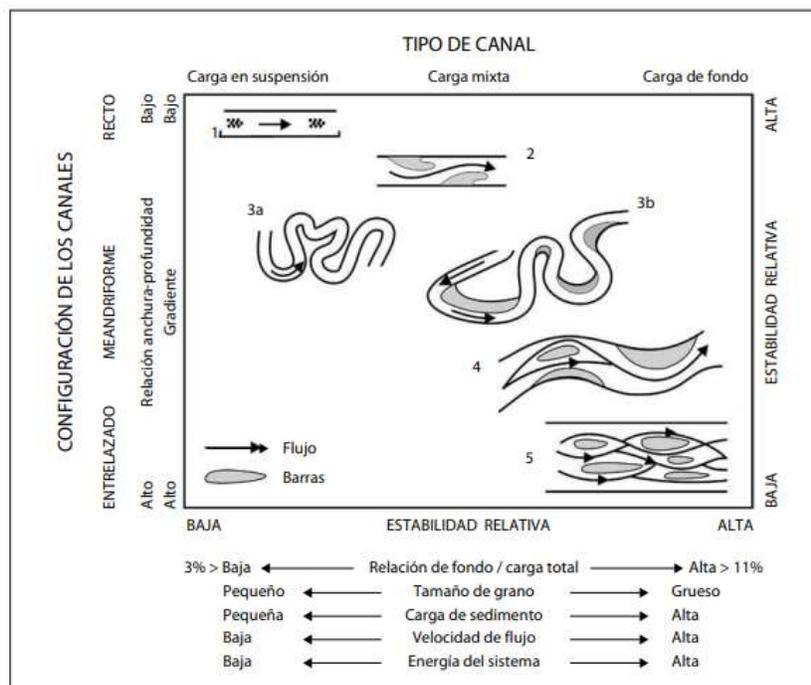


Figura 58. Clasificación fluvial de Schumm (1981, 185), relacionando carga de sedimentos, velocidad de flujo, relación anchura profundidad.

La cuenca en el área de estudio se encuentra constituida principalmente por barras de grava longitudinales (GB-90%) en partes laterales y centrales del cauce, formas de fondo arenoso (SB-5%) y laminaciones de arena (inundaciones laminares) (LS-5%).

Estos elementos arquitectónicos se encuentran asociados a facies de gravas masivas clasto-soportadas (Gcm), gravas masivas matriz-soportadas (Gmm) y gravas con estratificación paralela (Gh), arenas con estratificación paralela (Sh), arenas con ripples asimétricos (Sr) y arenas masivas (Sm). También, se presentan estructuras sedimentarias como crescent marks, ripples, grietas de desecación y bioturbación.

Basados en la clasificación del índice de sinuosidad, el área de estudio presenta un comportamiento recto con un valor de 1.019, sin embargo dado a que presenta un índice de entrelazamiento mayor a 1, corresponde a un río entrelazado según la clasificación de Arche, 2010. Su principal tipo de transporte de sedimentos es mediante tracción, con una

estabilidad moderada-alta según la forma del canal y su carga de sedimentos tractiva. Se tiene además un sentido de corriente promedio de S40°E en el tramo norte del área de estudio, y con una dirección del sentido de la corriente en S12°E para el tramo más al sur; con una velocidad de corriente promedio de 0,76 m/seg y un caudal promedio de 2,99 m³/seg.

Se presenta un modelo de baja sinuosidad, sobre un relieve relativamente plano conformado principalmente por elementos GB en las zonas centrales y laterales del cauce, que se generan cuando cesan los periodos de flujo máximo de corriente, hacia los bordes de las barras se presentan elementos SB, generados en fondos de canales activos y LS que se generan por flujos torrenciales (Figura 59).

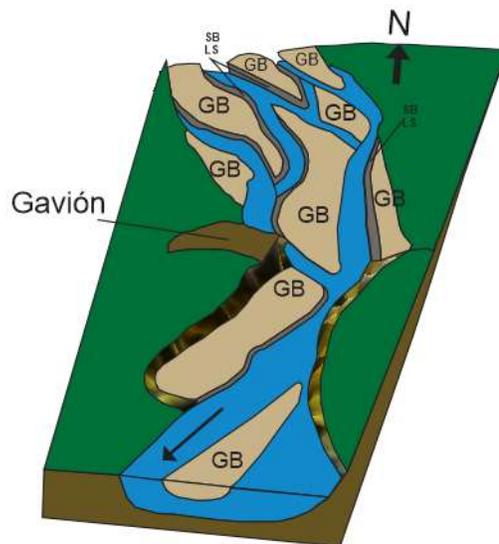


Figura 59. Modelo sedimentológico propuesto para el área de estudio. Realizado en el software Corel Draw-2018

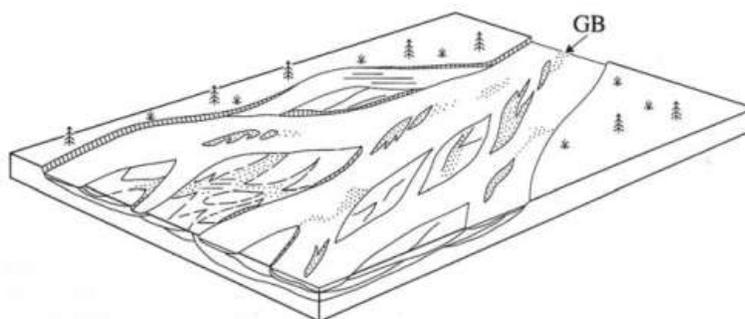


Figura 60. Modelo fluvial Rio Trenzado somero de gravas "tipo Scott". Tomado de: Miall (1996)

Basadas en las características mencionadas para la cuenca en este sector, se puede asociar al modelo fluvial correspondiente al Rio Trenzado Somero de Gravas "Tipo Scott" propuesto por Miall (1996) (Figura 60), ya que poseen como principal elemento arquitectónico las barras de grava longitudinales (GB), con litofacies Gh, Gcm y Gmm. Esta cuenca es poco profunda, con baja sinuosidad y presenta en menor proporción el elemento arquitectónico de fondos de arena (SB).

Además relacionándolo con la clasificación propuesta por Schumm (1981, 1985), la cuenca correspondería a un canal entrelazado, con una estabilidad relativa moderada - alta y que presenta tamaños de granos gruesos (gravas), una carga de sedimentos alta y una velocidad de flujo y energía moderada, que se asemeja a las características definidas durante el estudio realizado.



15 ANALISIS MULTITEMPORAL

El Rio Guamal ha presentado frecuentes variaciones en el trazado de su cauce a través de su valle fluvial, en una dinámica que refleja mayor o menor actividad en los diferentes tramos del rio, el tipo predominante de la misma y el control que sobre el cauce ejercen algunos rasgos morfológicos y geológicos locales. Como producto de esta dinámica, el rio Guamal ha modelado su llanura aluvial, desplazándose lateralmente en ella o cambiando de curso, en un proceso continuo de construcción y destrucción geomorfológica.

Esta variación es analizada preliminarmente en este informe, considerando los trazados del cauce del rio para 4 periodos distintos: la década actual (2020), década del 2015, década del 2000 y década de 1987. Con base en información secundaria y la obtenida a partir de imágenes de satélite se establecen los principales rasgos del trazado del cauce para cada uno de estos periodos y se hacen consideraciones sobre su comportamiento y variabilidad.

15.1 Descripción del trazado del Cauce

Se describe el trazado y la configuración del cauce del Rio Guamal para 4 periodos correspondientes a la década de 1987, 2000, 2015, 2020, para el sector de San Agustín en el municipio de Castilla La Nueva, Meta. Se describe de manera general aspectos relacionados con la sinuosidad del cauce y la configuración del canal principal y canales secundarios.

15.1.1 Cauce de la década de 2020 (Actual)

Para la descripción del cauce durante la época del 2020 (Figura 61), se utilizó como base una imagen tomada mediante fotogrametría por un dron, por la empresa Agencia para la Infraestructura del Meta, la cual se tomó en diciembre del año 2020.

El cauce en su parte más septentrional presenta una configuración morfológica con varias islas y barras tanto laterales como centrales que separan el cauce principal en varios canales, que les da una configuración inestable y tamaños variables, causando que algunos canales secundarios amplíen la llanura de inundación y que choquen contra los gaviones que se construyeron anteriormente.

En general, presenta una dirección SE, hasta las coordenadas correspondientes al puente peatonal (Y: 643000 con X: 424000), donde cambia su dirección hacia el SSE, y donde a su vez, confluyen todos los canales en uno solo. Este último presenta una sinuosidad baja a recta, que más adelante cambia su dirección hacia el E, pero que sigue manteniendo su sinuosidad baja.

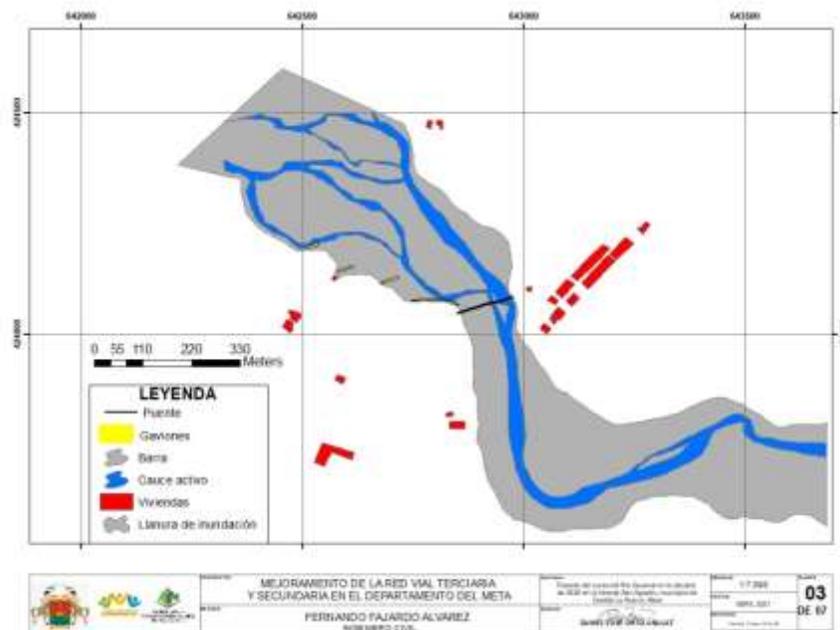


Figura 61. Trazado del cauce del Rio Guamal en la década de 2020, en el sector de Puente la Hormiga, Vereda San Agustín, Municipio de Castilla La Nueva, Meta

Además, se debe recalcar que el río en el sector del puente, se encuentra chocando contra la base del puente, que corresponden a rocas de abanico aluvial bastante meteorizadas. La llanura de inundación presenta una anchura máxima de 380 m en la parte más septentrional del cauce en este sector, posteriormente presenta un estrechamiento de llanura, que correspondería al sector del puente, donde se encontraría la anchura mínima de 127m, pero que más adelante, volvería a presentar un ensanchamiento llegando a tener hasta 306 m en su parte más ancha.

15.1.2 Cauce de la década de 2015

Para la descripción del cauce durante la época del 2015 (Figura 62), se utilizó como base una imagen satelital tomada de Google Earth.

Durante esta época el cauce del río presenta una morfología estable, donde solo se observan dos barras centrales que dividen el cauce en dos canales, pero que no altera en gran medida la estabilidad del río. Su canal principal presenta en términos de sinuosidad una tendencia recta con una dirección SSE, que le dan una apariencia general al cauce de río recto o trenzado. Más hacia el Sur del río, se puede observar como el cauce cambia su dirección drásticamente hacia el E, posiblemente debido a materiales rocosos.

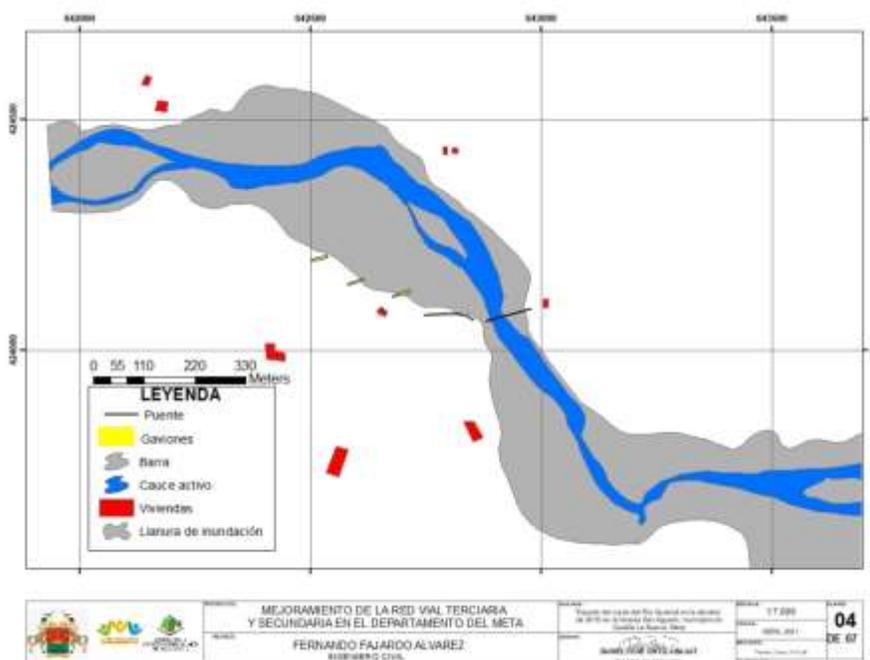


Figura 62. Trazado del cauce del Río Guamal en la década de 2015, en el sector de Puente la Hormiga, Vereda San Agustín, Municipio de Castilla La Nueva, Meta

Adicional a esto, se puede observar que se construyeron unos gaviones en la parte izquierda de la llanura de inundación del río, para evitar que el cauce corriera por esa zona. La llanura de inundación presenta una anchura máxima de 294m, que se encuentra en la parte más septentrional del cauce en este sector y una anchura mínima de 100m, ubicado en el sector

del puente peatonal, posterior al puente se vuelve a presentar un ensanchamiento de la llanura, llegando hasta los 285 m en sus partes más anchas.

15.1.3 Cauce de la década de 2000

Para la descripción del cauce durante la época del 2000 (Figura 63), se utilizó como base la imagen satelital tomada de Google Earth, durante el año 2000, sin embargo, dadas las limitaciones de Google Earth para esa época, no presenta la continuación hacia el sur del Rio en el sector.

Se observa que el cauce presenta en su zona más al norte, una configuración morfológica correspondiente a numerosas islas y barras, tanto laterales como centrales que separan el cauce principal en varios canales, con unas barras de configuración inestable y de tamaño variable, que se encuentran distribuidas a lo largo y ancho del cauce, generando un aspecto trezado. Además el cauce presentan una tendencia de sinuosidad baja a recta, pero que confluyen posteriormente en las coordenadas correspondientes a X: 425250 – Y: 642750.

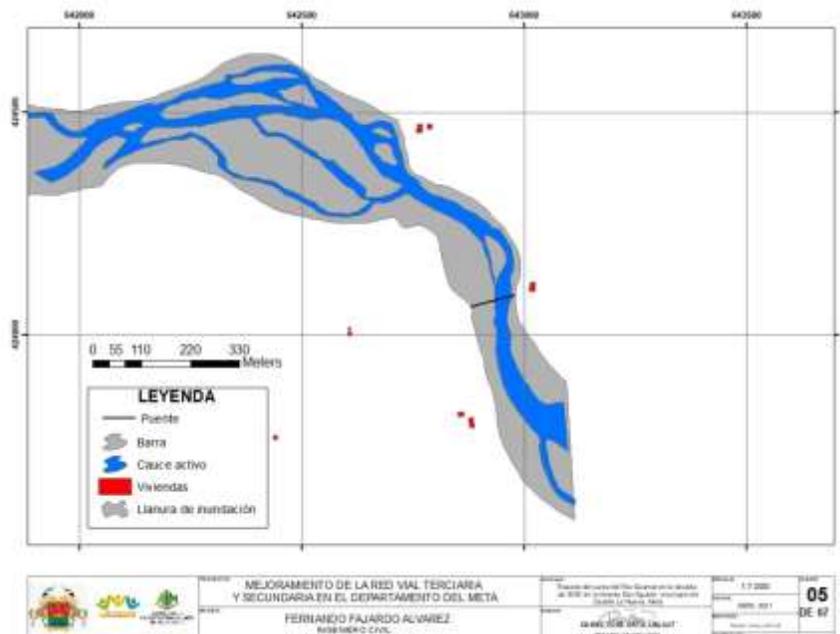


Figura 63. Trazado del cauce del Río Guamal en la década de 2000, en el sector de Puente la Hormiga, Vereda San Agustín, Municipio de Castilla La Nueva, Meta



En general se observa una tendencia SE en la dirección del río, sin embargo en las coordenadas aproximadas de Y: 643000 con X: 424000, que correspondería al sector donde se construyó el puente peatonal, presenta un cambio notorio en la dirección, pasando a tener una tendencia SSE, pero continuando con su sinuosidad baja a recta.

La llanura de inundación en este sector presenta una anchura máxima de 305 m, que se encuentra ubicada en la parte más al norte del cauce en este sector y que posteriormente se comienza a estrechar, hasta llegar a un mínimo 100m, que correspondería al sector del puente peatonal, pero que posteriormente más hacia el Sur se vuelve a ensanchar hasta llegar a 162 m de ancho.

15.1.4 Cauce de la década de 1987

Para la descripción del cauce durante la época de 1987 (Figura 64), se utilizó como base la fotografía aérea tomada por el IGAC durante el año de 1987, y que corresponde a la fotografía C2323 – 235.

Durante esta época se presenta un cauce que se caracteriza morfológicamente por la presencia de numerosas islas y barras centrales y laterales, que separan el cauce en dos o tres canales, de configuración inestable y tamaño variable. Analizando cada uno de los canales, se pueden considerar con una tendencia de baja sinuosidad a recta. Además, en el tramo medio, en las coordenadas correspondiente a X: 424000 e Y: 643000 que corresponde al sector donde se construiría el puente peatonal actual, se puede observar que tanto el cauce principal como los canales secundarios, tienen una tendencia SE, pero que cambia su dirección hacia el SSE, donde confluyen todos los canales, pero que más adelante vuelven a desprenderse del canal principal.

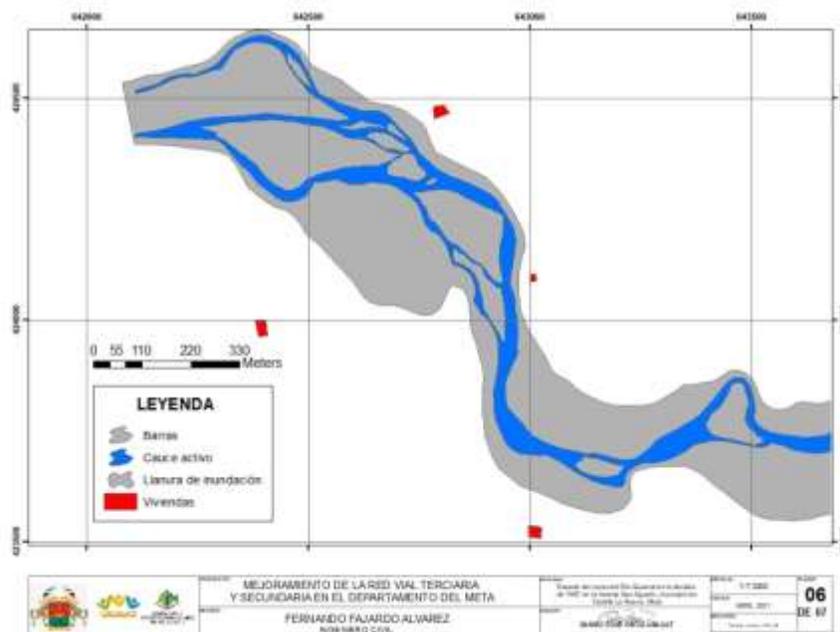


Figura 64. Trazado del cauce del Rio Guamal en la década de 1987, en el sector de Puente la Hormiga, Vereda San Agustín, Municipio de Castilla La Nueva, Meta

Para recalcar, la llanura de inundación del rio en este sector, presenta una anchura de 320 m en la parte más norte del cauce en este sector, para más adelante ensancharse hasta llegar a la anchura máxima del rio en este sector, que correspondería a 353m, posteriormente se estrecharía hasta llegar a un mínimo de 115m, donde la mínima corresponde al sector donde se realizara el puente, pero que posteriormente se volvería a ensanchar hasta llegar a los 277 m.

15.2 Dinámica del cauce en el periodo 1987-2020

Basados en el análisis y descripción del cauce del Rio Guamal en el sector de San Agustín, que se encuentra en el Municipio de Castilla La Nueva, Meta, para los periodos de 1987, 2000, 2015 y 2020, se analizaron los cambios que ha sufrido el trazado del curso, para identificar los sectores donde ha habido una mayor dinámica fluvial y una alteración en la estabilidad del rio.

El rio Guamal se caracteriza por presentar un cambio en su dinámica y configuración que es apreciable a partir de la comparación de los cauces analizados (Figura 65, Figura 66).



Para el periodo de 1987, el río se caracteriza por presentar varios canales, manteniéndose su canal principal al lado Este del área de estudio, además de presentar en la parte norte una llanura de inundación bastante extensa que posteriormente se estrecha, producto de la confluencia de los canales en la zona media del área de estudio. Para el periodo del 2000, se evidencia una mayor división del canal, llegando a tener incluso 5 o 6 canales secundarios en la parte septentrional de la zona de estudio, sin embargo presenta una disminución de la llanura de inundación, producto de la unión de todos los canales secundarios en el canal principal, favoreciendo la profundización del río y el estrechamiento de ese sector, que corresponde al puente peatonal La Hormiga.

Posteriormente para el periodo del 2015, el río se caracteriza por presentar un comportamiento relativamente estable, dado que presenta un canal único de muy baja sinuosidad, con presencia de grandes barras longitudinales y laterales; sin embargo a pesar de su estabilidad, se puede ver un incremento en la llanura de inundación en el sector NW, por lo que se realizó la construcción de gaviones, con el fin de evitar la entrada del cauce por ese sector, cabe destacar que los gaviones no se encuentran desviando el curso del río para esta época. Por último, para el periodo del 2020, el río presenta nuevamente divisiones del canal principal en varios canales secundarios en su parte más septentrional, generando así un ensanchamiento de la llanura de inundación en esta zona, que a su vez genera que estos canales secundarios abarquen toda la llanura de inundación, y que si no fuera por las gaviones construidos anteriormente, hubiera habido inundaciones en el sector W del área de estudio, producto de la intrusión del cauce en esta tierra. Adicional a esto, se tiene que el cauce principal en la zona del puente La Hormiga se encuentra chocando contra la base del puente, generando una erosión lateral en esta zona.

Cabe destacar que el río presenta en todas las épocas un estrechamiento del cauce y de la llanura de inundación, en el sector correspondiente al Puente La Hormiga, y que posteriormente continúa su trayecto hacia el sur en un único canal principal. Teniendo en cuenta este análisis, se podría considerar al río en este sector como inestable, dado que presenta grandes variaciones en un corto intervalo de tiempo.

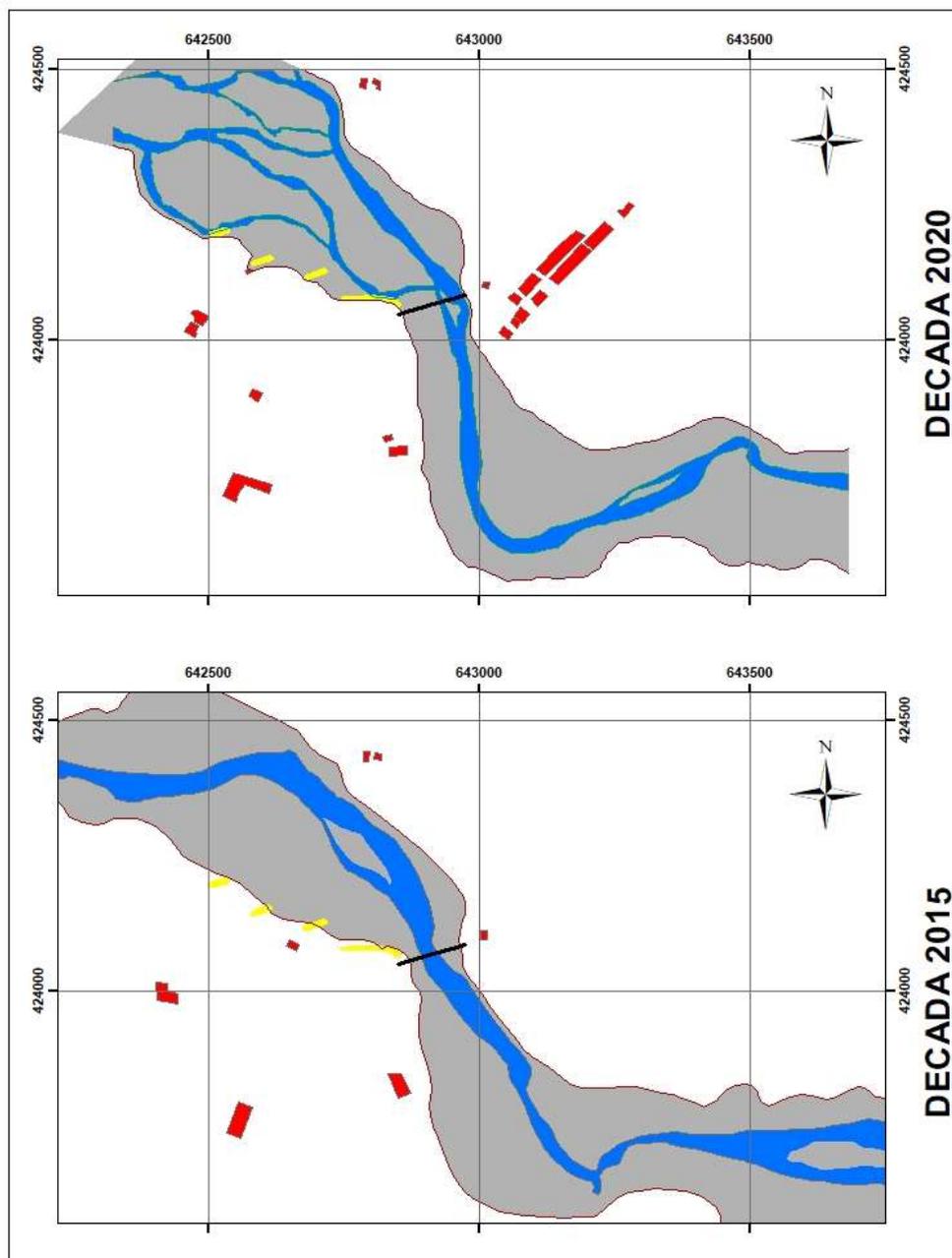


Figura 65. Diagrama del analisis multitemporal del rio Guamal (2020 – 2015) en el sector San Agustín, Castilla la Nueva, Meta. Leyenda por colores: Gris: Llanura de inundación y barras; Azul: Cauce activo; Amarillo: Gabiões; Negro: Puente peatonal; Rojo: viviendas

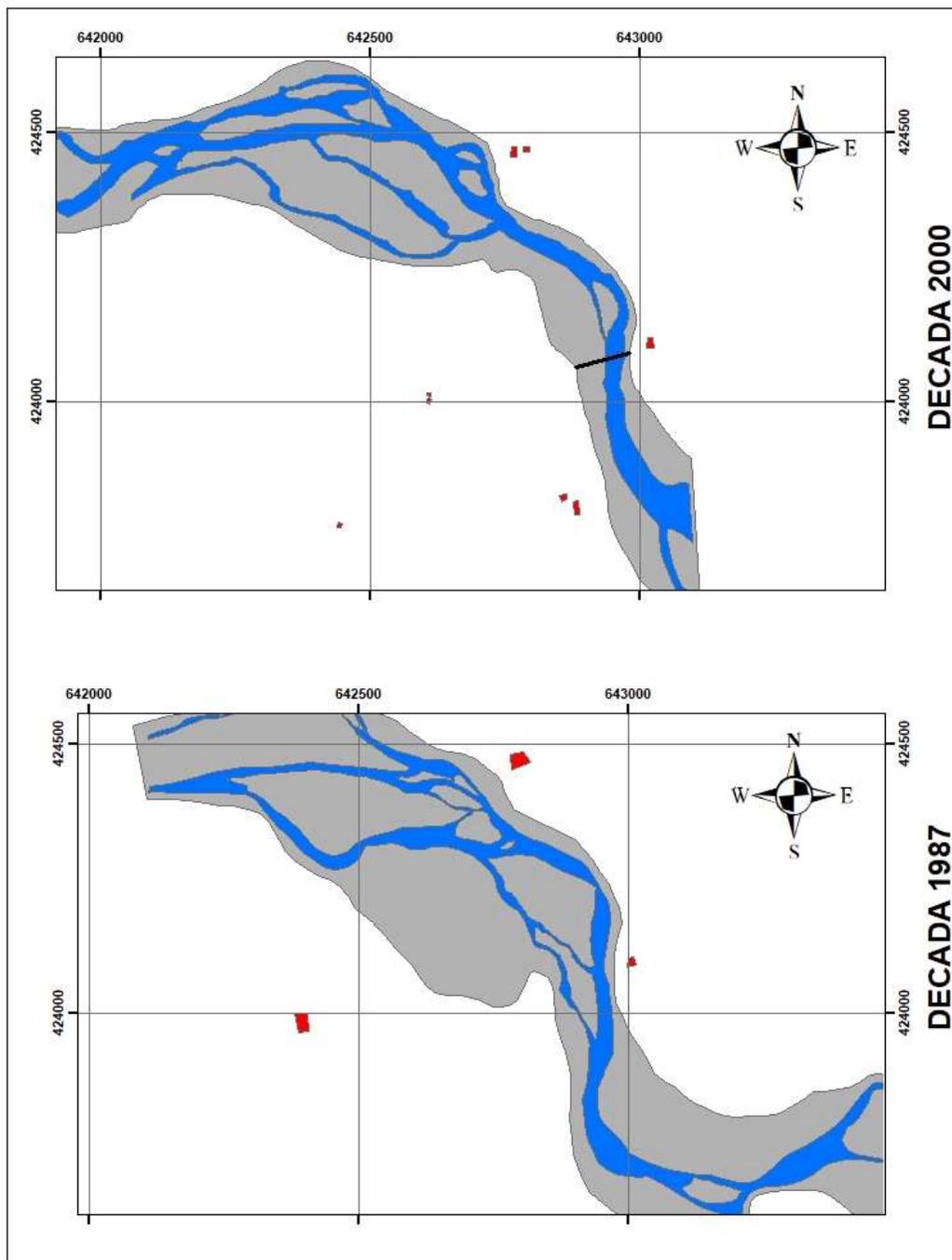


Figura 66. Diagrama del analisis multitemporal del rio Guamal (2000 – 1987) en el sector San Agustín, Castilla la Nueva, Meta. Leyenda por colores: Gris: Llanura de inundación y barras; Azul: Cauce activo; Rojo: viviendas

Teniendo en cuenta la Figura 67, se puede observar que el río presenta inestabilidad en el cauce del río, sobre todo en la parte norte de este, dado que predomina en esta zona la división del cauce principal en varios canales secundarios, que provocan un ensanchamiento de la llanura de inundación del río, pero que posteriormente convergen de nuevo en un solo canal principal, en la parte central del área de estudio (Puente La Hormiga). Para el sector sur, el río presenta un cierto grado de estabilidad con una sinuosidad baja a recta, que presenta movimientos constantes de W a E. Además, se debe mencionar que el río presenta cierta tendencia de movimiento lateral hacia el SW.

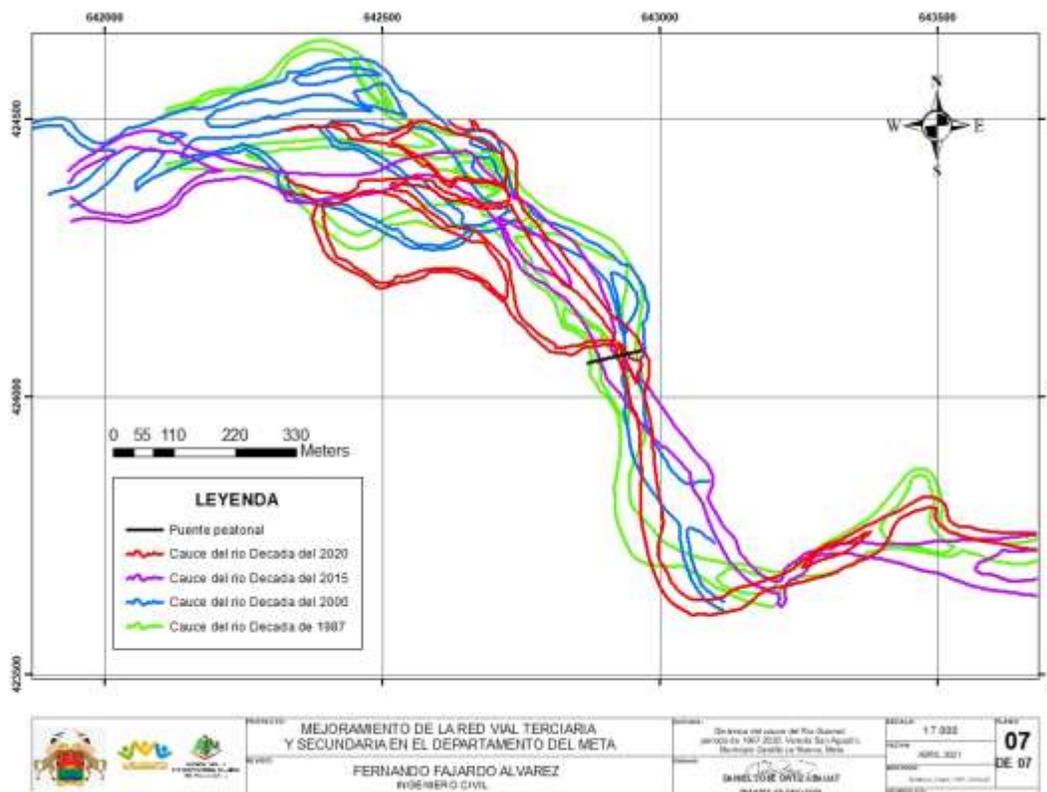


Figura 67. Dinámica del cauce del Rio Guamal periodo 1987 – 2020, en el sector de Puente la Hormiga, Vereda San Agustín, municipio de Castilla La Nueva, Meta.



15.3 Análisis de la dinámica

Para realizar un análisis preciso de la interpretación de las variaciones morfológicas e hidrológicas que ha sufrido el río Guamal en la vereda San Agustín, Municipio de Castilla La Nueva, durante los periodos de 1987-2020, es necesario considerar características regionales y aspectos de su evolución reciente.

Geológicamente los llanos orientales, se encuentran conformados por Abanicos aluviales antiguos, compuestos principalmente de conglomerados y brechas con clastos tamaño guijarro y bloque, que se encuentran disectados por drenajes recientes y abanicos aluviales subrecientes, conformados por conglomerados y brechas con clastos tamaño guijo y guijarro, con matrices arena media a fina. Estos últimos abanicos se encuentran rellenando las incisiones provocadas por los drenajes en los abanicos aluviales antiguos.

Debido a la composición geológica de la zona de los llanos orientales, los ríos presentan características de ríos trenzados a anastomosados, con tendencia a inundaciones y desbordamientos.

El río Guamal en el área de estudio se encuentra caracterizada por un cauce dinámicamente activo, debido a la alta migración de islas e inestabilidad de canales, sobre todo en su parte más septentrional. La inestabilidad de estos cauces son probablemente causados por el aporte constante de grandes volúmenes de materiales de arrastre y la variación fluvial de los canales.

Por otra parte, el cauce presenta ensanchamiento de la llanura de inundación principalmente hacia el Oeste, dando a inferir por el movimiento lateral de los cauces y el ensanchamiento de la llanura, que el río presenta tendencias de movimiento hacia el Oeste del área de estudio. Sin embargo, es importante aclarar que en este sector se construyeron gaviones y espolones para evitar riesgos de inundación hacia el Oeste y controlar la dirección del río; pero se debe tener en cuenta, que la llanura de inundación del río ha traspasado algunos gaviones, por lo que en un futuro el río podría traspasar estas estructuras.



Adicional a esto, el río actualmente se encuentra colisionando contra la base del puente lo que genera erosión lateral, que en caso de no ser controlada puede ocasionar en un futuro un desprendimiento de tierras que perjudique la movilidad por el puente peatonal La Hormiga, además de que permitiría la entrada del cauce por este sector.

Para finalizar, el río presenta un grado medio de inestabilidad en la parte norte del área de estudio, producto de la división de canales, generando cambios constantes en la sinuosidad del río, generación de barras centrales y laterales, y el ensanchamiento progresivo de la llanura de inundación, que a la larga puede provocar inundaciones en los sectores aledaños; para lo cual es necesario realizar obras para controlar la dirección de la corriente, con el fin de evitar la erosión lateral de la tierra que se encuentra en la base del puente.



16 DISCUSION

Los resultados del estudio realizado para el Rio Guamal en el sector del Puente La hormiga, Vereda San Agustín, municipio de Castilla La Nueva, Meta, indican que el rio presenta para el tramo sur un comportamiento relativamente estable dado que mediante el análisis multitemporal realizado se determinó que el cauce no ha tenido mayor variación tanto en forma como en dirección, siendo que la variación lateral se ha mantenido relativamente estable; sin embargo, se debe considerar que en términos de la caracterización sedimentológica realizada (granulometría, facies, estilos arquitectónicos, etc.) presenta características similares al tramo norte, pero que se compone en menor proporción por materiales tamaño grava.

Por otro lado, se determinó un grado medio de inestabilidad en la parte norte del área de estudio, producto del aporte constante de grandes volúmenes de materiales de arrastre y la variación fluvial de los canales que generaría cambios frecuentes en la sinuosidad del rio y el ensanchamiento progresivo de la llanura de inundación, ocasionando un aumento en el riesgo de sufrir inundaciones en las zonas aledañas.

Cabe resaltar que en este sector del rio Guamal sobre la margen derecha (Oeste del área de estudio), se realizaron construcciones de obras de protección en el año 2015 (gaviones y espolones), con el fin de evitar la inundación de las zonas aledañas. Sin embargo, mediante el análisis multitemporal y lo visto en campo, se observó que la llanura de inundación del rio sobrepasó los gaviones, por lo que se esperaría que estos gaviones en 5 o 10 años quedaran obsoletos, debido a la variación constante del rio en el tramo norte.

Teniendo en cuenta, el análisis multitemporal realizado y los datos de dirección y comportamiento actual del rio en el tramo norte (S42°E) se recomendarían obras para la estabilización de la base este del Puente la Hormiga, dado que el rio se encuentra chocando contra la base del puente lo que genera erosión lateral, que puede ocasionar un desprendimiento de tierras en este sector. Así mismo, según comentarios de la población local, el rio en varias ocasiones ha inundado el sector Este (margen izquierda) del Rio Guamal, que correspondería al camino vehicular que conecta con el puente La Hormiga,



por lo que se recomendaría realizar obras para la estabilidad de los bordes del río en la zona este (margen izquierda) del Río Guamal, aproximadamente 300 metros hacia el norte del Puente La Hormiga, para evitar la entrada del río a este sector.

A su vez, se recomienda la realización de obras para la protección y estabilidad de bordes del río en la zona NW del área de estudio, dado que según lo observado mediante el análisis multitemporal, el río presenta un desplazamiento lateral hacia el Oeste del área de estudio, lo que ocasionaría la inundación de los predios que se encuentran al W del área de estudio y así mismo que sobrepase los gaviones construidos en el 2015 para su estabilidad.

Por último, se recomienda a la Agencia para la Infraestructura del Meta, la realización de estudios hidráulicos más detallados para determinar con mayor precisión el comportamiento del cauce actual del río Guamal, y así mismo determinar junto con un especialista el tipo de obra de protección que mejor convenga para la estabilidad del cauce y la profundidad a la cual se debe realizar. También se recomiendan estudios geofísicos de tomografías geoeléctricas y líneas sísmicas para una mejor caracterización geológica del subsuelo en el sector.



17 CONCLUSIONES

- Se identificaron 6 facies sedimentarias: Grava masiva matriz soportada (Gmm), Gravas masivas clasto-soportadas (Gcm), Gravas con estratificación paralela (Gh), Arena fina a muy gruesa con ripples asimétricos (Sr), Arenas masivas finas a muy gruesas (Sm), Arenas finas a muy gruesas con laminación paralela (Sh), distribuidas a lo largo de la sección estudiada del Rio Guamal. Se definieron 2 formas de fondo: Ripples rectilíneos asimétricos y ripples linguoides.
- Basados en los datos recolectados para el cálculo de la velocidad de la corriente y el caudal se pudo determinar una velocidad promedio de 0,76 m/seg con un caudal de 2,99 m³/seg, para el sector del Rio Guamal estudiado. Teniendo en cuenta los datos correspondientes al tamaño de grano promedio (Arena fina), junto con la profundidad promedio del rio (50 cm), y la velocidad de flujo (0,76), se determinó que en este sector el rio Guamal corresponde a un régimen de flujo inferior parte media.
- Para el tramo estudiado del Rio Guamal, se determinó que el tamaño promedio de sedimentos corresponde a un tamaño de arena fina, con una selección moderada, que puede indicar cambios bruscos en el flujo de la corriente. A su vez, presenta un comportamiento platikurtico y en menor proporción, leptokurtico, lo cual podría indicar aporte de sedimentos de diferentes tributarios al Rio Guamal.
- En términos de gravas, presenta un predominio de clastos tamaño guijo (55%), y guijarros (16%), con zonas que presentan alta concentración de clastos tamaño bloque, lo que indicaría periodos de alto flujo de energía. Y principalmente en el tramo sur se puede encontrar una menor proporción de clastos tamaño grava.
- El índice de sinuosidad del Rio Guamal en el área estudiada, presenta valores de 1.019, que correspondería a ríos rectos, sin embargo se tuvieron en cuenta características adicionales para una mejor clasificación, como lo es el índice de entrelazamiento que presenta un valor mayor a 1, que daría como resultado un rio tipo entrelazado o trenzado con grandes barras longitudinales y extensas llanuras de inundación.



- El sentido de la corriente del río en el área estudiada presentaría una tendencia unimodal con un sentido promedio de S42°E en el tramo norte, que corresponde a la sección que se encuentra hacia el norte del puente peatonal. Para el tramo sur corresponde a una tendencia unimodal con un sentido de la corriente promedio de S10°E, con ciertas variaciones hacia el Oeste.
- Se determinaron 3 elementos arquitectónicos que corresponderían a Barras de Gravas (GB), Estructuras sedimentarias arenosas (SB) y Arenas Laminadas (LS), que se encontrarían distribuidas en el área de estudio como Barras de grava (90%) en partes laterales y centrales del cauce, Formas de Fondo Arenoso (5%) y Laminaciones de Arena (5%).
- Se determinó que el drenaje en la zona de estudio se asocia principalmente al modelo fluvial Río Trenzado Somero de Gravas “Tipo Scott” propuesto por Miall (1996) debido a que presenta un modelo de baja sinuosidad sobre un relieve relativamente plano, con asociaciones faciales relacionadas principalmente a Barras de Gravas y en menor proporción a Formas de Fondo Arenosas.
- Mediante el Análisis multitemporal se pudo visualizar que el río presenta ensanchamientos de la llanura de inundación, principalmente hacia el Oeste, que junto con el movimiento lateral que presentan los cauces a lo largo de los años, permiten inferir que el río se encuentra con una tendencia de movimiento hacia el Oeste del área de estudio.
- Se recomienda mitigar los riesgos de erosión e inundación con obras de estabilidad de cauce en los sectores correspondientes al Noroeste y al Noreste del área de estudio. Para lo cual se sugiere profundizar con estudios hidrológicos, geomorfológicos y geofísicos.

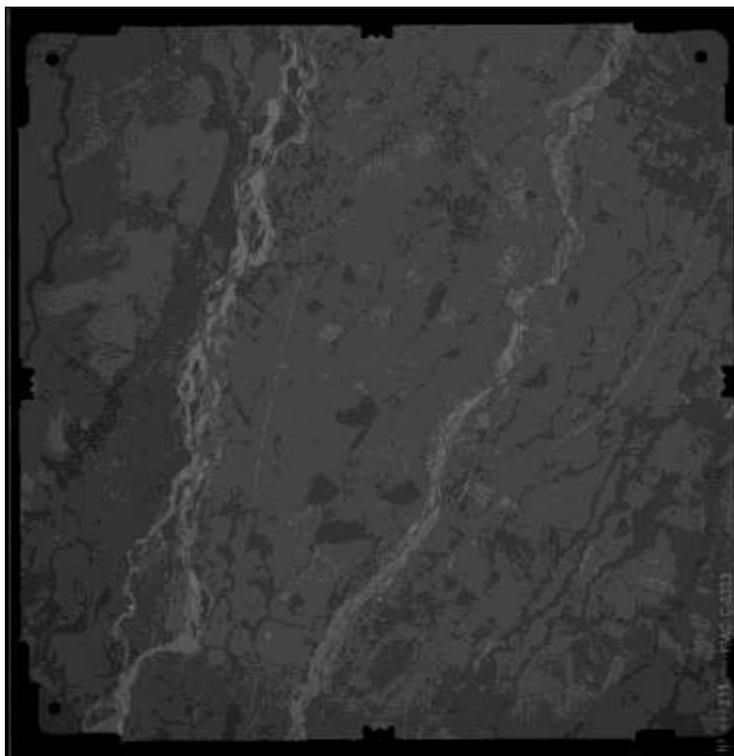


ESTACION	TAMAÑO	CONTEO	ESTACION	TAMAÑO	CONTEO	ESTACION	TAMAÑO	CONTEO
1	BLOQUE	7	2	BLOQUE	4	3	BLOQUE	15
	GUIJARRO	24		GUIJARRO	14		GUIJARRO	26
	GUIJO	51		GUIJO	49		GUIJO	48
	GRANULO	18		GRANULO	33		GRANULO	11
	MÁTRIZ	Arena Fina		MÁTRIZ	Arena muy gruesa		MÁTRIZ	Arena muy gruesa
	REDONDEZ	57% SR 35% SA 8% R		REDONDEZ	53% SA 43% SR 3% A		REDONDEZ	51% SR 42% SA 7% A
	Rodondeada	8		Rodondeada	0		Rodondeada	0
	Subrodondeada	57		Subrodondeada	43		Subrodondeada	51
Subangular	35	Subangular	53	Subangular	42			
Angular	0	Angular	4	Angular	7			
ESTACION	TAMAÑO	CONTEO	ESTACION	TAMAÑO	CONTEO	ESTACION	TAMAÑO	CONTEO
4	BLOQUE	8	5	BLOQUE	25	6	BLOQUE	0
	GUIJARRO	18		GUIJARRO	19		GUIJARRO	6
	GUIJO	49		GUIJO	54		GUIJO	90
	GRANULO	25		GRANULO	2		GRANULO	4
	MÁTRIZ	Arena gruesa		MÁTRIZ	Arena gruesa		MÁTRIZ	Arena gruesa
	REDONDEZ	53% SR 46% SA 1% A		REDONDEZ	61% SR 30% SA 9% R		REDONDEZ	48% SR 43% SA 6% A 3% R
	Rodondeada	0		Rodondeada	9		Rodondeada	3
	Subrodondeada	53		Subrodondeada	61		Subrodondeada	48
Subangular	46	Subangular	30	Subangular	43			
Angular	1	Angular	0	Angular	6			
ESTACION	TAMAÑO	CONTEO	ESTACION	TAMAÑO	CONTEO			
7	BLOQUE	13	8	BLOQUE	28			
	GUIJARRO	16		GUIJARRO	10			
	GUIJO	44		GUIJO	56			
	GRANULO	27		GRANULO	6			
	MÁTRIZ	Arena media		MÁTRIZ	Arena gruesa			
	REDONDEZ	45% SA 34% SR 11% R 8% A		REDONDEZ	65% SR 25% SA 8% R 2% A			
	Rodondeada	11		Rodondeada	8			
	Subrodondeada	36		Subrodondeada	65			
Subangular	45	Subangular	25					
Angular	8	Angular	2					

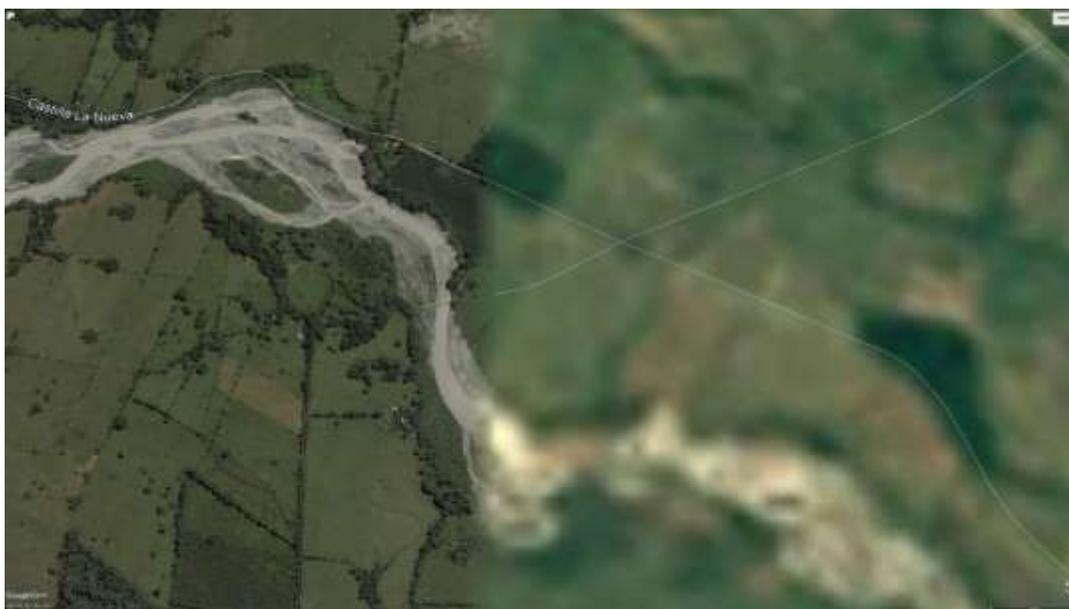
Anexo 1. Conteo granulométrico de gravas

CLASIFICACIÓN	TAMAÑO (mm)	NUMERO DE MUESTRA								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		PESO (gr)								
Grava	>2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena muy gruesa	1 - 2	-	-	-	0,21	-	-	-	-	-
Arena gruesa	0,5 - 1	0,04	0,04	0,16	0,67	0,06	-	0,62	-	0,06
Arena media	0,25 - 0,5	3,43	1,02	4,72	10,61	6,92	0,12	64,49	5,93	3,35
Arena fina	0,125 - 0,25	113,76	19,62	67,67	103,82	147,56	16,92	85,54	121,7	64,38
Arena muy fina	0,0625 - 0,125	56,38	130,15	84,42	73,44	40,34	86,64	43,18	51,65	93,43
Lodo	<0,0625	25,58	48,43	41,6	10,78	3,92	95,33	5,21	19,49	38,01
SUMATORIA		199,19	199,26	198,57	199,53	198,8	199,01	199,04	198,77	199,23

Anexo 2. Conteo granulométrico de arenas



*Anexo 3. Fotografía aérea de la zona de estudio en el año 1987.
Foto tomada del Instituto Geográfico Agustín Codazzi*



*Anexo 4. Fotografía aérea del área de estudio en el año 2000.
Foto tomada de Google Earth Pro.*



*Anexo 5. Fotografía aérea del área de estudio en el año 2015.
Foto tomada de Google Earth Pro*



*Anexo 6. Fotografía área del área de estudio en el año 2020.
Fotografía tomada de Google Earth Pro*



19 BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, N. G., Hernández, T. H., Y Perilla, A. R. (1999). Casanare: Características geográficas. Bogotá. D. C.: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 356 p.
- Allen, J. 1983. Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders. *Sedimentary Geology* 33: 237-293.
- Ashley, 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. SEPM Bedforms and Bedding Structure Research Symposium. *Journal of Sedimentary Research*.
- CORMACARENA (2013). Vol 04. Climatología, Hidrología e Hidrogeología. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Guamal.
- Collison, J., Mountney, N., Thompson, D. (2006). *Sedimentary Structures*. Third edition, Terra publishing. England.
- Dueñas Jiménez, H. & T. Van der Hammen. (2007). Significado geológico y asociaciones palinológicas de las formaciones Diablo Inferior (Mioceno Tardío) y San Fernando Superior (Mioceno Medio), Piedemonte cuenca de los Llanos Orientales, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 31(121): 481-498.
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957, Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters: *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1), 3-26.
- Henrik Hargitai (2014). Current Crescent and Scour Flute. NASA Ames Research Center /NPP. Moffett Field, CA, USA.
- Hubach, E. (1957). Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores: *Boletín del Instituto Geológico Nacional*, v. 5, p. 93-112.
- INGEOMINAS, 2015. GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 284 SANTANA. Memoria explicativa. Bogotá D.C.
- INGEOMINAS, 2015. GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 285 SAN MARTIN Escala 1:100.000. Memoria explicativa. Bogotá D.C.



- Koster, E.H. y Steel, R. 1984. Sedimentology of Gravels and Conglomerates, Mem. Can Soc. Petrol. Geol. 441 pp.
- Miall, A. D. (1985). Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Sci Rev* 22: 261-308.
- Miall, A., and Tyler, N., 1991. The three dimensional terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery. *SEPM concepts in sedimentology and paleoecology*. Tulsa, OK. Vol. 3, pp. 1-309.
- Miall, A. D. (1996). *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer eds. 582 p.
- Mistri, S. G. (2012). Hydrogeomorphic Significance of sinuosity Index in relation to River Instability: A case Study of Damodar River, West, Bengal, India. *International Journal of Advances in Earth Sciences*, Volume 1, Issue 2, 2012, 49-57, 49-57.
- Orton, G. J. y Reading, H. G. (1993): Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology*, 40, 475-512.
- Pulido-González, O., & L.S. Gómez-Villalba. (2001). Geología de la Plancha 266 Villavicencio, escala 1:100.000, Bogotá, INGEOMINAS, p. 53.
- Pye K, Tsoar H (1990) *Aeolian sand and sand dunes*. Unwin Hyman, London
- Renzoni, G. (1962). - Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al Este y Sureste de Bogotá, *Bol. Geol.*, Vol. X, págs. 59-79, Bogotá.
- Rodríguez, E. (2000). Caracterización de Unidades Geológicas y Geomorfológicas de Colombia – Formación Une. INGEOMINAS, Bogotá.
- Sánchez & Sopena (2015). Enseñanzas de las ciencias de la tierra. ISSN (edición impresa): 1132 – 9157.
- Schumm, S. A. (1981): Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications. En F. G. Ethridge y R. M. Flores (eds.), *Recent and ancient nonmarine depositional environments: models for exploration*. Soc. Eco. Paleont. Miner. Sp. Publ., 31, 19-29.



AGENCIA PARA LA
INFRAESTRUCTURA DEL META
NIT. 900 220 547-5

- Schumm S.A. (1985): Patterns of alluvial rivers. *Annu. Rev. Earth Pl. Sc.*, 13, 5-27
- Ulloa, C. & Rodríguez, C. (1976). Mapa geológico de la Plancha 211 – Tauramena. Publicada en 1983. INGEOMINAS, Bogotá.
- Van der Hammen, T. 1957. Estratigrafía Palinológica de la Sabana de Bogotá (Cordillera Oriental de Colombia). *Inst. Geol. Nal., Bol. Geol.*, 5(2). Bogotá.
- Vergara y Rodríguez, (1996). Consideraciones sobre la petrografía y diagénesis de los grupos Guadalupe (Cordillera Oriental) y Palmichal (Piedemonte Llanero). – *Geología Colombiana* No. 21, p. 41 -63, 10Figs., 4 láminas, 6 tablas, Santa Fe de Bogotá.
- Wilson, I. G. (1973): Equilibrium Cross-section of meandering and braided Rivers. *Nature*, 241, 393-394.