

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS Y
ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DE LA
RIBERA DERECHA DE UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA
DEL RÍO CARIS, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO
ANZOÀTEGUI, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LA BACHILLER
MARULANDA B.,
ALVENIS C. PARA
OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, NOVIEMBRE DE 2018



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

ACTA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS Y ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DE LA RIBERA DERECHA DE UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CARIS, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA**, presentado por la bachiller, **MARULANDA B., ALVENIS C.** de CI: **17.886.568**, ha sido **APROBADO** de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre:

Prof. Dafnis Echeverría

(Asesor)

Prof. Francisco Monteverde

(Jurado)

Prof. Javier Ramos M.

(Jurado)

Prof. Javier Ramos M.

Jefe de Dpto. de Ing. Geológica

Firma:

Prof. Francisco Monteverde

Director d Escuela de Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, 07 de Noviembre del 2018

DEDICATORIA

A DIOS porque Él es mi fundamento.

A mi amada madre Luz Marina Barrero Palacio.

A mi padre (Q.E.P.D) Edgar de Jesús Marulanda Bolívar, con todo mi Amor.

A mis hermanos: Freddy, Yaneth, Edgar, Maryury, luz Elena y José Gregorio.

A mi abuela María Solfani Palacio Rubio, y a todos mis tíos en especial a mi tío Luis Enrique Marulanda que ha sido mi segundo padre y me ha apoyado en duros momentos.

A mi gran amiga y hermana Alison Yaneth Ivañez Vargas Q.E.P.D te quiero mucho amiga sabes que mis logros también son los tuyos, te Extraño.

A mi amigo Nelson Guerrero por fin termine gordo, gracias por acompañarme en esta travesía.

A Guiscleydis Herrera por su apoyo incondicional.

A mi mamá Lucy por ser el ángel que DIOS puso en mi camino, y toda la familia que DIOS me regalo en Ciudad Bolívar: familia Dekmak, familia Guaman Chito, familia Ramírez Guanabaney y familia Cadena Bolívar.

Alvenis C. Marulanda B.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a DIOS por ser mi guía y fortaleza cada segundo.

A toda mi familia por su gran amor y apoyo incondicional.

A la Universidad de Oriente y a todos los profesores que contribuyen cada día brindando sus conocimientos académicos para así formar nuevos profesionales.

A mi tutor académico Dafnis Echeverría, por hacer posible la realización de este proyecto, gracias por su ayuda y valiosa colaboración.

A todas las personas que de alguna u otra forma estuvieron ahí apoyándome en todo momento.

Alvenis C. Marulanda B.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en un tramo de la cuenca media del río Carís, el cual es uno de los ríos más importantes del sur del estado Anzoátegui, drenando sus aguas cargadas de sedimentos en el río Orinoco, en el municipio Independencia del citado estado. El objetivo del estudio es los procesos de transporte de sedimentos la estabilidad de los taludes sumergidos de la ribera derecha de un tramo de la cuenca media del mencionado río. Para el desarrollo de este objetivo se aplicó una metodología de tipo descriptiva con un diseño de campo y documental. Para el logro de la investigación se realizó un reconocimiento del área de estudio a fin de constatar las condiciones de los taludes de la ribera derecha del río; luego, se efectuó un levantamiento topográfico expeditivo para la construcción del plano topográfico y las secciones transversales que permitirán describir geomorfológicamente dicha zona (incluyendo el cauce y riberas del río Caris. En el cauce y taludes de las riberas, se tomaron cuatro (4) muestras de suelos para caracterizar texturalmente los sedimentos que se presume sean erosionados y transportados por las corrientes fluviales. Posteriormente, se determinaron las características morfométricas de la cuenca y las geométricas del cauce. Asimismo, utilizando el método del Hidrograma Triangular Unitario SCS, se estimó el caudal que aportaría la cuenca y con base a ello se simuló los procesos de erosión (socavación) o transporte de sedimentos utilizando el modelo de Hjulstrom. Entre los resultados relevantes se concluyó que la geomorfología indica que el tramo evaluado del río Caris en su cuenca media es sinuoso a recto, aunque regionalmente es meandrante y su pendiente es baja. Las riberas y llanura de inundación poseen relieve de sabana. Por otro lado, los sedimentos corresponden a arenas mal gradadas (SP) y la forma de sus partículas son predominantemente sub-redondeados y redondeados. La cuenca presenta un área de 2704 km² con una forma entre ovalada y oblonga con buenas condiciones de producir inundaciones significativas. El caudal aportado por la cuenca es de 65346 m³/s para un período de retorno de 10 años respectivamente. Según el modelo de Hjulstrom los sedimentos del cauce requieren para ser erosionados, velocidades del flujo de al menos 24 cm/s. En cuanto a la estabilidad de los taludes sumergidos se aplicó la metodología de la fuerza tractiva lo cual arrojó que para las condiciones de flujo en el momento de las mediciones de campo el talud sumergido es estable. Finalmente, se sugiere para la protección del talud objeto de estudio: la construcción de un muro escalonado de 3,5 m de altura y 102 m de longitud, integrado por elementos de gaviones en forma de paralelepípedo (1,00 m de largo, por 0,50 m de alto por 0,50 m de ancho) con una base de membrana geotextil, que permitan proteger los sedimentos finos del talud ante la acción erosiva de las corrientes del río.

CONTENIDO

ACTA DE APROBACIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN.....	V
CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DETABLAS	XIII
LISTA DE APÉNDICES	XV
LISTA DE ANEXOS	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 Justificación de la investigación.....	6
1.4 Alcance de la investigación	6
1.5 Limitaciones de la investigación	7
CAPÍTULO II	8
GENERALIDADES	8
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio	8
2.2 Acceso al área de estudio	9

2.3 Geología regional	10
2.4 Vegetación	12
2.5 Aspectos pedogenéticos	14
2.6 Hidrografía	14
2.7 Forma del relieve regional	15
2.8 Caracterización climatológica del área de estudio	16
2.8.1 Temperatura	17
2.8.2 Humedad relativa	18
2.8.3 Insolación solar	18
2.8.4 La precipitación	19
2.8.5 Evaporación	20
 CAPÍTULO III	 21
 MARCO TEÓRICO.....	 21
3.1 Antecedentes	21
3.2 Fundamentos teóricos	22
3.2.1 Canales abiertos	22
3.2.2 Tipos de flujos en canales	23
3.2.2.1 Flujo permanente	23
3.2.2.2 Flujo transitorio o no permanente	23
3.2.2.3 Flujo uniforme.....	23
3.2.2.4 Flujo gradualmente variado.....	23
3.2.2.5 Flujo sub-crítico o flujo lento	24
3.2.2.6 Flujo crítico.....	24
3.2.2.7 Flujo supercrítico	24
3.2.3 Estados del flujo.....	24
3.2.4 Distribución de velocidades en canales	26
3.2.5 Geometría de canal	26
3.2.6 Degradación del cauce	27
3.2.7 Hidrología fluvial.....	29
3.2.8 Análisis granulométrico por el método del tamizado	30
3.2.9 Forma, redondez y esfericidad.....	31
3.2.9.1 Forma	31
3.2.9.2 Redondez	33
3.2.9.3 Esfericidad	34
3.2.10 Representación gráfica de los datos granulométricos.....	34
3.2.10.1 Histograma de frecuencia	34
3.2.10.2 Curva de frecuencia simple.....	35
3.2.10.3 Curva de frecuencia acumulativa Phi	35

3.2.11 Morfología de ríos sinuosos.....	35
3.2.12 Afectación de la morfología de un río sinuoso	36
3.2.13 Erosión de márgenes	36
3.2.14 Procesos físicos del flujo en curvas	37
3.3 Modelamiento del transporte de sedimentos	38
3.3.1 Modelo de Hjulstrom y ASCE.....	38
3.4 Ecuaciones fundamentales que rigen el flujo en dos fases.....	39
3.4.1 Ecuación Fundamental de Darcy	39
3.4.2 Ecuación fundamental de Manning	40
3.4.3 Ecuación de la conservación de la energía de Bernoulli	41
3.5 Determinación del caudal de drenaje de la cuenca.....	42
3.5.1 Método racional	42
3.5.2 Método de hidrogramas	44
3.5.2.1 Método del hidrograma triangular	46
3.6 Estabilidad de los taludes sumergidos.....	50
3.6.1 Estabilidad en suelo marino.....	51
3.6.1.1 Estabilidad en suelo marino con sedimentos arcillosos.....	51
3.6.1.2. Sedimentos arenosos.....	54
3.6.2. Estabilidad de los taludes de las orillas según la teoría del arrastre	54
3.6.3 Método de la velocidad permisible	56
3.6.3.1 Velocidad máxima permisible	57
3.6.4 Método de la fuerza tractiva	59
3.6.4.1 Fuerza tractiva.....	60
3.6.4.2 Relación de la fuerza tractiva.....	62
3.6.4.3 Fuerza tractiva permisible.....	65
3.7. Socavación.....	67
3.7.1 Socavación general	68
3.7.2 Socavación local (socavación en curva)	69
3.7.3 Socavación local debido a estructuras (espolones).....	69
3.8 Obras de protección de orillas	71
3.8.1 Criterios generales de diseño de las obras de protección.....	72
3.8.2. Protecciones longitudinales	74
3.8.2.1. Muros.....	74
3.8.2.2 Estructuras ancladas.....	76
3.8.2.3 Estructuras Enterradas	77
3.8.2.4 Revestimientos.....	78
3.8.2.5 Mecanismos de falla en los revestimientos.....	80
3.8.2.6 Tipos de protecciones de riberas.....	83
3.9 Definición de términos básicos	94

3.9.1 Sección transversal	94
3.9.2 Caudal	94
3.9.3 Afluentes	95
CAPÍTULO IV	96
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	96
4.1 Nivel de la investigación.	96
4.2 Diseño de la investigación.	96
4.2.1 Investigación documental	96
4.2.2 Investigación de campo	97
4.3 Población y muestra de la investigación	98
4.3.1 Población de la investigación	98
4.3.2 Muestra de la investigación	98
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	99
4.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	99
4.4.1.1 Revisión y análisis documental.....	99
4.4.1.2 Observación directa	100
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos	100
4.5 Flujograma de la metodología de trabajo.	100
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos	101
4.6.1 Recopilación de la información y reconocimiento de campo.....	101
4.6.2 Caracterización actual del talud de la ribera derecha	102
4.6.3 Caracterización textural de los sedimentos.....	102
4.6.4 Caracterización geomorfológica de la cuenca y del cauce	102
4.6.5 Determinación de la estabilidad de los taludes sumergidos	103
4.6.6 Dimensionamiento de la protección del talud.....	103
CAPÍTULO V	105
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	105
5.1 Condiciones actuales de los taludes del tramo evaluado.....	105
5.2 Caracterizar geotécnicamente los sedimentos del talud	106
5.3.Describir la geomorfología del área en estudio.....	110
5.4.Características de la corriente del río Caris en el área de estudio	117
5.4.1 Determinación del caudal de drenaje de la cuenca	119
5.4.2 Determinación de las velocidades del flujo en el río Caris.....	122
5.4.3 Cualificar el movimiento de los sedimentos.....	123

5.5 Estabilidad del talud sumergido de la ribera derecha	124
5.5.1 Cálculo de área efectiva de la partícula	125
5.5.2 Cálculo del volumen de la partícula	126
5.5.3 Cálculo del peso de las partículas	126
5.5.4 Cálculo del método de fuerza tractiva	126
5.5.4.1 Radio hidráulico de la sección	127
5.5.4.2 Pendiente longitudinal del tramo	127
5.5.5 Fuerza tractiva unitaria en el talud.....	128
5.5.6 Fuerza tractiva unitaria en el fondo del canal	128
5.5.7 Relación de fuerzas tractivas unitarias.....	128
5.5.8 Fuerza tractiva máxima unitaria en términos de ($\gamma_w y S$)	129
5.5.9 Fuerza tractiva unitaria en términos de $\gamma_w y S$ en los taludes del canal.....	129
5.6 Características geométricas de las obras de protección.....	130
5.6.1 Implantación de cobertura vegetal	131
5.6.2 Uso de enrocado de protección	134
5.6.3 Uso de pantallas o elementos de concreto	135
5.6.3.1 Elementos de adoquines de concreto	135
5.6.3.2 Elementos de bolsacreto	136
5.6.3.3 Pantallas de concreto	137
5.6.4 Protección con muros de gaviones.....	139
5.6.5 Uso de diques o espigones	141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	145
Conclusiones	145
Recomendaciones	146
REFERENCIAS.....	148
APÉNDICES.....	153

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación relativa del área de estudio.....	8
2.2 Vía de acceso del área de acceso vista en imagen Landsat.....	9
2.3 Extensión geográfica de la Formación Mesa.....	12
2.4 Vegetación de bosque de galería.....	13
2.5 Vegetación de sabana arbustiva de la cuenca del río Caris.....	13
2.6 Paisaje de Mesa disectada típica de las subcuencas de los afluentes del río Caris.....	15
2.7 Paisaje de colinas y montículos de la cuenca del río Caris.....	16
2.8 Clasificación climática según Koppen, W (1936).....	17
3.1 Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte.....	30
3.2 Medición de rodados y la posición de sus ejes.....	32
3.3 Forma y redondez de los granos.....	34
3.4 Profundización de un lecho en la curva de un río.....	38
3.5 Diagrama de Hjulstrom.....	39
3.6 Hidrograma típico aislado.....	44
3.7 Hidrograma unitario triangular.....	46
3.8 Representación gráfica del Hidrograma unitario triangular como la suma de dos triángulos.....	48
3.9 Diagrama de presiones tridimensionales para el cálculo de reposo del agua corriente (Tapia, 1983).....	55
3.10 Velocidades permisibles en suelos cohesivos (Chow, 1994).....	59
3.11 Distribución de la fuerza atractiva en una sección de canal trapezoidal (Chow, 1994).....	61
3.12 Fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de $w_y S$ (Fuente: Chow, 1994).....	62
3.13 Análisis de las fuerzas que actúan en una partícula que reposa en la superficie del lecho de un canal. (Chow, 1994).....	63
3.14 Análisis de las fuerzas que actúan en una partícula que reposa en la superficie del lecho de un canal. (Chow, 1994).....	66
3.15 Fuerzas tractivas permisibles para canales en materiales cohesivos convertida por URSS sobre velocidades permisibles (Chow, 1994)	67
3.16 Muros rígidos (Cárdenas, 2012).....	75
3.17 Esquema de varios tipos de estructuras ancladas.....	76
3.18 Esquema de varios tipos de estructuras enterradas.....	77
3.19 Protección de orillas con enrocado riprap.....	84
3.20 Colchones de gaviones.....	90
3.21 Muro de gaviones.....	90
4.1 Flujograma de la investigación.....	101

5.1	Esquema del proceso de socavación en el talud de la ribera derecha descendente del tramo evaluado de la cuenca media del río Caris.....	106
5.2	Tamizado de muestras de suelo.....	108
5.3	Curva de distribución granulométrica de la muestra 1.....	108
5.4	Curva de distribución granulométrica de la muestra 2.....	109
5.5	Curva de distribución granulométrica de la muestra 3.....	109
5.6	Curva de distribución granulométrica de la muestra 4.....	110
5.7	Naturaleza meandrante y dendrítica del río Caris en las adyacencias del área de estudio.....	111
5.8	Tramo recto a sinuoso entre los tramos de meandros del río Caris...	112
5.9	Imagen de satélite Landsat de la cuenca media del río Caris mostrando drenaje dendrítico.....	112
5.10	Sección transversal 1 del tramo evaluado del río Caris.....	113
5.11	Sección transversal 2 del tramo evaluado del río Caris.....	114
5.12	Sección transversal 3 del tramo evaluado del río Caris.....	114
5.13	Sección transversal 4 del tramo evaluado del río Caris.....	115
5.14	Sección transversal 5 del tramo evaluado del río Caris.....	115
5.15	Sección transversal 6 del tramo evaluado del río Caris.....	116
5.16	Sección transversal 7 del tramo evaluado del río Caris.....	116
5.17	Cuenca del río Caris hasta la zona de estudio.....	117
5.18	Curvas IDF para la región hidrológica II (MOP,1963).....	120
5.19	Hidrograma Unitario Triangular SCS de la cuenca media y alta del río Caris.....	121
5.20	Aplicación del diagrama de Hjulstrum.....	124
5.21	Susceptibilidad de las hierbas a la pendiente.....	132
5.22	Transplante de estacas vivas.....	133
5.23	Control de erosión con estacas vivas.....	133
5.24	Revestimiento de enrocado típico sugerido.....	134
5.25	Esquema de protección con adoquines de concreto.....	135
5.26	Esquema de protección con bolsacreto.....	137
5.27	Modelo de pantalla de concreto.....	139
5.28	Esquema propuesto de construcción del muro de gaviones.....	140
5.29	Muro de gaviones sugerido disminuyendo la inclinación del talud....	140
5.30	Ejemplo de espigones.....	142
5.31	Sección transversal de un espigón con corona de rocas o bolsacreto.	142

LISTA DETABLAS

	Página
2.1 Resumen estadístico de temperatura (°C), período 2000 – 2011, estación Ciudad Bolívar.....	18
2.2 Resumen estadístico de humedad relativa (%), período 2000 – 2011, estación Ciudad Bolívar.....	18
2.3 Resumen estadístico de insolación (hr), período 2000 – 2011, estación Ciudad Bolívar.....	19
2.4 Resumen estadístico de precipitación (mm), período 2000 – 2011, estación Ciudad Bolívar.....	19
2.5 Resumen estadístico de evaporación (mm), período 2000 – 2011, estación Ciudad Bolívar.....	20
3.1 Clasificación del tamaño de las partículas según Wenworth.....	31
3.2 Velocidades máximas permisibles recomendadas por Fortier y Scobey y los valores correspondientes de fuerza tractiva unitaria convertidos por el U. S. Bureau of Reclamation (Chow, 1994).....	58
3.3 Coeficiente K1 en la ecuación de Beusers y Raudkivi.....	70
3.4 Coeficiente K2 en la ecuación de Beusers y Raudkivi.....	70
3.5 Coeficiente K3 en la ecuación de Beusers y Raudkivi.....	71
3.6 Ventajas y desventajas de varios tipos de muros rígidos.....	75
3.7 Ventajas y desventajas de diversos tipos de estructuras ancladas.....	76
3.8 Ventajas y desventajas de diversos tipos de estructuras enterradas.....	77
3.9 Sistemas de vegetalizaciones de taludes de alta pendiente.....	94
5.1 Coordenadas de ubicación de las muestras de suelo.....	107
5.2 Parámetros morfométricos de la cuenca media y alta del río Caris.....	118
5.3 Coeficientes de escorrentía (Benitez, 1980).....	118
5.4 Determinación del coeficiente de escorrentía ponderada de la cuenca...	119
5.5 Elementos geométricos e hidráulicos del río Caris.....	122
5.6 Velocidades límite que producirían erosión, transporte o sedimentación..	123
5.7 Valores de velocidad, rugosidad y elementos geométricos de la sección del río.....	129
5.8 Valores de fuerza tractiva máxima unitaria.....	130
5.9 Valores de fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de γ_w y S...	130
5.10 Resumen de las características de las opciones de protección de los taludes del tramo evaluado del río Caris.....	143
5.11 Factores de ponderación de la matriz de evaluación para las opciones de protección de los taludes.....	144

5.12	Matriz de evaluación de las opciones seleccionadas de protección de taludes.....	144
------	--	-----

LISTA DE APÉNDICES

A	DATOS CLIMATOLÓGICOS.....	154
B	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS.....	159
C	MODELAMIENTO DEL RÍO CARIS.....	162
D	DATOS TOPOGRÁFICOS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES	164

LISTA DE ANEXOS

- a. Plano topográfico del tramo del río Caris en su cuenca media

INTRODUCCIÓN

El análisis de las socavaciones que se producen en los taludes de las riberas de un cauce natural requiere de la estimación de varios aspectos que van desde las características granulométricas y forma de las partículas de los materiales presentes en el lecho del canal, así como de las características de los flujos (velocidades de corrientes, niveles de la superficie del agua y caudales).

Los sistemas fluviales de régimen permanente tales como los ríos de los llanos orientales de Venezuela, incluyendo los del sur de los estados Monagas y Anzoátegui están en un proceso constante de variaciones en la morfología de su cauce y riberas, lo cual es ocasionado a su vez por las fluctuaciones de los caudales líquidos y sólidos que se mueven en el cauce. Es decir, que existe una variación constante de la energía del río.

El río Caris atraviesa, según una dirección aproximada norte sur, parte del sur del estado Anzoátegui, erosionando, captando, transportando y sedimentado, en todo su recorrido, gran cantidad de sedimentos que finalmente son movilizados por las aguas que eventualmente se producen en la zona de estudio.

En vista de esta situación, el río Caris sufre en algunos tramos una severa socavación de los taludes de las riberas, modificándose significativamente la morfología de su trayectoria y afectando las actividades antrópicas que se realizan en sus adyacencias, se ha planteado como motivo de estudio en la presente investigación proponer medidas de protección de los taludes de las riberas del tramo evaluado del río Caris, ubicado en el municipio Independencia, en el estado Anzoátegui.

Esta investigación se estructura en cinco (5) capítulos:

Capítulo I: Se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, justificación, alcance y limitaciones del estudio.

Capítulo II: Corresponde a las generalidades respecto al área de estudio como ubicación geográfica y características físico naturales.

Capítulo III: Referencia a antecedentes del estudio, a las bases teóricas y legales que surgen a partir del tema de investigación.

Capítulo IV: La metodología empleada para la realización de la investigación.

Capítulo V: Presenta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la metodología aplicada.

Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones más relevantes como consecuencia final del estudio para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

El hombre ha comprendido que sin la presencia de agua su existencia es imposible, por lo que en todo el planeta, las diversas comunidades humanas, de casi cualquier etnia, han elegido las riberas de los ríos como fuente de agua dulce para su abastecimiento propio, para los cultivos, para saciar la sed de sus animales, como fuente de materia prima como agregado para material de construcción, etc.

Venezuela no es una excepción de esta situación, y a todo lo ancho y largo del país podemos observar muchísimas poblaciones y grupos humanos, de pequeña y gran magnitud, ubicados o arraigados en las riberas de los ríos a lo largo de toda su trayectoria. La ubicación estratégica de estos grupos humanos ha permitido que muchas actividades antrópicas de carácter productivo (agricultura, ganadería, etc.) se desarrollen también en las adyacencias de estas corrientes de agua dulce.

Ahora bien, todos los ríos de la zona tropical, están sometidos a variaciones estacionales de períodos de lluvia y períodos de sequía que de alguna manera condicionan los ascensos y descensos de los niveles del agua, de sus caudales y de las velocidades de las corrientes. Subsecuentemente, tal variabilidad hidrológica genera también una variación en el régimen de erosión, transporte de sedimentos y depositación de los mismos, produciéndose significativos cambios en las características geomorfológicas del río.

El ascenso de los niveles de la superficie del agua generan graves inconvenientes cuando estas avenidas superan la capacidad de los cauces labrados por

las aguas. En vista de ello, el hombre se ha visto en la necesidad de crear barreras (muros marginales y malecones) para mantener las aguas encauzadas y proveer la protección de las infraestructuras (poblaciones), zonas cultivadas o pastizales que ha creado o construido en las orillas de los ríos. Cabe destacar que no solo debe protegerse el hombre de las inundaciones, sino también de las pérdidas de territorio que a mediano plazo serían causadas por el meandreo del río.

En el estado Anzoátegui, a orillas del río Caris se desarrollan innumerables actividades vinculadas a la agricultura y a la ganadería. Sin embargo dicho río transcurre en gran parte de su recorrido con un alineamiento meandrante, caracterizado por presentar erosiones profundas en las riberas exteriores del cauce en las curvas y deposición de sedimentos en la parte interior de la ribera en dichas curvas. En vista de esa situación se hace necesario la estabilización de estos cauces, sobre todo, en los tramos que el hombre ha intervenido sus riberas para actividades productivas.

En ese orden de ideas y vistos los planteamientos antes expuestos cabe formular las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuál es el estado actual de los taludes del área de estudio del río Caris?

¿Cuáles son las características texturales y geotécnicas de los materiales que constituyen el lecho del cauce, taludes y riberas del río en el área de estudio?

¿Cuáles son las características geomorfológicas de las riberas, taludes y del cauce del río Caris en el área de estudio?

¿Cómo son las características temporales del flujo del agua en función de los caudales proyectados del río Caris frente al área de estudio.

¿Cómo es la estabilidad de los taludes sumergidos que sirven de base a la ribera derecha del área de estudio?

¿Cómo sería el diseño geométrico y dimensional de la protección de los taludes en el área de estudio?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Analizar el movimiento de sedimentos y estabilidad de los taludes sumergidos de la ribera derecha de un tramo de la cuenca media del río Caris, municipio Independencia, estado Anzoátegui, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Describir las condiciones actuales de la estructura de los taludes del río Caris en el área de estudio.
2. Caracterizar textural y geotécnicamente los materiales del cauce del río Caris y del sitio de fundación de las obras de protección y encauzamiento.
3. Describir la forma del cauce del río Caris en el área de estudio con base a sus secciones transversales, configuración del lecho y pendiente longitudinal del cauce.
4. Describir las características temporales del flujo agua del río Caris en el área de estudio con base a los caudales proyectados.

5. Determinar las condiciones de estabilidad de los taludes sumergidos del área de estudio mediante el método de fuerza tractiva.
6. Determinar las características geométricas y dimensionales de las obras de protección y encauzamiento.

1.3 Justificación de la investigación

Los taludes de algunos tramos de las riberas del río Caris han sido objeto del ataque de la erosión y socavación producida por la corriente del río. Esto ha generado que gran parte de la estructura sedimentaria ha colapsado produciendo el desplome de los mismos generando cambios paulatinos en el alineamiento del río. En vista de ello, y considerando la importancia estratégica que tiene para los planes de desarrollo que los habitantes de la zona planean realizar en sus riberas, se ha considerado efectuar los estudios tendentes para analizar las condiciones de estabilidad de los taludes sumergidos para posteriormente proponer alguna medida de control o protección en caso necesario.

1.4 Alcance de la investigación

En esta investigación se plantea hacer una revisión de las características geotécnicas de los materiales presentes en el cauce y sitio de fundación de obras de protección y encauzamiento del río Caris. Así mismo, se efectuará una descripción de las condiciones del flujo del agua en el sector en función a los niveles que alcanza la superficie del agua, de las magnitudes la velocidad y direcciones de la corriente y el caudal del río. Se describirá geomorfológicamente el cauce del río frente al área de estudio con base a la información batimétrica del río en el sector. Posteriormente, se analizará la estabilidad de los taludes sumergidos de la ribera derecha en la zona de estudio.

1.5 Limitaciones de la investigación

Para el momento de elaboración de la presente investigación no se detectaron limitaciones u obstáculos relevantes que impidieran el desarrollo normal del proceso de ejecución del Trabajo de grado que permitiesen alcanzar cabalmente los objetivos específicos planteados.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

La zona de estudio está ubicada en el sur del estado Anzoátegui, pertenece a la hidrografía del municipio Independencia, estado Anzoátegui, Venezuela (Figura 2.1). Según los paralelos la ubicación geográfica del tramo medio del río está comprendida entre las coordenadas del Sistema Universal Mercator (UTM): N 931100, N 930900; E 407050 y E 406900 (huso: 20, elipsoide de referencia: WGS-84, Datum horizontal: La Canoa , Datum vertical: Nivel medio del mar).

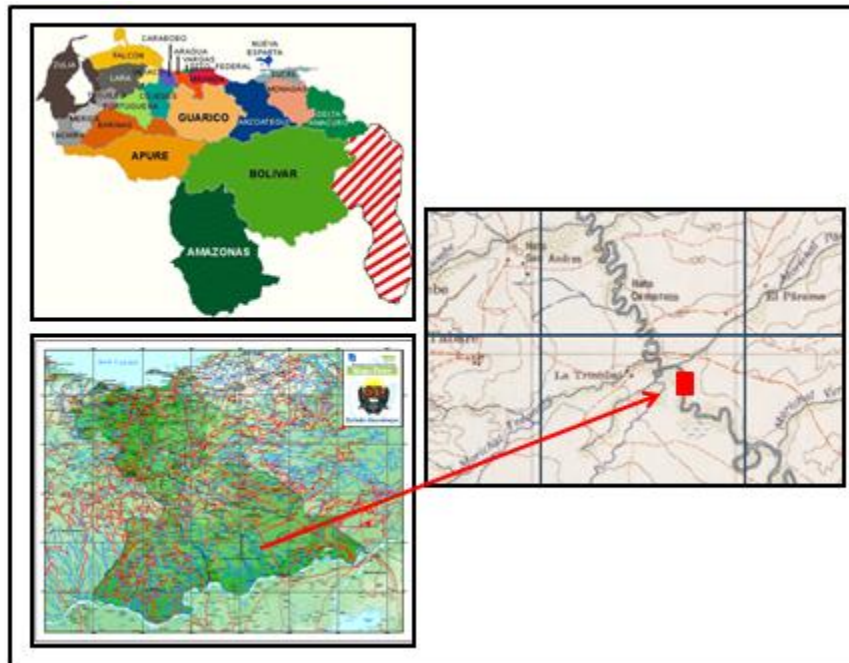


Figura 2.1 Ubicación relativa del área de estudio.

2.2 Acceso al área de estudio

La principal vía de acceso a la zona es a través de la carretera asfaltada. Iniciando en Ciudad Bolívar, cruzando el puente Angostura hasta la Ciudad de Soledad, se continúa el recorrido de 35km aproximadamente en sentido Noroeste por la Troncal 16 hasta el cruce de vías en la estación de servicio Morón donde sigue el recorrido en sentido suroeste en dirección hasta la población de Tabare. Sin embargo, al cruzar el puente sobre el río Caris se cruza en dirección sur por un camino de tierra (trilla) una distancia de unos 2 km hasta el acceso directo al sitio de estudio en las riberas del mencionado río (Figura 2.2).



Figura 2.2 Vía de acceso a la zona de estudio en imagen satelital Landsat (Google Earth, 2018).

2.3 Geología regional

La geología regional en el municipio Independencia, está constituida principalmente por dos unidades geológicas bien definidas. Dichas unidades son: Formación Mesa y la Provincia Geológica de Imataca. La geología del área de estudio se reduce estrictamente a la Formación Mesa.

Según Hedberg y Pyre, (1944) en González de Juana et al, (1980) fue designada como los sedimentos jóvenes que cubren las mesas de Venezuela oriental. No se ha designado una sección tipo, debido a que la formación aflora en casi todas las mesas, con secciones representativas. En particular se han mencionado, la Mesa de Guanipa (Anzoátegui), la Mesa de Tonoro y Santa Bárbara (Monagas). Se extiende por los llanos centro-orientales y orientales (estados Guárico, Anzoátegui, Monagas). Se encuentran algunos afloramientos en los estados Sucre y Bolívar, inmediatamente al Sur del río Orinoco.

En la Formación Mesa, la conformación es mayoritariamente de arenas no consolidadas, provenientes del Cuaternario, y aún más jóvenes son los depósitos sedimentarios originados por las inundaciones periódicas generadas por las crecientes del río. En montañas y colinas se observan areniscas, arcillas, margas, lutitas, calizas y limolitas, además de concreciones de hierro, grava y cuarcitas. En los límites Norte y Sur de la Mesa de Guanipa (González de Juana et al, 1980), la Formación Mesa consiste de arenas de grano grueso y gravas, con cementos ferruginosos cementados y muy duros; conglomerado rojo a casi negro, arenas blanco-amarillentas, rojo y púrpura, con estratificación cruzada; además contiene lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita. En la Mesa de Tonoro se observan capas lenticulares de conglomerado, arenas, y algunas arcillas. Al noroeste de Santa Rosa existe una capa lenticular de conglomerado, de más de 25 m de espesor, con delgadas intercalaciones de arenas (Figura 2.3).

En la Formación Mesa se han encontrado fósiles de agua dulce, asociados con arcillas ligníticas y restos de madera silicificada. En Santa Bárbara de Maturín, la parte superior (76 m) consiste en gravas con intercalaciones de arenas y arcilla roja y amarillo intenso: la parte inferior (60 m) formada por clásticos finos (arenas gris y blanco, intercaladas con arenas arcillosas y arcillas gris abigarradas). Al suroeste de Maturín, la Formación Mesa está compuesta por arcillas moteadas y abigarradas, con nódulos sin arena. En los llanos centro-orientales, la formación, está constituida por arenas no compactadas. (González de Juana et al, 1980).

Los sedimentos de la Formación Mesa, gradan de norte a sur, de más gruesos a más finos al alejarse de las cadenas montañosas del norte; desde la parte central de Monagas al macizo de Guyana, gradan de más finos a más gruesos. En la sección de río Cristalino, río La Palencia, río del Medio, Caripito y Las Parcelas, la formación está constituida por conglomerados con elementos líticos redondos, tipo pudinga, de tamaño grande, aproximadamente 0.15 metros de diámetro, en una matriz arcillo-arenosa de color gris claro a amarillo. (González de Juana et al, 1980).

Según González de Juana, (1980), la Formación Mesa es producto de una sedimentación fluvio-deltáica y paludal, resultado de un extenso delta que avanzaba hacia el este en la misma forma que avanza hoy el delta del río Orinoco. El mayor relieve de las cordilleras septentrionales desarrolló abanicos aluviales que aportaban a la sedimentación clásticos de grano más grueso, mientras que desde el sur el aporte principal era de arenas. En la zona central, postuló la existencia de ciénagas. González de Juana, (1980), considera que los sedimentos de la formación representan depósitos torrenciales y aluviales, contemporáneos con un levantamiento de la Serranía del Interior.

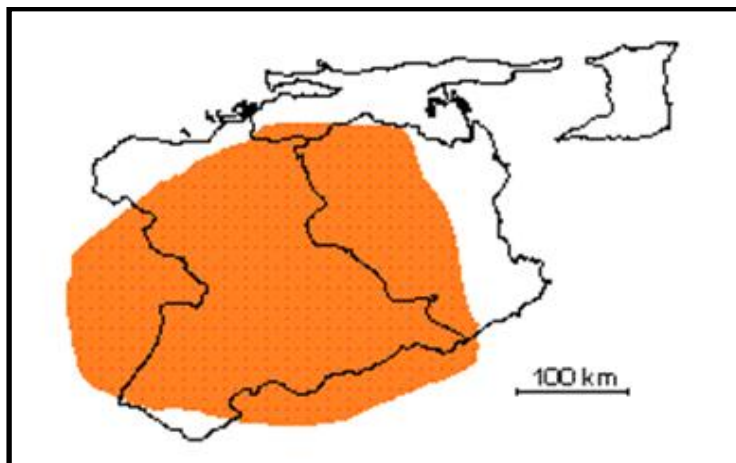


Figura 2.3 Extensión geográfica de la Formación Mesa (PDVSA Intevep, 2001).

2.4 Vegetación

La vegetación es de tipo arbustiva muy densa, cuyo componente floral es de tipo tropical de bosque de galería con elevada humedad, relacionados a sedimentos de tipos arenosos y arcillosos caracterizados por árboles de mediana altitud. Entre las especies vegetales dominantes se encuentran la paja peluda, púas, enredaderas, morichales, merey, chaparro, manteco, guaritoto, bejucos, entre otros.

Desde un punto de vista general, en el entorno circundante, la característica particular de vegetación tipo sabana. Finalmente en las zonas bajas donde el nivel freático alcanza la superficie, a lo largo de las zonas húmedas, específicamente en los márgenes del río Caris y sus afluentes, se encuentra otra cobertura vegetal que son las arborescencias de tipo selvático a los que se denominan Bosques de Galería, los cuales se caracterizan por poseer árboles de moderada a gran altura (Figura 2.4).



Figura 2.4 Vegetación de bosque de galería predominante en las riberas del río _Caris.



Figura 2.5 Vegetación de sabana arbustiva de la cuenca del río Caris.

Según la clasificación climática de Koppen la zona de estudio conforme a este sistema de clasificación es característica de los llanos centrales por el relieve entre plano y ondulado por lo cual le corresponde un clima de bosque húmedo tropófito y

sabanas (herbazales). Sin embargo, de acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge el bio-clima de la zona es del tipo Bosque seco tropical de sabana (bs-T).

2.5 Aspectos pedogenéticos

Por lo general, los suelos dominantes son en primer lugar los pertenecientes al orden Ultisol, caracterizados por ocurrir en diferentes ámbitos bioclimáticos, presentándose en distintos tipos de paisajes (montaña, lomerío, planicie y peniplanicie) originándose a partir de los sedimentos de la formación Mesa.

Estos suelos exhiben un avanzado desarrollo pedogenético, son superficiales a muy profundos de colores predominantes, marrón oscuro a marrón rojizo en superficie y en profundidad marrón amarillento a rojo, de textura arenosa en superficie y franco arcillosa, franco arcillosa arenosa a arcillosa en profundidad, mezclada localmente con contenidos variables de esqueletos gruesos. En el lecho del río Caris predominan los suelos de granulometría arenosa.

2.6 Hidrografía

La hidrografía de la zona de estudio está constituida fundamentalmente por el tramo en estudio de la cuenca media del río Caris en el cual drenan varios afluentes:

El tramo en estudio del río Caris se encuentra en el municipio Independencia, aún cuando sus nacientes y afluentes provienen de morichales y quebradas de régimen permanente e intermitente que conforman la cuenca y ocupan parte de los municipios adyacentes como el Simón Rodríguez y el San José de Guanipa. Cabe destacar, que aunque la naturaleza meandrante del río Caris permite inferir un nivel de madures caracterizado por su baja pendiente, la cuenca del río Caris se presenta como de tipo dendrítico en toda su extensión.

2.7 Forma del relieve regional

El área de interés de este trabajo se ubica dentro de la unidad morfológica denominada Mesas disectadas (Figura 2.6). Las pendientes de estas tierras están entre el 3 % y el 7 % con presencia de escarpes casi verticales en los bordes.



Figura 2.6 Paisaje de Mesa disectada típico de las sub-cuencas de los afluentes del río Caris.

Las colinas y montículos son, en parte, residuos erosionales sobre la penillanura y también, parcialmente una antigua topografía que sobresale a través de la capa sedimentaria donde llanuras aluviales lavadas cubren zonas extensas (Figura 2.7). Las arenas sueltas cubren áreas muy grandes, se presentan además guijarros ferruginosos en las depresiones y cauces fluviales, factibles de ser utilizados en la construcción de caminos.



Figura 2.7 Paisaje de colinas y montículos en la cuenca del río Caris.

2.8 Caracterización climatológica del área de estudio

Según la clasificación climática de Koppen es la diversidad fisiográfica del territorio nacional y su ubicación latitudinal la que determinan la existencia de 13 zonas climática distintas en Venezuela. La zona de estudio conforme a este sistema de clasificaciones característica de los llanos orientales por el relieve entre plano y ondulado por lo cual le corresponde un clima de bosque húmedo tropófito y sabanas (herbazales). Los factores que determinan este tipo climático son la baja latitud que le confiere temperaturas altas durante todo el año, la altitud sobre el nivel del mar que la ubican en el piso tropical, la distribución anual de las lluvias que definen dos periodos y la influencia de los vientos (Figura 2.8).

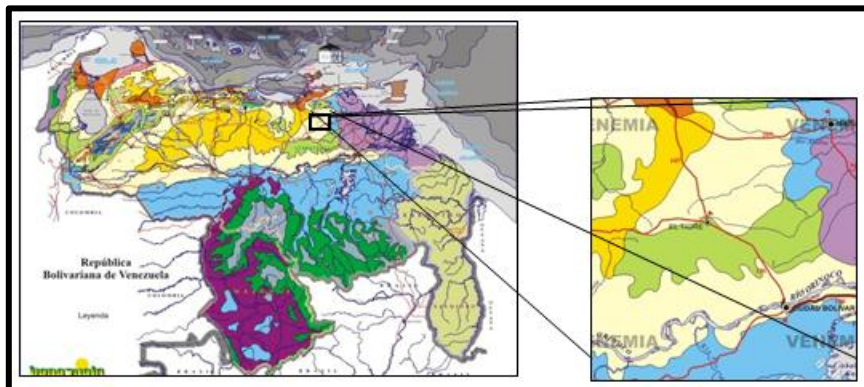


Figura 2.8 Clasificación climática del área de estudio según Koppen, W., 1936 (Venemia.com).

El bio-clima de la zona es del tipo Bosque seco tropical de sabana (bs-T). Para la clasificación climática de este tramo del río Caris en su cuenca media, se utilizaron también los datos de las variables climatológicas registradas en la estación meteorológica de Ciudad Bolívar estado Bolívar, correspondiente al período de años del 2000 al 2011 (apéndices A.1, A.2 y A.3), por ser esta la estación en funcionamiento más cercana a la zona en estudio, aunque no pertenezca al estado Anzoátegui cubre un área de 100 Km a la redonda por lo cual abarca el área de estudio, además de ser una estación de tipo C1 (registra precipitación, evaporación, temperatura, insolación solar y humedad relativa). Dicha estación se encuentra ubicada en el aeropuerto de esta Ciudad y es manejada por la Fuerza Aérea Venezolana (FAV).

2.8.1 Temperatura

El período evaluado de la temperatura estipulado (al igual que en el resto de las variables climatológicas) está comprendido entre el 2000 y 2011 (11 años), la temperatura media normal en el área es de 27,6 °C, siendo la temperatura máxima media de 33,1 °C y la mínima media de 24,1 °C. Abril y octubre son los meses más calurosos mientras que enero y diciembre son los menos cálidos (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Resumen estadístico de la temperatura (°C), período: 2000 al 2011.
Estación Ciudad Bolívar (FAV, 2016).

°C	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Máxima	32,5	32,6	34,2	35,4	33,1	32,3	32	32,6	32,3	33,4	33	34,1	33,1
Media	26,8	27,2	28,1	29,1	28,2	27,9	27,9	27,5	27,7	28,3	27,8	27,1	27,6
Mínima	23,2	23,2	23,4	24,5	24,4	24,3	24,1	24,5	24,8	24,7	24,5	24,1	24,2

2.8.2 Humedad relativa

La humedad en la atmósfera se distribuye por dos procesos, uno representado por la espontánea difusión del vapor del agua en el espacio, y el otro por el transporte que hace la atmósfera y por la circulación de ésta. La humedad relativa media del área alcanza el 79,2 %. Las humedades máximas ocurren en los meses julio y noviembre mientras que las mínimas en los meses de marzo y abril (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Resumen estadístico de la humedad relativa (%), período: 2000 al 2011. Estación Ciudad Bolívar (FAV, 2016).

%	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	78,7	75,3	72,7	72,6	75,1	84	84,7	79,1	82,3	80	82,4	83	79,2

2.8.3 Insolación solar

La variación temporal de la insolación solar depende del movimiento anual aparente del sol, nubosidad, las precipitaciones y el estado de transparencia de la atmosfera, el área de estudio recibe una insolación solar media de 7,6 horas. La insolación solar media alcanza sus mayores registros en los meses de febrero, abril y octubre; mientras que los mínimos valores de insolación ocurrieron en el mes de julio (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Resumen estadístico de la insolación solar (Horas), período: 2000 al 2011. Estación Ciudad Bolívar (FAV, 2016).

Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	7,7	8,2	7,8	8	6,7	6,7	7,1	7,6	7,9	8	7,9	7,3	7,6

2.8.4 La precipitación

En el registro climático de la estación La Viuda cuya precipitación data de los años 1971 al 2002 (31 años) se observa que las máximas precipitaciones ocurren durante los meses de Junio con un valor promedio de 102,65 mm, Julio con 133,23 mm y el mes de Agosto con 154,882 mm, siendo este el mes más lluvioso. El periodo de mínimas precipitaciones se desarrolla durante los meses de Enero con un valor promedio de 16,68 mm, Febrero con 15,04 mm y el mes de Marzo con un promedio de 9,92 mm siendo este el mes más seco.

Ahora bien, considerando los registros de precipitación de la estación Ciudad Bolívar, se observa que la precipitación media fue de 1.049,0 mm, presentándose el mes de julio como el más lluvioso para el período climático lluvioso y siendo febrero y abril los meses más secos del año (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Resumen estadístico de la precipitación (mm), período: 2000 al 2011. Estación Ciudad Bolívar (FAV, 2016).

mm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	38	7	49	27	132	163	165	124	106	96	107	35	1.049,0

2.8.5 Evaporación

La evaporación en la zona es elevada con un valor medio de 1.801,0 mm. Los meses de mayor evaporación son Marzo y Abril lo cual se debe a las altas temperaturas, la mayor cantidad de horas de brillo solar y baja humedad relativa. Por otra parte, la evaporación registra sus valores más bajos durante los meses de Junio y Diciembre (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Resumen estadístico de la evaporación (mm), período: 2000 al 2011.
Estación Ciudad Bolívar (FAV, 2016).

Mm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Media	159	153	208	215	146	99	129	164	136	153	126	113	1.801,0

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

Para el desarrollo del este trabajo de investigación, es necesario buscar antecedentes para conocer más sobre el área de estudios o de características y métodos a emplear. Algunas de las investigaciones que aportarán información a este trabajo son los siguientes:

Arness y Guerrero (2016), elaboraron una investigación titulada “**ESTUDIO SOBRE LA EROSIÓN Y SOCAVACIÓN EN LAS FUNDACIONES DEL MALECÓN DE LA POBLACIÓN BARRANCAS DEL ORINOCO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA**”, en el cual se realiza una descripción de los aspectos hidrológicos, geotécnico-texturales y geomorfológicos que prevalecen en el área de estudio y cuya metodología y técnicas empleadas son un valioso aporte para la investigación que se pretende realizar en el río Caris por tratarse de una investigación con propósitos similares.

Bejarano, M. (2000), elaboró un trabajo de grado titulado “**ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRODINÁMICO DEL SECTOR BARRANCAS EN EL RÍO ORINOCO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA**”. Dicho trabajo tuvo como objetivo principal describir las condiciones del flujo en cuanto a su velocidad, caudal y niveles, así como también caracterizar texturalmente los sedimentos del lecho de dicho sector. Esta investigación metodológicamente significa un aporte valioso como guía del presente estudio.

3.2 Fundamentos teóricos

3.2.1 Canales abiertos

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua, fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial. En los canales naturales influyen todos los tipos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes en las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelvan manejables mediante tratamiento analítico de la hidráulica teórica.

Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras etc., así como canales de modelos de laboratorio con propósitos experimentales; las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirán, por tanto, resultados bastantes similares a las condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseños.

3.2.2 Tipos de flujos en canales

3.2.2.1 Flujo permanente

Un flujo permanente es aquel en el que las propiedades fluidas, son constantes en el tiempo, a pesar de que las mismas no lo sean en el espacio. Las características de este tipo de flujo se pueden describir como: Velocidad (V), Caudal (Q), y Calado (h), estas son independientes del tiempo, pero podrían variar a lo largo del canal.

3.2.2.2 Flujo transitorio o no permanente

Es el que presenta cambios en sus características al paso del tiempo, para estudiar el comportamiento del canal.

3.2.2.3 Flujo uniforme

Este es el que se da en un canal recto, cuya sección es de pendiente constante, y se encuentra a una distancia considerable de los puntos en que se realizan las mudanzas de sección transversal, puede ser de forma, de rugosidad, cambio de la pendiente o en una variación del caudal.

3.2.2.4 Flujo gradualmente variado

Es cuando la profundidad de flujo cambia a través de la longitud del canal. Este puede ser permanente o no permanente. Se clasifica en rápidamente variado o gradualmente variado, dependiendo de la profundidad del agua.

3.2.2.5 Flujo sub-crítico o flujo lento

Es el nivel efectivo del agua en una determinada sección.

3.2.2.6 Flujo crítico

Cuando la velocidad es igual que la raíz cuadrada de la gravedad por la profundidad.

3.2.2.7 Flujo supercrítico

En el caso de flujo supercrítico, también denominado flujo veloz, el nivel del agua efectivo en una sección determinada está condicionado a la condición de contorno situada aguas arriba.

3.2.3 Estados del flujo

El estado o comportamiento del flujo en un canal abierto es gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad relativa a las fuerzas de inercia del flujo.

Dependiendo del efecto de la viscosidad relativa a la inercia, el flujo puede ser laminar, turbulento o de transición.

El flujo es laminar si las fuerzas viscosas son tan fuertes comparadas con las fuerzas de inercia, que la viscosidad juega un papel importante para determinar el comportamiento del flujo. En flujo laminar, las partículas del fluido parecen moverse

en recorridos calmados definidos, o líneas de corriente, y las capas infinitesimalmente delgadas del fluido parecen deslizarse sobre las capas adyacentes.

El flujo es turbulento si las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia. En el flujo turbulento, las partículas del fluido se mueven en recorridos irregulares, los cuales no son ni calmados ni determinados pero en su conjunto todavía representan el movimiento hacia adelante de la corriente total.

Entre los estados laminar y turbulento de la corriente, hay un estado mixto o estado de transición. El efecto de viscosidad relativo al de inercia puede representarse por el número de Reynolds. En la mayor parte de los canales abiertos el flujo laminar ocurre muy raramente. En efecto, el hecho de que la superficie de una corriente parezca lisa y tersa para un observador no es en ningún modo una indicación de que el flujo sea laminar; más probablemente, ello indica que la velocidad de la superficie es más baja que la requerida para que se formen ondas capilares.

El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo se representa por una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad. Esta relación es conocida como el Número de Froude.

Si el Número de Froude es mayor a la unidad ($F > 1$), el flujo se denomina supercrítico.

Si el Número de Froude es menor a la unidad ($F < 1$), el flujo se denomina subcrítico.

Si el Número de Froude es igual a la unidad ($F = 1$), el flujo se denomina crítico.

3.2.4 Distribución de velocidades en canales

Debido a la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales normales a menudo ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0,05 a 0,25 de la profundidad, cuanto más cerca de las bancas, más profundo se encuentra este máximo. En una corriente ancha, rápida, y poco profunda o en un canal muy liso, la velocidad máxima por lo general se encuentra en la superficie libre.

La rugosidad del canal causa un incremento en la curvatura de la distribución vertical de velocidades. El viento en la superficie tiene muy poco efecto en la distribución de velocidades. En canales abiertos anchos, la distribución de velocidades en la región central de la sección es en esencia la misma que existiría en un canal rectangular de ancho infinito, los lados del canal no tienen prácticamente ninguna influencia en la distribución de velocidades en la región central. Un canal abierto ancho es similar a un canal rectangular cuyo ancho es mayor que diez veces la profundidad del flujo.

La distribución de velocidades en una sección de canal depende también de otros factores, entre ellos la forma inusual de la sección, la presencia de curvas a lo largo del canal, etc. En una curva, la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo.

3.2.5 Geometría de canal

El termino sección de canal se refiere a la sección transversal de un canal tomado en forma perpendicular a la dirección del flujo. Una sección vertical de canal, sin

embargo, es la sección vertical que pasa a través del punto más bajo de la sección de canal. Para canales horizontales, por consiguiente, la sección del canal es siempre una sección vertical de canal.

Las secciones de canales naturales son, por lo general, muy irregulares, y a menudo varían desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio. Para corrientes sujetas a crecientes frecuentes, el canal puede constar de una sección principal del canal que conduce los caudales normales y una o más secciones laterales de canal para acomodar los caudales de desborde.

Los canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares.

3.2.6 Degradación del cauce

Los materiales se degradan en diferentes tiempos: suelos granulares sueltos se erosionan rápidamente mientras que los suelos arcillosos son más resistentes a la erosión. Sin embargo, la degradación final de suelos cohesivos o cementados puede ser tan profunda como la de suelos arenosos, variando el tiempo en el cual se produce. Por ejemplo, bajo condiciones de flujo constante, la degradación máxima se alcanza en horas para suelos arenosos, en tanto que puede tardar días en suelos cohesivos, meses en depósitos glaciales, piedras areniscas y pizarras, años en piedra caliza y siglos en rocas tipo granito. Es posible que varias crecientes se requieran para que se produzcan las máximas pérdidas de material, especialmente en suelos cohesivos (García, M y Maza J., 1998).

La interacción entre el flujo y el material granular aluvial ha sido más ampliamente estudiada debido a que es el caso más frecuente asociado con problemas en la hidráulica de ríos.

Los sedimentos tienen su origen en el lecho, en las laderas del río y en la cuenca hidrográfica.

Una corriente puede transportar material de varias maneras: 1) en solución, 2) en suspensión 3) por carga de fondo y 4) por flotación.

Debido al proceso de transporte, el sedimento presente en una determinada sección del canal, en un momento dado, ha experimentado cambios en cuanto a su forma, tamaño y distribución de tamaños; esos cambios se deben principalmente a los fenómenos de abrasión y al de selección hidráulica.

1. Abrasión: es la reducción en tamaño de las partículas de sedimento por acción mecánica, tal como impacto, deslizamiento, frotación (fricción), rotación, salto, suspensión intermitente o continua (dependiendo de la intensidad del flujo).
2. Selección o clasificación hidráulica: consiste en el agrupamiento, por la acción del flujo, de las partículas de sedimento que responden al flujo en una manera similar; al mismo tiempo, en la separación de aquellas partículas que responden al flujo en una forma diferente.

Partículas entre 1 y 10 mm tienden a moverse por rotación sobre los granos más abundantes (arenas) y pueden ser transportadas rápidamente ($1 \text{ mm} < D < 10 \text{ mm}$).

Arenas de tamaño grueso a fino ($0.0625 \text{ mm} < D < 1 \text{ mm}$) se mueven por tracción y suspensión intermitente con depositación temporal en dunas y barras puntuales.

Limos y arcillas ($D < 0.0625 \text{ mm}$) se mueven principalmente en suspensión continua (como carga de lavado) y pueden ser transportados rápidamente hasta la salida de la cuenca o pueden ser rápidamente depositados en las llanuras de inundación.

3.2.7 Hidrología fluvial

En los sistemas o medios fluviales existe un conjunto de canales de drenaje organizado de manera coherente y convergente llamados cuencas hidrográficas, las cuales se entrelazan por una red de cauces o canales que convergen con respuesta hidrológica hacia el mar, como punto geográfico del sistema y muchas veces formando un sistema ramificado dendrítico. Todo el sistema ramificado de drenaje convergerá en un solo canal principal activo, el cual tendrá una respuesta hidrológica al llegar al océano, descargando en la boca de desembocadura, el volumen del agua y la carga de sedimentos no depositados en la cuenca hidrológica, lo cuales han viajado por saltación o suspensión (Miall, A., 1981).

El volumen de material transportado, sometido a cualquiera de los mecanismos de transporte pero siempre en contacto con el fondo del río, es que se llama carga de fondo donde una corriente de agua fluyendo sobre una capa de arena, limo y arcilla puede transportar partículas por dos vías: tal como la carga o peso de sedimentos. El material es rodado y movido a lo largo de la parte más baja; o la carga suspendida, donde el volumen del material restante, el cual está constituido por las partículas finas que son transportadas sin tener contacto con el fondo del canal (en suspensión) y se

le denomina carga en suspensión (Figura 3.1). Estos dos parámetros son los que definen la configuración geométrica del canal y el tipo de depósito allí presente (Hjulstrom, F., 1935).

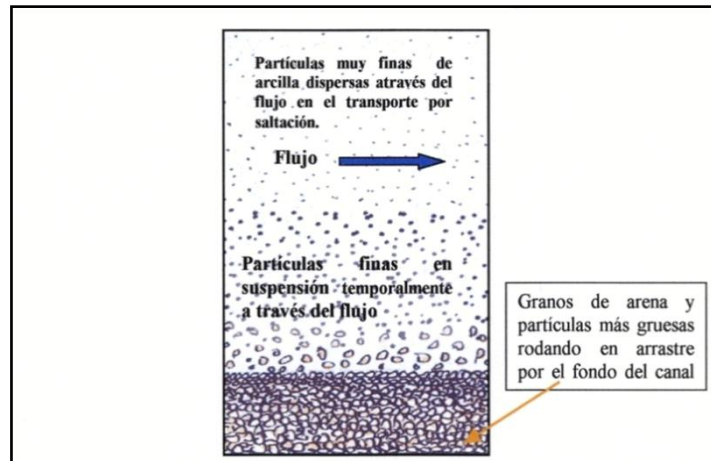


Figura 3.1 Flujo de corriente a través de la capa de arena, limo y arcilla mostrando su medio de transporte (Modificado de Hjulstrom, F., 1935).

3.2.8 Análisis granulométrico por el método del tamizado

El análisis de granulometría se utilizó para determinar la variación del tamaño de los granos de los sedimentos.

Los resultados del mismo servirán para determinar la competencia y eficiencia del agente de transporte, así como también en caso de ser este último el agua, la mayor o menor proximidad de la roca generadora (Pettijohn F, 1970). En el análisis de granulometría consiste en separar y clasificar a través de un juego de tamices, para lograr separar en forma cuantitativa las proporciones en peso de las partículas de diferentes tamaños que existen en cada muestra. La tabla de clasificación según el tamaño de las partículas de Wentworth (Tabla 3.1), es la más comúnmente usada para el análisis de sedimentos (Pettijohn, 1949).

Tabla 3.1 Clasificación según el tamaño de las partículas de Wenworth(Pettijohn, 1949).

	CLASTO	SEDIMENTO	mm	SEDIMENTITA ó ROCA SEDIMENTARIA
PSEFITA	Bloque	Aglomerado		Aglomerado (Conglomerado de bloques)
	Guijón	Grava	256	Conglomerado o brecha
	Guijarro		128	
	Guija		64	
PSAMITA	Grano	Arena	32	Grueso
			16	Mediano
			8	Fino
			4	
			2	
			1	Muy gruesa
			0,5	Gruesa
			0,25	Mediana
			0,125	Fina
			0,062	Muy fina
PELITA	Partícula	Limo	0,031	Grueso
			0,016	Mediano
			0,008	Fino
			0,004	Muy fino
			0,002	Arcilita
		Arcilla	0,001	
			0,0006	

3.2.9 Forma, redondez y esfericidad

3.2.9.1 Forma

Se define de acuerdo a las características geométricas o la relación entre los ejes de un clasto.

Se realiza definiendo tres ejes en un clasto. El diámetro mayor (a), el diámetro intermedio (b) y el menor (c) que puedan ser perpendiculares entre si y que pueden o no cortarse en un punto. (a = longitud, b = anchura y c = espesor) (Figura 3.2)

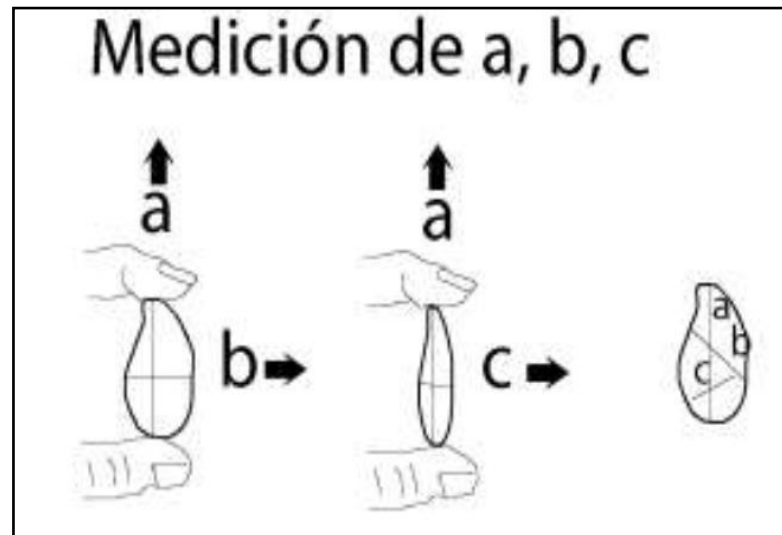


Figura 3.2 Medición de rodados y la posición de los ejes mayor (a), intermedio (b) y menor (c) (Krumbein, 1941 en Pettijhon, 1957, 1970).

La forma de las partículas ha sido usada para tratar de interpretar su historia de transporte. Esta depende de muchos factores como:

1. Forma de la partícula en la roca al ser liberada por los procesos de meteorización.
2. Composición y estructura química de las partículas, estas le van a conferir mayor o menor resistencia a los agentes de meteorización.
3. Dureza, fractura y clivaje de las partículas sedimentaria.
4. Tamaños de las partículas.

3.2.9.2 Redondez

La redondez, es la propiedad geométrica de las partículas que nos ayuda a interpretar por medio de un análisis morfológico, la historia geológica de los sedimentos, basándonos en la clasificación comúnmente usada como lo es la clasificación de Pettijohn (1980). Podemos resumir esta clasificación en lo siguiente (Figura 3.3).

1. Angulosos (0-0,15 mm): el desgaste se presenta muy poco o ninguno, siendo sus aristas y vértices agudos.
2. Sub-angulosos (0,15 - 0,25 mm): muestran los efectos típicos del desgaste. Los fragmentos mantienen todavía su forma primitiva
3. Sub-redondeados (0,25 - 0,40 mm): muestran considerable desgaste, las aristas y los vértices están redondeados en curvas suaves y la superficie de las caras primitivas se encuentran bastante reducidas, pero se mantiene todavía la forma primitiva del grano.
4. Redondeados (0,40 - 0,60. mm): caras originales completamente destruidas, pero todavía pueden presentar alguna superficie plana. Puede haber ángulos cóncavos entre caras remanentes. Todas las aristas y los vértices originales han sido pulido hasta curvas suaves y amplias.
5. Bien redondeados (0,60 - 1,00 mm): sin caras originales, sin aristas ni vértices, la superficie consta totalmente de curvas amplias, carece de áreas planas y de aristas secundarias. La forma original se reconoce por la forma actual del grano.

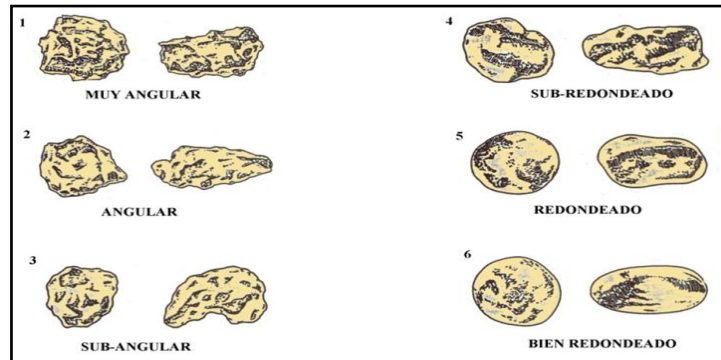


Figura 3.3 Forma y redondez de los granos (Modificado Redrawn, 1953).

3.2.9.3 Esfericidad

Se define como el grado en que un elemento clástico se aproxima en su forma a una esfera (Wadell, 1932), por lo tanto define el comportamiento dinámico de la partícula.

3.2.10 Representación gráfica de los datos granulométricos

Los datos granulométricos fueron representados gráficamente para su fácil comparación. Los gráficos utilizados son: Histograma de frecuencia, Curva de frecuencia simple, Curva de frecuencia acumulativa (Phi).

3.2.10.1 Histograma de frecuencia

En el histograma se representan la frecuencia con que aparecen las partículas entre ciertos tamaños.

Su gráfica facilita la comprensión y visualización de la granulometría de un sedimento. Se realizaron histogramas de frecuencia con el fin de caracterizar la distribución de cada muestra.

3.2.10.2 Curva de frecuencia simple

Para construir la curva de frecuencia consiste en unir los puntos superiores de cada barra. La escala horizontal se hace logarítmica.

3.2.10.3 Curva de frecuencia acumulativa Phi

La curva de frecuencia acumulativa emplea papel aritmético, colocando en el eje horizontal los términos de la escala Phi y en el vertical, los porcentajes de 10 a 100%; para mayor claridad suele colocarse también en la escala horizontal, los equivalentes de la escala de Wentworth y en micrones los términos de Phi.

Para hacer los puntos de la curva, se tomaran los valores en micrones de las aberturas de tamices entre los cuales queda cada porción, se hallan los equivalentes Phi por medio de la curva de conversión, y se colocan estos valores en el eje horizontal. En cada uno de estos puntos se levanta una ordenada hasta el valor del porcentaje acumulado correspondiente. Uniendo estos puntos se obtiene la curva de frecuencia acumulativa.

3.2.11 Morfología de ríos sinuosos

La sinuosidad de un cauce es el mecanismo natural por el cual un río ajusta su pendiente buscando un equilibrio dinámico en los procesos de erosión, transporte y

sedimentación que constituyen la configuración y geometría del cauce. La Figura 4.1 muestra un esquema con los parámetros principales de un meandro. La movilidad de los meandros puede clasificarse en dos categorías: a) la migración hacia aguas abajo de todo el meandro y b) la expansión de la curvatura del meandro, su estrangulamiento y finalmente el corte del mismo. El desarrollo de meandros incrementa la longitud del río y por consiguiente disminuye la pendiente.

3.2.12 Afectación de la morfología de un río sinuoso

La morfología de un río sinuoso puede verse afectada por diversas causas entre las que se pueden incluir aquellas que son naturales y características del sitio de estudio, como también, las provocadas por la acción del hombre, algunas de las causas naturales son las siguientes:

- a. **Confinamiento geológico:** influyen principalmente en las formas y tamaños de las curvas.
- b. **Corte de meandros:** ocurre generalmente durante una avenida y depende de la curvatura, la rugosidad, la vegetación, la geometría del cauce mismo y la magnitud de la avenida.
- c. **Reducción de la velocidad del flujo** debido a un incremento de la sinuosidad.

3.2.13 Erosión de márgenes

La erosión de las orillas representa dos procesos, la erosión por fricción y la falla de la banca. La primera es causada directamente por el esfuerzo cortante en la superficie de la banca, y la segunda se debe al mecanismo de falla del material del

talud iniciada en la pata del mismo, que también está determinado por el cizallamiento. El tiempo de la falla se relaciona con muchos procesos hidrológicos, tales como presión de poros, nivel freático, la densidad de la vegetación y las avenidas.

3.2.14 Procesos físicos del flujo en curvas

Debido a la fuerza centrífuga, en la parte externa de una curva el flujo presenta sobre elevación, lo cual conlleva a que se presente una diferencia de presiones en la sección; este fenómeno hace que se originen corrientes secundarias desde la parte superior hacia el fondo en una misma sección transversal. Estas corrientes superficiales son dirigidas hacia los bancos externos mientras que las corrientes de fondo son dirigidas hacia los bancos internos. Como consecuencia de este proceso la sección de curva de un río presenta una pendiente transversal típica como se muestra en la Figura 3.4.

Esta sobre elevación del flujo ocasiona un movimiento helicoidal en respuesta a dicha corriente secundaria que se establece en dirección perpendicular al sentido del escurrimiento principal.

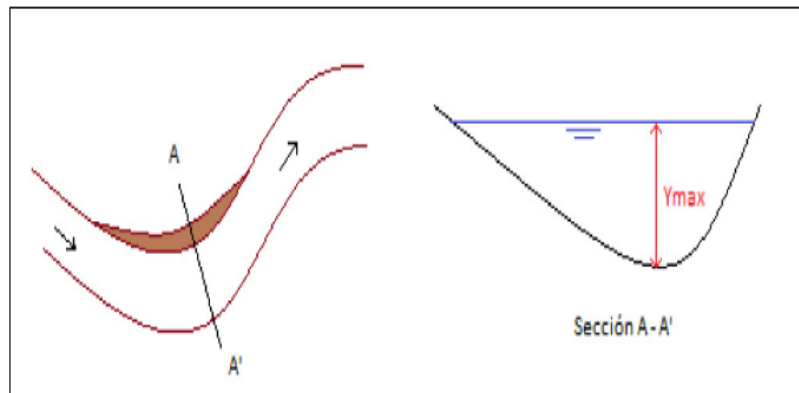


Figura 3.4 Profundización del lecho en la curva de un río (Cárdenas, 2012).

3.3 Modelamiento del transporte de sedimentos

3.3.1 Modelo de Hjulstrom y ASCE

Hizo un análisis detallado de los datos obtenidos del movimiento de materiales uniformes. Debido a la velocidad del fondo del canal, la cual es directamente responsable por el movimiento de sedimentos, es difícil de medir, su estudio fue basado en un flujo de velocidad promedio. El diagrama de Hjulstrom da la relación entre el tamaño de sedimentos y la velocidad de flujo promedio por erosión, transportación y sedimentación. La relación de velocidad permisible mostrada en la figura está restringida a una profundidad de flujo de al menos 3 pies o 1 metro (Figura 3.5).

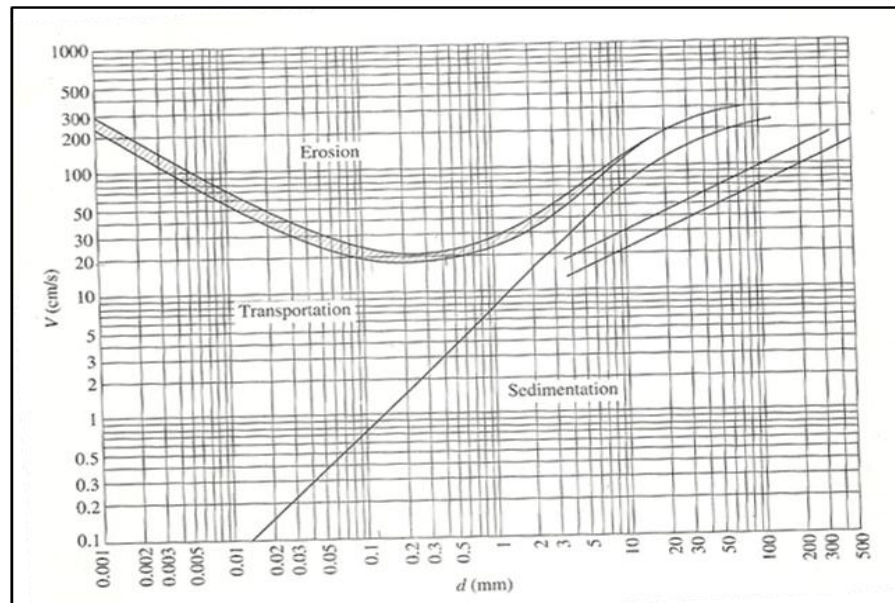


Figura 3.5 Diagrama de Hjulstrom. Criterio de erosión – depositación para partículas uniformes (Yang, C., 1973).

3.4 Ecuaciones fundamentales que rigen el flujo en dos fases

3.4.1 Ecuación Fundamental de Darcy

La ley de Darcy es el pilar fundamental de la hidrología superficial y subterránea. Es una ley experimental obtenida por el ingeniero francés Henry Darcy en 1856 trabajando con medios homogéneos porosos y con un solo fluido. Lo que obtuvo fue que el caudal que atravesaba un permeámetro era linealmente proporcional a la sección y al gradiente hidráulico.

$$Q = \text{cte.} \cdot \text{Sección} \cdot dh \quad (3.6)$$

Darcy observó que esta constante era distinta para cada tipo de arena y concluyó que era propia y característica de cada arena y la llamó permeabilidad o más correctamente conductividad hidráulica.

En realidad K depende no solamente del medio sino también de la densidad del fluido [Hubbert, 1956], pero su influencia, es despreciable en aguas subterráneas, excepto en puntos próximos a la costa.

Actualmente, expresamos la ley de Darcy del siguiente modo:

$$q = -K \nabla h \quad (3.7)$$

Donde:

q es Q / sección; (es decir, el caudal que circula por m^2 de sección) y se denomina “velocidad de Darcy” o “velocidad de flujo”. La velocidad real del agua es la velocidad de Darcy dividida entre la porosidad eficaz.

∇h es el gradiente hidráulico

K es el tensor de conductividad hidráulica (es un tensor sin menos se debe a que el caudal es una magnitud vectorial, cuya dirección es hacia los Δh decrecientes; es decir, que Δh o dh es negativo y por tanto, el caudal será positivo).

3.4.2 Ecuación fundamental de Manning

Esta ecuación fue desarrollada a partir de siete ecuaciones diferentes, basada en los datos experimentales de Bazin y además verificada mediante 170 observaciones.

Debido a la simplicidad de su forma y a los resultados satisfactorios que arroja en aplicaciones prácticas, la ecuación de Manning se ha convertido en la más utilizada de todas las ecuaciones de flujo uniforme para cálculos de flujo de canales abiertos.

$$V = 1.49/n \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (3.8)$$

Donde V es la velocidad media en pies/s, R es el radio hidráulico en pies, S es la pendiente de la línea de energía y n es el coeficiente de rugosidad, específicamente conocida como n de Manning.

3.4.3 Ecuación de la conservación de la energía de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una relación aproximada entre la presión, velocidad y elevación y es válida en condiciones de estado estacionario, flujo incompresible, donde la fuerza friccional neta es despreciable.

Para los casos en los que el canal abierto sea horizontal o tenga una pequeña Pendiente, se puede aplicar la ecuación de la conservación de energía de Bernoulli entre dos puntos de una misma línea de corriente

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \quad (3.9)$$

3.5 Determinación del caudal de drenaje de la cuenca

3.5.1 Método racional

Debido a la falta de información hidrometeorológica en determinadas zonas, se plantean métodos de cálculo empíricos en base a observaciones y parámetros determinados de acuerdo a las características geomorfológicas y de cobertura vegetal de la zona donde se ubica el proyecto.

El método racional es uno de estos métodos empíricos utilizados para el cálculo de caudales de diseño. Este método es uno de los modelos más antiguos de la relación lluvia-escorrentía. Su origen se remonta a 1851 ó 1889, de acuerdo con diversos autores. Este modelo toma en cuenta, además del área de la cuenca, la altura o intensidad de precipitación y es hoy en día muy utilizado, particularmente en el diseño de drenajes urbanos. (Aparicio, F. 2001).

Aparicio, F. (2001) expresa que suponiendo que en una cuenca impermeable se hace caer uniformemente una lluvia de intensidad constante durante un largo tiempo; al principio, el gasto que sale de la cuenca será creciente con el tiempo, pero llegará un momento en el que se alcance un punto de equilibrio, es decir, en el que el volumen de entrada por unidad de tiempo y por la lluvia sea el mismo que el gasto de salida de la cuenca.

Aparicio, F. (2001) manifiesta también, que el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio se denomina tiempo de concentración, y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Palacio, A. (2011) afirma que para la estimación del tiempo de concentración en un determinado punto o sitio de una cierta cuenca, se usa la formula siguiente:

$$T_C = 0,0195 (L^3/H)^{0,385} \quad (3.10)$$

En donde T_C es el tiempo de concentración en minutos, L la longitud en metros, desde el sitio de nacimiento del cauce en estudio hasta el sitio de considerado y H la diferencia de elevación en metros, entre el inicio del cauce principal y el sitio considerado. (Palacio, A. 2011).

Bolinaga, (1979), afirma que el método supone que si sobre un área determinada cayese una precipitación de intensidad uniforme en el tiempo y en el espacio, llegara un momento en que la cantidad de agua que cae equivale a la que sale del área, siempre y cuando esta sea impermeable. El cálculo se hace con la siguiente fórmula:

$$Q_P = C i A_c / 360 \quad (3.11)$$

Donde:

Q_P : es el gasto máximo en m^3/s ;

I : intensidad de la lluvia en mm/hr para una duración igual al tiempo de concentración (T_C) del área tributaria;

A_c : el área tributaria en hectáreas;

C : el coeficiente de escorrentía. (Bolinaga, 1979)

3.5.2 Método de hidrogramas

Si se mide el gasto (que se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo) que pasa de manera continua durante todo un año por una determinada sección transversal de un río y se grafican los valores obtenidos contra el tiempo, se obtendría una gráfica como la presentada en la Figura 3.6

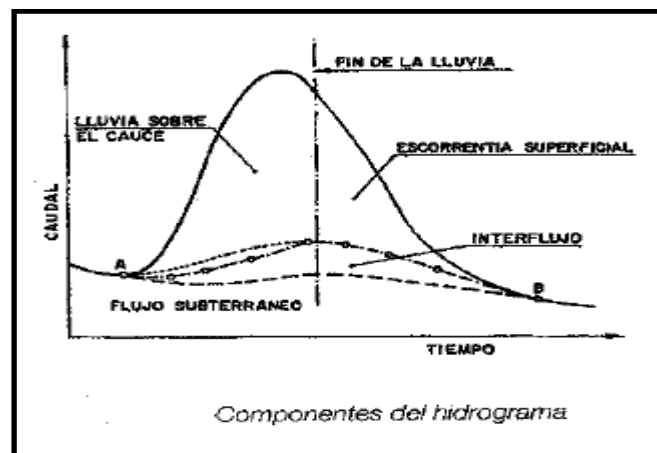


Figura 3.6 Hidrograma típico aislado. (Fuente: Aparicio, 2001).

El hidrograma final de escurrimiento de una cuenca es el resultado de la sumatoria de todos los hidrogramas parciales de las subcuencas infinitesimales que la conforman, modificados por efecto del almacenamiento, mientras se baja a través de la superficie de la cuenca y de sus cauces. Si las características físicas de una cuenca tales como su forma, tamaño, cobertura y pendientes, permanecen constantes, las lluvias efectivas de características semejantes producirán hidrogramas de forma similar y magnitudes de gastos proporcionales a dichas lluvias.

Estas observaciones pueden expresarse así: si sobre una misma cuenca ocurriesen dos tormentas distribuidas en forma similar en el espacio y en el tiempo, los hidrogramas resultantes de cada una de ellas serán de la misma forma, con la

única diferencia de que los gastos serán proporcionales a la respectiva lámina escurrida. La duración efectiva de la precipitación que realmente genera escurrimiento, es factor fundamental por, cuanto si ella se incrementa se alargará el hidrograma y se reducirá su pico o viceversa. En consecuencia, aun manteniendo todos los factores constantes, existe un hidrograma para cada duración efectiva de la lluvia. Basándose en el concepto anterior, se estableció la definición de hidrograma unitario para una duración efectiva dada de la lluvia de una determinada cuenca, como aquél cuya lámina escurrida es 1 mm.

En la cuenca resulta casi imposible encontrar tormentas con una distribución más o menos uniforme sobre una cuenca. Imposibilidad que se acentúa a medida que la extensión de ella se hace mayor.

La obtención de un hidrograma unitario para cuencas con registros fluviométricos es sencilla.

Para obtener el hidrograma total generado por una tormenta base se seguirán los siguientes pasos:

1. Se calcula la lluvia efectiva y se la divide en intervalos de tiempo t_u de intensidad aproximadamente constante.
2. Se calcula el hidrograma unitario tal que su duración t_h sea igual a t_u .
3. Se multiplican los gastos del hidrograma unitario por la lluvia total efectiva de cada intervalo.
4. Se suman los hidrogramas obtenidos en 3, desplazados entre si t_u . Esta suma será el hidrograma total (Bolinaga y Franceschi, 1980).

Encontrándose que:

$$q_p = 0.208 \cdot A/T_p \text{ (m}^3\text{/s.mm)} \quad (3.12)$$

Conociendo la precipitación efectiva: Pe (mm) podemos obtener el caudal pico (m^3/s), aplicando la expresión:

$$Q_p = q_p \cdot Pe \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (3.13)$$

También se conoce que el valor de:

$$AD = T_c/7.5 \text{ (min)} \quad (3.14)$$

$$T_p = T_c/1.5 \text{ (min)} \quad (3.15)$$

Para el tiempo base del hidrograma T_b se tiene la siguiente ecuación:

$$T_b = T_p + T_r \quad (3.16)$$

El tiempo de ocurrencia del pico a su vez puede ser expresado en función de la duración de la precipitación neta unitaria y el tiempo de retardo:

$$T_p = (AD/2) + T_L \quad (3.17)$$

El Hidrograma Unitario Triangular equivalente, puede ser representado a su vez por dos triángulos denominados A_1 y A_2 .

Tomando como base que el volumen de esorrentía en el triángulo A_1 es del 37.5%, se tiene que el volumen de esorrentía en el triángulo A_2 es de 62.5% (Figura 3.8).

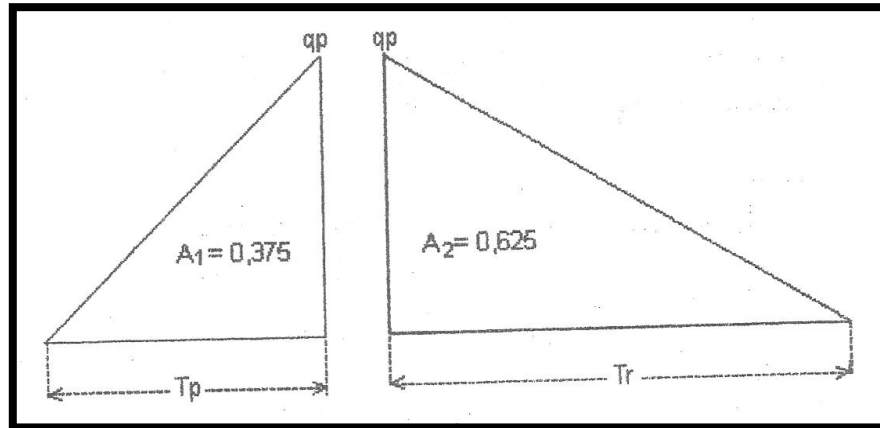


Figura 3.8 Representación gráfica del Hidrograma Unitario Triangular como la suma de dos triángulos A_1 y A_2 (Fuente: Camacho, 2004).

De acuerdo con la geometría de los triángulos tenemos:

$$\text{Área del triángulo } A_1 = (T_p + q_p) / 2 = 0.375 \quad (3.18)$$

$$\text{Área del triángulo } A_2 = (T_r + q_p) / 2 = 0.675 \quad (3.19)$$

Resolviendo las ecuaciones (3.18) y (3.19) se tiene la siguiente relación entre T_r y T_p :

$$T_r = 1.67 T_p \quad (3.20)$$

Sustituyendo la ecuación (12) en la ecuación (8) tenemos ára el tiempo base:

$$T_b = 2.67 T_p \quad (3.21)$$

Por definición el volumen total de escorrentía Q bajo la curva del Hidrograma Unitario Triangular es igual a 1 mm y podemos expresarlo como sigue:

$$Q = (q_p/2) (T_p + T_r) \quad (3.22)$$

$$q_p = 2Q / (T_p + T_r) \quad (3.23)$$

Efectuando un cambio de variable:

$$K = 2 / (1 + T_r/T_p) \quad (3.24)$$

Tenemos que:

$$q_p = KQ/T_p \quad (3.25)$$

El caudal (Q) está en unidades de mm y el tiempo T_p en horas. Realizando la conversión de unidades de mm/hora a $m^3/s/mm$, incluyendo el área de drenaje A en km^2 , la ecuación (3.25) se transforma en:

$$q_p = KQ / 3.6 T_p \quad (3.26)$$

Sustituyendo se obtiene un valor de $K = 0.75$, entonces la ecuación (3.26) se transforma en:

$$q_p = 0.208 A / T_p \quad (3.27)$$

q_p en unidades de $m^3/s/mm$.

Dado que el volumen de escorrentía en el lado ascendente del Hidrograma Unitario Triangular, es igual al del lado curvilíneo del Adimensional, se concluye que el factor de gasto pico 0.208 de la ecuación (3.27) es válido para el Hidrograma Triangular Adimensional de SCS.

Cualquier modificación en el Hidrograma Unitario Adimensional que conlleve cambios en el porcentaje del volumen de escorrentía bajo su rama ascendente producirá variaciones en el factor de forma asociado al Hidrograma Unitario Triangular, y por lo tanto el tiempo de recesión T_r y la constante K también cambiarán. Para las cuencas analizadas por el SCS, el factor del gasto pico varió desde un valor de 0.258 en zonas de pendiente empinada, hasta un valor de 0.129 en terrenos muy planos. De lo anterior, se deduce que si se utiliza un Hidrograma Unitario Adimensional diferente al derivado por el SCS, el factor de gasto pico cambia de valor y por consiguiente, dicho caudal será distinto del que se obtiene con la ecuación (3.27) (Camacho, 2004).

3.6 Estabilidad de los taludes sumergidos

Según McClelland, (1967) citado por Medina, (1992), la inestabilidad de taludes submarinos ha sido observada o inferida en el fondo del Océano en pendientes cuyos valores oscilan entre 0.5 a más de 30 grados, aunque las fuerzas de la gravedad son de primera importancia en producir los deslizamientos, las ocurrencias hidrodinámicas y tectónicas también le dan origen a las fallas. Varias fallas de estructuras costa afuera han sido causadas por la inestabilidad de los sedimentos.

A continuación se citarán algunas de las principales razones por las cuales se hace complejo el entendimiento del mecanismo de la inestabilidad de taludes sumergidos, estos son:

1. Se cuenta con una documentación muy escasa de la inestabilidad ocurrida en los suelos sub-acuosos.
2. Los inconvenientes para determinar los parámetros de suelo y las mediciones de comportamiento in situ.

3.6.1 Estabilidad en suelo marino

Según McClelland, (1967) citado por Medina, (1992) los sedimentos de mayor interés son los correspondientes a la franja costera, generalmente con profundidades menores a 100m.

Aún para las explotaciones petroleras que en a mediano plazo, no resulta probable que se alcance los 500 m de profundidad, en estas áreas los sedimentos presentes son de origen continental, con una composición que corresponde con exactitud al mismo.

3.6.1.1 Estabilidad en suelo marino con sedimentos arcillosos

Según McClelland, (1967) citado por Medina, (1992), Se han depositado en aguas salinas. Las arcillas se han floculado, incluyendo partículas limosas e incluso arenosas debido a que han sido transportadas en su mayoría por suspensión en el agua dulce de los ríos. Suelen estar normalmente consolidados, (si exhiben sobre-consolidación, ésta es de origen físico-químico debido a su envejecimiento). Hay sin dudas, sedimentos marinos sobre- consolidados por el peso de las capas que de cierta forma han sido sometidas a procesos erosivos.

Se encuentran áreas de gran extensión, en donde las orillas están infra-consolidadas, es decir en proceso de consolidación. Los sedimentos arcillosos presentan un estado de contaminación, debido a la acción de elementos orgánicos.

El valor de la resistencia al esfuerzo cortante (C_u) a diferentes profundidades se puede determinar in situ, por medio de la veleta (molinete) ó mediante la implementación del penetrómetro estático holandés, sabiendo que:

$$C_u = \frac{q_c}{17} \quad (3.1)$$

Para arcilla normalmente consolidadas y Arcillas sobre-consolidadas, donde q_c = resistencia de punta, en kg/cm^2 .

$$C_u = \frac{q_c}{25} \quad (3.2)$$

Existen varias correlaciones conocidas para sedimentos arcillosos, dentro de las cuales tenemos:

$$C_u = (0.11 + 0.0037 IP) \delta. \dots \quad (3.3)$$

Cuando no se dispone directamente de IP :

$$IP = 0.73 (w_l - 13) \quad (3.4)$$

Por otra parte, se puede utilizar la correlación hallada por McceLand (1967) en el Delta del Mississippi.

$$IP = 0.825 w_l - 14. \quad (3.5)$$

$$\text{Ling}\delta = 1.15 - 1.79 IL \quad (3.6)$$

$$IL = \frac{W - WP}{IP} \quad (3.7)$$

Donde:

IP = Índice de Plasticidad (%)

WL = Límite Líquido (%)

WP = Límite Plástico (%)

W = % de Humedad natural

δ = Presión de consolidación

Conociendo la presión de consolidación, δ equivalente para cada IL, se pueden obtener:

$$CU = (0.11 + 0.0037 IP) + 10 (1.15 - 1.79 IL) \quad (3.8)$$

Mccelland (1967), basándose principalmente en datos obtenidos en el Delta del Mississippi obtuvo la ecuación (5.9) la cual, arroja valores que vienen a representar la mitad de los indicados en la Ecuación anterior (8).

$$CU = 0.10 + 0.25\delta \text{ (kgr/cm}^2\text{)} \quad (3.9)$$

3.6.1.2. Sedimentos arenosos

Los sedimentos arenosos están contaminados por elementos de origen orgánico que consisten principalmente de elementos de conchas. Estos materiales tienen menor rozamiento interno y generalmente mayor compresibilidad que las arenas continentales. Incluso, bajo presiones no muy elevadas, se rompen dichos fragmentos de concha dando origen a un evento que puede ser calificado como colapso.

En las zonas abrigadas, las arenas de deposición suelen estar sueltas y son susceptibles a los procesos de licuefacción y de colapso. Suelen ser también muy erosionables. Dependiendo de la antigüedad de las arenas, estas presentarán en la mayoría de los casos cierta cementación ya sea por soldadura directa de sus granos o por deposición de caliza, bien sea, de origen orgánico u otro proceso diagenético.

3.6.2. Estabilidad de los taludes de las orillas según la teoría del arrastre

Según Tapia (1983), el método del arrastre puede utilizarse para el estudio del caudal sólido, como para el cálculo de secciones del cauce a prueba de erosión y de la fortaleza que requiere el revestimiento de los taludes laterales del río o canal.

Para la solución de la estabilidad de taludes se debe considerar el efecto que el flujo de agua ejerce sobre el ángulo de reposo (ϕ) del material que forma el cauce. Generalmente este valor particular se refiere a los taludes no sumergidos; es decir, aquella porción situada por encima de la superficie del agua. Para las pendientes sumergidas, además del efecto físico del agua, hay que tener en cuenta la fuerza de tracción, de arrastre del agua, la cual reduce el valor del ángulo de reposo.

En la figura 3.1 se observan las diferentes presiones que se ejercen en un talud, en ella W , es el peso sumergido de un cierto volumen o porción de material localizado en la superficie de una orilla, cuya pendiente (α) está en cierto grado de inclinación para que el material que la forma esté en reposo. En el caso del canal se tiene en cuenta, además de T y N , el efecto de arrastre (τ).

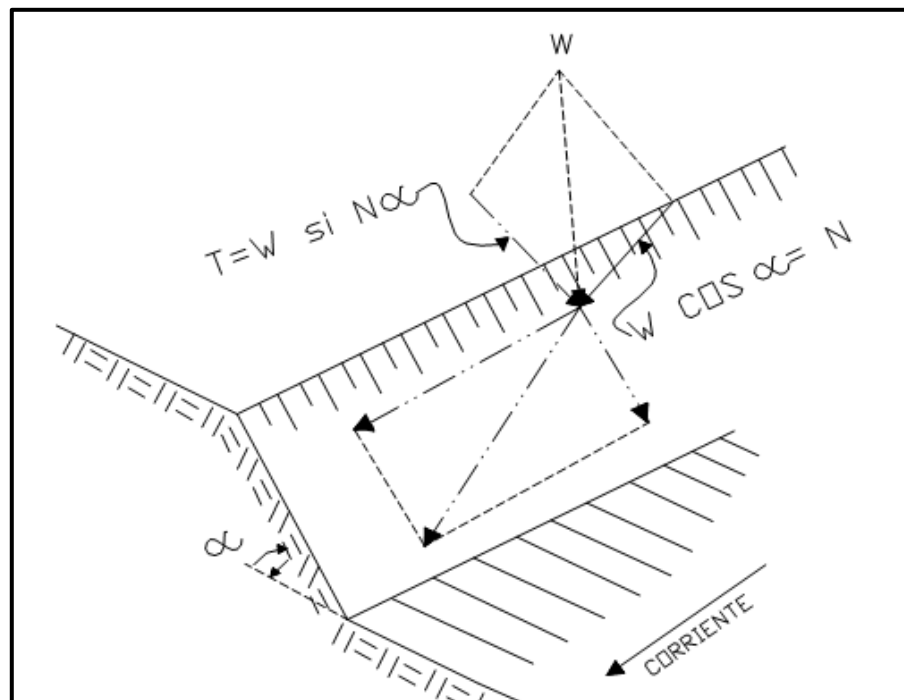


Figura 3.9 Diagrama de presiones tridimensionales para el cálculo de reposo del agua corriente (Tapia, 1983).

Siendo la línea de máxima pendiente, en un plano perpendicular al eje del canal, sino un eje inclinado.

Es evidente, según lo anterior que se calcula el criterio de estabilidad, se debe de igualar la fuerza de tracción $N \tan \phi$, con la resultante $\tau^2 + t^2$, de ambas fuerzas, τ es proporcional a la profundidad h y a la pendiente hidráulica (s) y, por otra parte, puesto que la pendiente hidráulica en una sección normal al flujo es, dentro de los

límites de este análisis, supuestamente constante. Se tiene que $\tau = \mu H$ en donde μ es una constante para esta sección.

El nuevo criterio de la estabilidad puede presentarse de la siguiente manera:

$$(H^2 + W^2 \sin^2 \alpha)^{1/2} = W \cos \alpha \tan \phi \quad (3.10)$$

El estudio de esta ecuación mostrará que para cada valor H se obtendrá un valor correspondiente de α . Es decir, que viene a representar la ecuación del trazado de las curvilíneas de la sección transversal del río o canal, englobando un factor constante de estabilidad a lo largo de su recorrido. Es importante resaltar que la estabilidad de los taludes de un canal, dependen principalmente de las propiedades del material que forma el cuerpo del talud, influenciado un poco por la hidráulica del flujo presente en el canal.

3.6.3 Método de la velocidad permisible

Según Chow (1994), a partir del criterio de máxima velocidad permisible, el procedimiento de diseño para una sección de canal, con forma supuestamente trapezoidal, consiste en los siguientes pasos:

1. Para la clase determinada de material que conforma el cuerpo del canal, estimar el coeficiente de rugosidad n , la pendiente de talud lateral z y la velocidad máxima permisible (Tabla 5.3).

$$z = \frac{[(b + zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}} \quad (3.11)$$

2. Calcular el radio hidráulico R a partir de la ecuación de Manning,

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3.12)$$

3. Calcular el área mojada requerida para el caudal y la velocidad permisible,

$$A = \frac{Q}{V} \quad (3.13)$$

4. Calcular el perímetro mojado,

$$P = \frac{A}{R} \quad (3.14)$$

5. Utilizando las expresiones para A y P donde se denoten los elementos geométricos de un canal trapezoidal, resolviéndolo simultáneamente para b y y .

$$A = (b + zy)y \quad (3.15)$$

$$P = b + 2y \sqrt{1 + z^2} \quad (3.16)$$

3.6.3.1 Velocidad máxima permisible

Según Chow (1994), la velocidad máxima permisible o velocidad no erosionante es la mayor velocidad promedio que no causará erosión en el cuerpo del canal. Esta velocidad es muy incierta y variable, y sólo puede estimarse con base en experiencia y criterio. En general, los canales viejos y que han soportado muchos

periodos hidrológicos permiten velocidades más elevadas que los canales nuevos, asumiendo que las condiciones del lecho de un canal viejo se encuentran estables, en particular con la sedimentación de materia coloidal. Cuando otras condiciones son iguales, un canal más profundo conducirá el agua con una velocidad media más elevada sin erosión que un canal poco profundo. Es probable que esto se deba a que la socavación primordialmente es causada por las velocidades cerca del fondo y, para la misma velocidad media, las velocidades cercanas al fondo son mayores en canales poco profundo, así como también serán elevadas en los taludes del canal.

Según Fortier y Scobey, (1925) citado por Chow, (1994), publicaron una tabla donde muestran las velocidades permisibles en canales, la cual se muestra en la tabla 3.2. Estos valores que se muestran corresponden a canales por las cuales han transcurrido muchos períodos hidrológicos, situados en pendientes pequeñas y para profundidades de flujo menores a 3 pies, mostrando también los valores de n adecuados para distintos materiales y los valores convertidos para las fuerzas tractivas permisibles correspondientes.

Tabla 3.2. Velocidades máximas permisibles recomendadas por Fortier y Scobey y los valores correspondientes de fuerza tractiva unitaria convertidos por el U. S. Bureau of Reclamación (Chow, 1994).

Material	n	Agua limpia		Agua que transporta limos coloidales	
		V, Pies/s	τ_o , lb/pie ²	V, Pies/s	τ_o , lb/pie ²
Arena fina	0.020	1.50	0.027	2.50	0.075
Marga arenosa no coloidal	0.020	1.75	0.037	2.50	0.075
Marga limosa no coloidal	0.020	2.00	0.048	3.00	0.11
Limos aluviales no coloidales	0.020	2.00	0.048	3.50	0.15
Marga firme ordinaria	0.020	2.50	0.075	3.50	0.15
Ceniza volcánica	0.020	2.50	0.075	3.50	0.15
Arcilla rígida muy coloidal	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46

Material	n	Agua limpia		Agua que transporta limos coloidales	
		V, Pies/s	τ_0 , lb/pie ²	V, Pies/s	τ_0 , lb/pie ²
Limos aluviales coloidales	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46
Esquistos y subsuelo de arcilla dura	0.025	6.00	0.67	6.00	0.67
Grava fina	0.020	2.50	0.075	5.00	0.32
Marga gradada o cantos rodados, no coloidales	0.030	3.75	0.38	5.00	0.66
Limos gradados o cantos rodados coloidales	0.030	4.00	0.43	5.50	0.80
Grava gruesa no coloidal	0.025	4.00	0.30	6.00	0.67
Cantos rodados y ripios de cantera	0.035	5.00	0.91	5.50	1.10

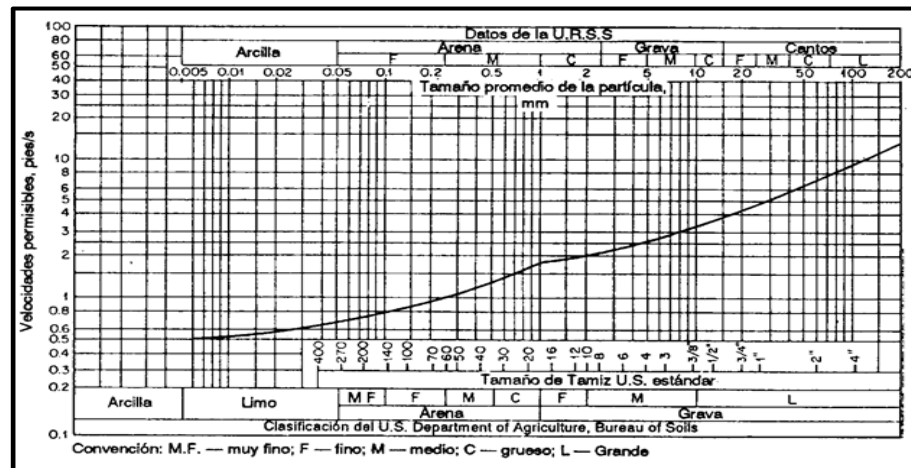


Figura 3.10 Velocidades permisibles en suelos cohesivos (Chow, 1994).

Las velocidades máximas permisibles mencionadas anteriormente se refieren a canales rectos. Para canales sinuosos, las velocidades deben ser más bajas para reducir la socavación.

3.6.4 Método de la fuerza tractiva

Según Chow (1994), el primer paso para el diseño de canales erosionables mediante el método de la fuerza tractiva consiste en seleccionar una sección de canal aproximada mediante experiencia o mediante el uso de tablas de diseño, recolectar

muestras del material presente tanto en el lecho como en el talud canal y determinar, utilizando estas muestras, las propiedades requeridas. Con estos datos, se procede a investigar la sección mediante el análisis de la fuerza tractiva para asegurar una estabilidad probable por tramos y para determinar la sección mínima que aparece estable. Para canales en materiales no cohesivos, el efecto de rodar hacia abajo a lo largo de la pendiente lateral debe considerarse junto con el efecto de la distribución de las fuerzas tractivas; para canales hechos en material cohesivo el efecto de rodar es insignificante, y el efecto de la distribución de la fuerza tractiva por sí solo constituye un criterio suficiente.

3.3.4.1 Fuerza tractiva

Cuando el agua fluye en un canal, se desarrolla una fuerza que actúa sobre el lecho de éste en la dirección del flujo. Esta fuerza la cual es sencillamente el empuje del agua sobre el área mojada, se conoce como fuerza tractiva. En un flujo uniforme la fuerza tractiva en apariencia es igual a la componente efectiva de la gravitacional que actúa sobre el cuerpo de agua, paralela al fondo del canal e igual a $\gamma_w ALS$, donde:

γ_w : peso unitario del agua

A: área mojada

L: longitud del tramo del canal

S: pendiente del canal

Luego, el valor promedio de la fuerza tractiva unitaria τ_o , es igual a $\gamma_w ALS/PL$ = $\gamma_w RS$, donde:

P: perímetro mojado

R: radio hidráulico

$$\tau_o = \gamma_w RS \quad (3.17)$$

En un canal abierto ancho, el radio hidráulico es igual a la profundidad de flujo y ; por consiguiente

$$\tau_o = \gamma_w yS \quad (3.18)$$

Según Chow (1994) el U.S. Bureau of Reclamación (USBR), ha utilizado la analogía de la membrana y métodos analíticos y de diferencias finitas para determinar la distribución de fuerza tractiva en canales trapezoidales, rectangulares y triangulares. En la figura 3.11 se muestra una distribución común de fuerza tractiva en un canal trapezoidal resultante de un estudio de analogía de la membrana. El patrón de distribución varía con la forma de la sección, pero prácticamente no se afecta por el tamaño de ésta. Basándose en mencionados estudios, se realizaron algunas curvas (figura 3.12) donde se pueden apreciar las fuerzas tractivas unitarias máximas en los lados de diferentes secciones de canal para uso de diseño.

En general en los canales trapezoidales con formas utilizadas a menudo, la fuerza tractiva máxima en el fondo es cercana al valor $\gamma_w yS$, y en los lados, cercanas a $0.76 \gamma_w yS$.

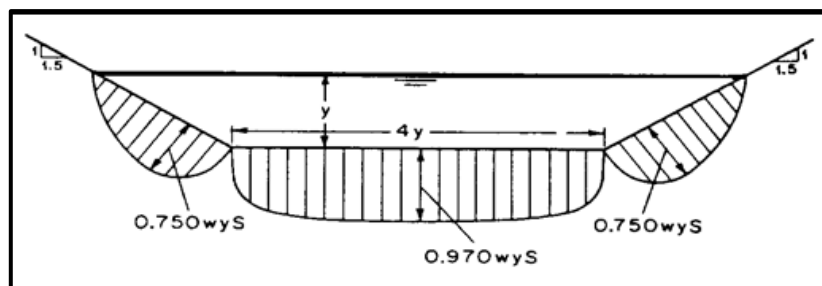


Figura 3.11 Distribución de la fuerza atractiva en una sección de canal trapezoidal (Chow, 1994)

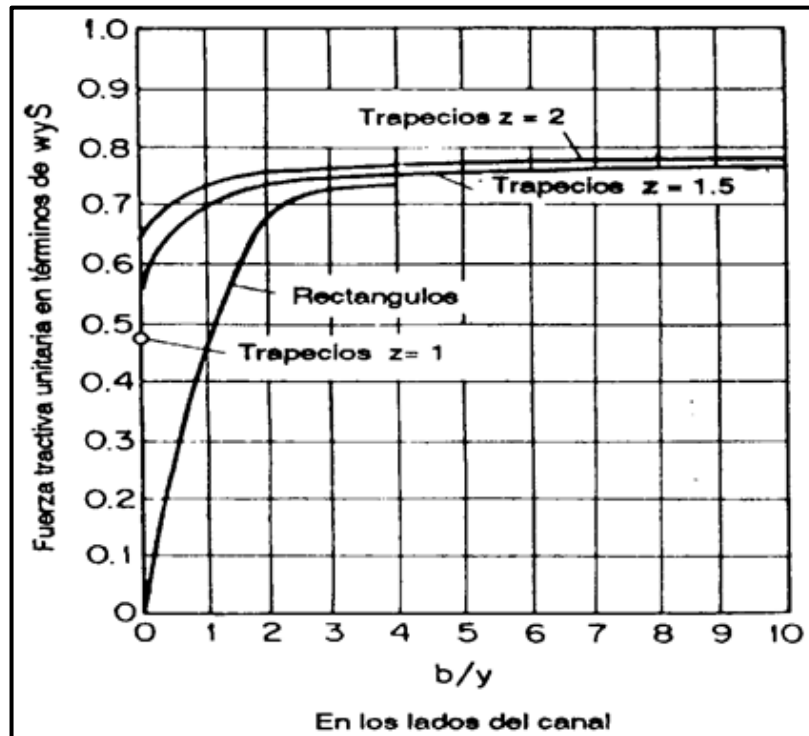


Figura 3.12 Fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de wyS (Fuente: Chow, 1994)

3.6.4.2 Relación de la fuerza tractiva

Según Chow (1994), sobre una partícula de suelo que descansa en la pendiente lateral de una sección de canal (figura 3.13) en la cual se encuentra fluyendo agua, actúan dos fuerzas: la fuerza tractiva τ y la componente de la componente gravitatoria $W \sin \theta$, la cual hace que la partícula ruede a lo largo de la pendiente lateral. Los símbolos utilizados son:

a = área efectiva de la partícula

τ = fuerza tractiva unitaria en la pendiente del canal

W_s = peso sumergido de la partícula

ϕ = ángulo de la pendiente lateral

θ = Angulo de reposo de la partícula

τ_o = Fuerza tractiva en términos de $\gamma_w y S$

γ_w = Peso unitario del gua

τ_L = Fuerza tractiva en el fondo del canal

K = Relación de fuerzas tractivas

La resultante de todas estas fuerzas las cuales forman un ángulo recto es:

$$\sqrt{W_s^2 \sin^2 \phi + a^2 \tau_s^2} \quad (3.19)$$

Cuando esta fuerza es lo suficientemente grande, la partícula se moverá. A partir del principio de movimiento de fricción en mecánica, puede suponerse que, cuando el movimiento es inminente, la resistencia al movimiento de la partícula es igual a la fuerza normal $W_s \cos \theta$ multiplicada por el coeficiente de fricción, o $\tan \theta$, donde θ es el ángulo de reposo. Luego,

$$W_s \cos \phi \tan \theta = \sqrt{W_s^2 \sin^2 \phi + a^2 \tau_s^2} \quad (3.20)$$

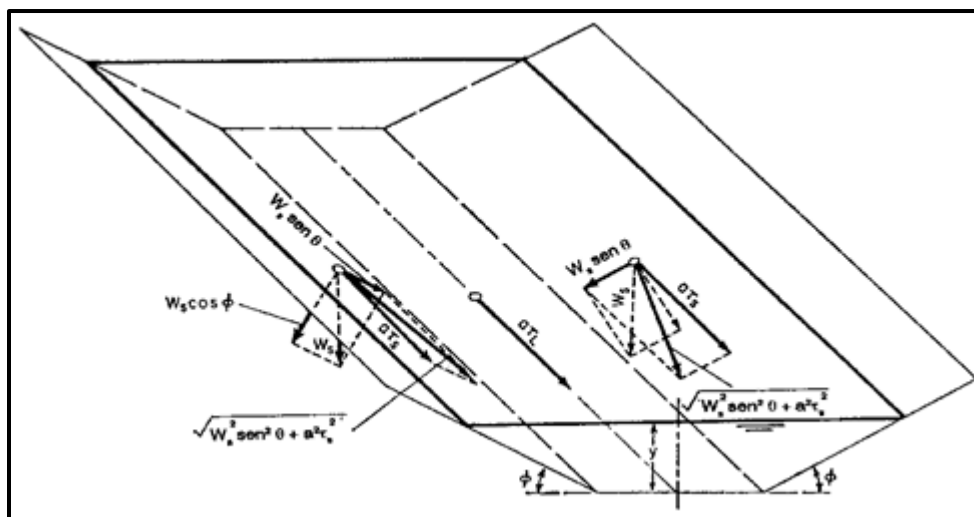


Figura 3.13 Análisis de las fuerzas que actúan en una partícula que reposa en la superficie del lecho de un canal. (Chow, 1994).

Para el cálculo de la fuerza tractiva unitaria τ_s que causa el movimiento inminente en una superficie inclinada tenemos:

$$\tau_s = \frac{Ws}{a} \cos \phi \tan \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}} \quad (3.21)$$

De igual manera, cuando el movimiento de una partícula sobre una superficie es inminente debido a la fuerza tractiva $\alpha\tau_L$, lo siguiente se obtiene a partir de:

$$Ws \tan \theta = a \tau_L \quad (3.22)$$

Al resolver para la fuerza tractiva unitaria τ_L que produce el movimiento inminente sobre una superficie plana,

$$\tau_L = \frac{Ws}{a} \tan \theta \quad (3.23)$$

Es necesario resaltar que la relación de τ_s a τ_L se conoce como relación de fuerza tractiva; ésta es una relación importante para propósitos de diseño. A partir de las ecuaciones a y c, la relación es

$$K = \frac{\tau_s}{\tau_L} = \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}} \quad (3.24)$$

$$K = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \phi}{\sin^2 \theta}} \quad (3.25)$$

Es importante resaltar que esta relación es función sólo de la inclinación ϕ del lado inclinado y del ángulo de reposo θ del material. Para materiales cohesivos y materiales finos no cohesivos, las fuerzas de cohesión en el agua medianamente limpia, se vuelven tan grandes en comparación con la fuerza gravitacional, que hacen que la partícula ruede hacia abajo, que la fuerza gravitacional llegue a no ser considerada. Por consiguiente el ángulo de reposo necesita ser considerado sólo para materiales gruesos no cohesivos; este tiende a incrementarse tanto con el tamaño como con la angularidad del material.

3.6.4.3 Fuerza tractiva permisible

Según Chow (1994), la fuerza tractiva permisible es la fuerza tractiva máxima que no causa erosión importante en el material que forma una sección de canal.

La determinación de la fuerza tractiva permisible está basada en el tamaño de la partícula para materiales no cohesivos y en la compactación o relación de vacíos para materiales cohesivos. Otras propiedades del suelo como el índice de plasticidad o la acción química pueden considerarse como índices para definir con mayor precisión la fuerza tractiva permisible. Por la falta de datos e información precisa acerca de los índices. El U.S Bureau of Reclamación realizó un estudio completo de materiales presentes en diversos canales, obteniendo como resultado una serie de valores que son recomendados para la fuerza tractiva permisible en el diseño de canales, estos desarrollaron de la siguiente manera:

1. Para materiales gruesos no cohesivos, con un factor de seguridad suficiente, el Bureau recomienda un valor tentativo para la fuerza tractiva permisible, en lb/pies^2 , igual a 0.4 veces el diámetro en pulgadas de una partícula para la cual el 25% (en

peso) del material es mayor. Esta recomendación se muestra por medio de una línea recta en la tabla de diseño (figura 3.14).

2. Para material fino no cohesivo, el tamaño especificado es tamaño medio o el tamaño menor que el 50% en peso. Tentativamente se recomiendan tres curvas de diseño (figura 3.8),

- a. Para canales con alto contenido de material fino en el agua
- b. Para canales con contenido de sedimento fino en el agua
- c. Para canales con agua limpia

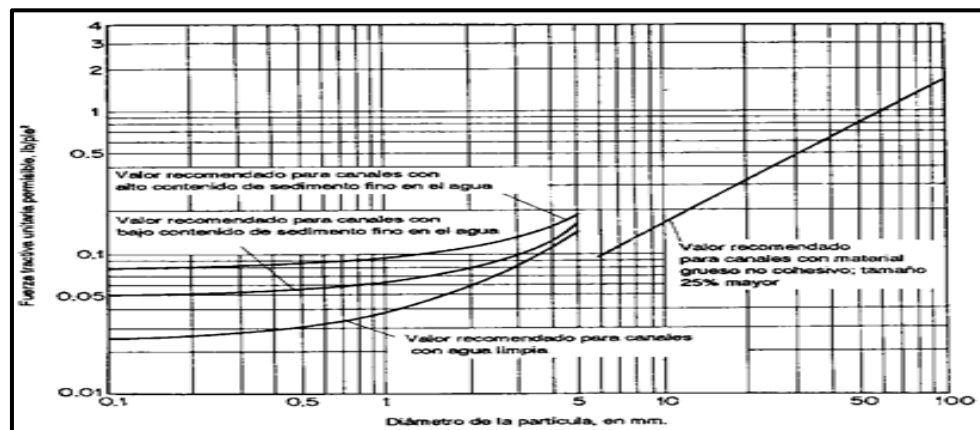


Figura 3.14 Fuerzas tractivas unitarias permisibles recomendadas por el USBR, para materiales no cohesivos (Chow, 1994).

Para materiales cohesivos, los datos basados en la conversión de velocidades permisibles a fuerzas tractivas unitarias, dados en la tabla 3.3 y en la figura 3.15 se recomiendan como referencia de diseño.

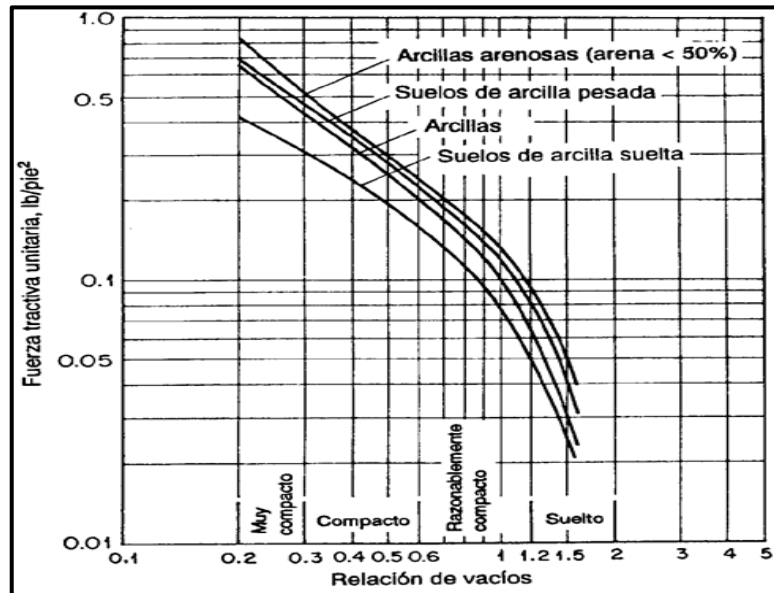


Figura 3.15 Fuerzas tractivas permisibles para canales en materiales cohesivos convertida por URSS sobre velocidades permisibles (Chow, 1994).

Las fuerzas tractivas permisibles mencionadas antes se refieren a canales rectos.

3.7. Socavación

La erosión, por su escala de acción espacial, puede distinguirse entre erosión general del fondo y erosión local. La primera se puede explicar por la acción de un flujo de agua sobre el fondo del cauce. Afecta a tramos largos del cauce y sería la única o primordial en un cauce recto y libre de singularidades, como obstáculos. La erosión local, en cambio, se explica por la acción de un flujo más complejo, que en una sección recta de la corriente (horizontal o vertical) requeriría una descripción bidimensional de las velocidades. Se presenta asociada a singularidades como obstáculos o a sectores curvos del cauce (CVC -UNIVALLE, 2011).

3.7.1 Socavación general

La determinación de las profundidades de erosión general (o erosión natural o decreciente) que sufre un cauce natural ante la ocurrencia de una crecida es un tema de gran importancia en la ingeniería. El cálculo aproximado de la forma y dimensiones que adquiere la sección transversal erosionada resulta de utilidad como elemento de ayuda.

Para la toma de decisiones en lo referente al diseño de obras de cruce a través del cauce, tales como puentes, tuberías, túneles subfluviales, etc. Existen múltiples y variadas metodologías para calcular la erosión general, aunque la gran mayoría de las mismas resulta de naturaleza puramente empírica, es decir, sin el sustento teórico que permita justiciar los planteos fundamentales.

Una de las posibilidades para el cálculo de la erosión general es la aplicación de modelos numéricos para cómputos morfológicos. En general, estos modelos se basan en la solución numérica de las ecuaciones generales del movimiento de agua con transporte de sedimentos. Los mismos se aplican a un tramo de cauce que incluya la sección en cuestión y los algoritmos internos resuelven el sistema para la hidrógrafa de diseño con condiciones iniciales y de contorno dadas. Existen varios modelos matemáticos para cálculos morfológicos, tales como HEC2SR, HEC-6, MOBED y FLUVIAL, entre otros, sin embargo, para la aplicación, calibración y explotación de estos modelos es necesario disponer de una cantidad de información importante e inversiones significativas en software, hardware, entrenamiento de personal y soporte técnico. Todos estos requerimientos muchas veces son difíciles de satisfacer, y por ello resulta de interés el empleo de los métodos semi- empíricos para la estimación de la erosión general. (Farías, Pílan 2005).

3.7.2 Socavación local (socavación en curva)

En el extradós o parte externa de las curvas o meandros en un río se presenta una profundización del lecho, observándose profundidades superiores a las que se presentan sobre la parte interna de las curvas, debido al ataque de la corriente y a las corrientes helicoidales que tienden a transportar el material del fondo desde la parte externa hacia la zona interior de la curva.

3.7.3 Socavación local debido a estructuras (espolones)

Los espolones actúan como deflectoras del flujo, disminuyendo el ancho efectivo del cauce. Las velocidades de la corriente se aumentan y se producen dos tipos de socavación, las cuales deben sumarse:

- a. Socavación por contracción del cauce, la cual puede calcularse con los sistemas desarrollados para otro tipo de contracciones.
- b. Socavación local en la punta del espolón, la socavación en la punta del espolón depende de la posición del espolón, su forma y su inclinación con respecto a la orilla.

Breusers y Raudkivi recomiendan utilizar la siguiente expresión (Suarez, 2001):

$$y = 2(K_1 * K_2 * K_3) * q^{2/3}$$

Dónde:

q Descarga unitaria en la sección contraída en m^3/s .

K_1, K_2, K_3 Son coeficientes que se obtienen de las Tablas 3.3, 3.4 y 3.5.

Tabla 3.3 Coeficiente K_1 en la ecuación de Breusers y Raudkivi. (Cárdenas, 2012).

α Angulo entre el espolón y la orilla (grados)	K_1
30	0.8
45	0.9
60	0.95
90	1.0
120	1.05
150	1.5

Tabla 3.4 Coeficiente K_2 en la ecuación de Breusers y Raudkivi. (Cárdenas, 2012).

Pendiente de la pared del dique	K_2
Vertical	1.0
45°	0.85

Tabla3.5 Coeficiente K_3 en la ecuación de Breusers y Raudkivi.(Cárdenas, 2012).

α Angulo entre el espolón y la orilla (grados)	K_3
30	0.8
45	0.9
60	0.95
90	1.0
120	1.05
150	1.5

3.8 Obras de protección de orillas

Las obras de protección de orillas son estructuras construidas para proteger las áreas aledañas a los ríos contra los procesos de erosión de sus márgenes producto de la excesiva velocidad del agua, que tiende arrastrar el material del fondo y de las bancas del río, debido al régimen de precipitaciones abundantes sobre todo en época de invierno. Estas obras se colocan en puntos localizados, especialmente para proteger algunas poblaciones y singularmente, las vías de comunicación u otras obras de arte construidas cerca del borde del río. Las obras de protección de orillas pueden ser efectivas para el área particular que se va a defender, pero también pueden cambiar el régimen natural del flujo y tener efectos sobre áreas aledañas, estos efectos deben ser analizados antes de construir las obras.

Existen tres tipos principales de estructuras hidráulicas de protección: estructuras longitudinales, estructuras transversales y combinación de ellas. Una de las decisiones más importantes en el diseño es el escoger el tipo de estructura que mejor cumpla con la función para la cual se construye a un menor costo económico.

Es importante anotar que cualquier tipo de protección de banca debe ser llevado hasta el lecho del río, y estar provisto de una buena cimentación y un buen filtro, adaptado a las condiciones del subsuelo, como lo es un drenaje de suficiente capacidad bajo un revestimiento más o menos impermeable. Donde se proveen protecciones permeables es necesario suministrar suficiente drenaje desde la pendiente para que el aire no sea atrapado.

3.8.1 Criterios generales de diseño de las obras de protección

Para el diseño de obras de protección se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- a. **Caudales de diseño.** Cantidad de agua que transporta el río en diferentes condiciones como son: máximos, medios y mínimos.

Los caudales de diseño de una obra de protección deben estar relacionados con el nivel de riesgo que podría conllevar la falla de la obra. Por ejemplo la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) recomienda periodos de retorno de 100 años y cuando existen asentamientos humanos, periodos de retorno de 200 y 500 años. Para el caso de zonas agrícolas la CVC recomienda que la altura de los diques corresponda a una frecuencia de 1 en 30 años.

- b. **Sección geométrica de la corriente.** Para el diseño hidráulico y para establecer el efecto de las estructuras de protección sobre las secciones donde se construyen, es importante tener un levantamiento topográfico del canal aguas arriba y

aguas abajo del sitio crítico que definan las características principales como son anchos, profundidades, taludes, etc.

c. **Análisis morfológico e hidráulico.** Se debe realizar un estudio previo de las condiciones de geología y morfología del río, perfil longitudinal, localización y variaciones del thalweg, sinuosidad, meandros, dinámica fluvial, efectos de la intervención antrópica, tamaños, forma y mecanismos de transporte de sedimentos y análisis de la socavación.

Así mismo se deben analizar las condiciones hidráulicas, velocidades del agua, fuerzas tractivas, tipos de flujo (en ocasiones es muy necesario definir las trayectorias de las líneas de corriente).

d. **Determinación de la longitud a proteger.** La longitud que se requiere proteger de la orilla de una corriente depende de las condiciones locales del sitio. En términos generales la protección debe cubrir una distancia mayor que la longitud impactada en forma severa por las fuerzas de erosión. Sin embargo, no es fácil determinar a primera vista cual es verdaderamente la zona que se requiere proteger, teniendo en cuenta que los problemas tratan de ampliarse tanto aguas arriba como aguas abajo. La AASHTO recomienda, para el caso de protección de corrientes junto a carreteras, construir obras en una longitud que incluye la zona erosionada y una vez el ancho del canal aguas arriba y 1.5 veces el ancho del canal hacia aguas abajo (Suarez, 2001).

La anterior consideración tiene en cuenta que generalmente el problema trata de extenderse más hacia aguas abajo que hacia aguas arriba, aunque la extensión definitiva debe responder a un análisis completo de la dinámica de la corriente. Debiendo considerarse, entre otros factores, lo siguiente:

e. **Altura y profundidad de la zona a proteger:** La altura a proteger la define principalmente la altura de la berma en el sitio, mientras que la profundidad de protección debe considerar las características de socavación, degradación y sedimentación del canal.

Las protecciones deben prolongarse hasta el fondo del canal y enterrarse una profundidad superior a la profundidad máxima de socavación estimada o diseñar protecciones que se acomoden a la socavación en el momento de su ocurrencia, teniendo en cuenta que la causa principal de falla de las obras de protección es la socavación.

f. **Tipo de obra:** Existe una gran cantidad de obras de protección de orillas; el tipo a utilizar depende de la disponibilidad de materiales para su construcción, de las necesidades del diseño, especialmente de la fuerza tractiva de la corriente y de la pendiente del talud, y de la disponibilidad de recursos.

g. **Especificaciones de diseño:** El diseño debe incluir, además, los materiales para la construcción, el tamaño y características de los elementos individuales, la sub-base granular si se requiere, el filtro para protección contra la erosión de la cimentación, las protecciones del pie y de la cresta, los sistemas de anclaje y las demás características de construcción que sean necesarias.

3.8.2. Protecciones longitudinales

3.8.2.1. Muros

Muros masivos rígidos: Son estructuras rígidas, generalmente de concreto, las cuales no permiten deformaciones importantes sin romperse. Se apoyan sobre suelos competentes para transmitir fuerzas de su cimentación al cuerpo del muro y de esta

forma generar fuerzas de contención. En la tabla 3.6 se presenta un resumen de las ventajas y desventajas y en la figura 3.16 un esquema de este tipo de muros.

Tabla 3.6 Ventajas y desventajas de varios tipos de muros rígidos (Cárdenas, 2012).

Muro	Ventajas	Desventajas
Reforzado	Los muros de concreto armado pueden emplearse en alturas grandes (superiores a diez metros), previo su diseño estructural y estabilidad. Se utilizan métodos convencionales de construcción, en los cuales la mayoría de los maestros de construcción tienen experiencia.	Requieren de buen piso de cimentación. Son antieconómicos en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales. Su poco peso los hace inefectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.
Concreto simple	Relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchapes para su apariencia exterior.	Se requiere una muy buena fundación y no permite deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado, antes de que puedan trabajar efectivamente. Generalmente son antieconómicos para alturas de más de tres metros.
Concreto ciclópeo	Similares a los de concreto simple. Utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, disminuyendo los volúmenes de concreto.	El concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) no puede soportar esfuerzos de flexión grandes.

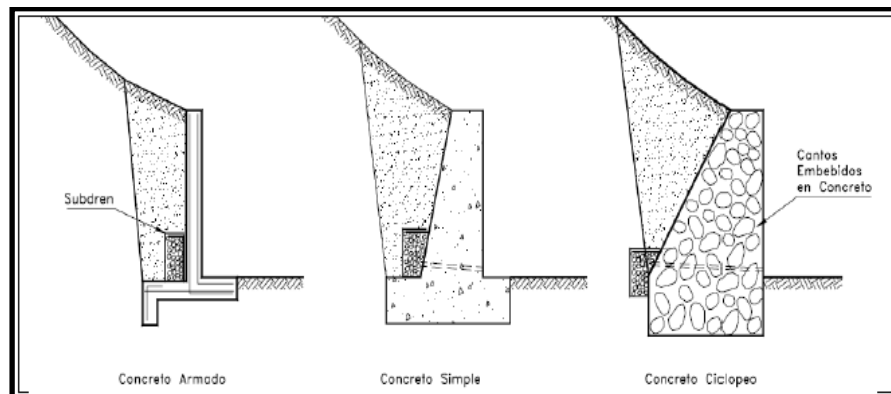


Figura 3.16 Muros rígidos (Cárdenas, 2012).

3.8.2.2 Estructuras ancladas

En las estructuras ancladas se colocan varillas o tendones generalmente, de acero en perforaciones realizadas con taladro, posteriormente se inyectan con un cemento. Los anclajes pueden ser pretensados para colocar una carga sobre un bulbo cementado o pueden ser cementados simplemente sin colocarles carga activa. (figura3.17).

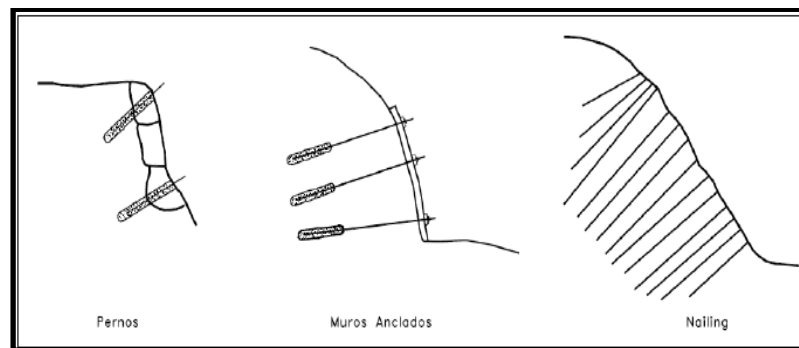


Figura 3.17 Esquema de varios tipos de estructuras ancladas (Cárdenas 2012).

Tabla 3.7 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de estructuras ancladas (Cárdenas, 2012).

Estructura	Ventajas	Desventajas
Anclajes y pernos individuales	Permiten la estabilización de bloques individuales o puntos específicos dentro de un macizo de roca.	Pueden sufrir corrosión.
Muros Anclados	Se pueden construir en forma progresiva de arriba hacia abajo, a medida que se avanza con el proceso de excavación. Permiten excavar junto a edificios o estructuras. Permiten alturas considerables.	Los elementos de refuerzo pueden sufrir corrosión en ambientes ácidos. Se puede requerir un mantenimiento permanente (tensionamiento). Con frecuencia se roban las tuercas y elementos de anclaje. Para su construcción se puede requerir el permiso del vecino. Su construcción es muy costosa.
Nailing o pilotillos tipo raíz (rootpiles)	Muy eficientes como elemento de refuerzo en materiales fracturados o sueltos.	Generalmente se requiere una cantidad grande de pilotillos para estabilizar un talud específico lo cual los hace costosos.

3.8.2.3 Estructuras Enterradas

Son estructuras esbeltas, las cuales generalmente trabajan empotradas en su punta inferior. Internamente están sometidas a esfuerzos de flexión y cortante.

Tabla 3.8 Ventajas y desventajas de diversos tipos de estructuras enterradas (Cárdenas, 2012).

Estructura	Ventajas	Desventajas
Tablestaca	Su construcción es rápida y no requiere cortes previos. Son de fácil construcción junto a los cuerpos de agua o ríos.	No se pueden construir en sitios con presencia de roca o cantos. Su construcción es muy costosa.
Pilotes	Se pueden construir rápidamente.	Se puede requerir un número grande de pilotes para estabilizar una orilla.
Pilas o Caissons	No se requiere cortar el talud antes de construirlo. Se utilizan sistemas convencionales de construcción. Pueden construirse en sitios de difícil acceso. Varios caissons pueden ser contruidos simultáneamente.	Se requieren profundizar muy por debajo del pie de la excavación. Su costo generalmente es elevado. La excavación puede requerir control del nivel freático. Debe tenerse especial cuidado en las excavaciones para evitar accidentes.

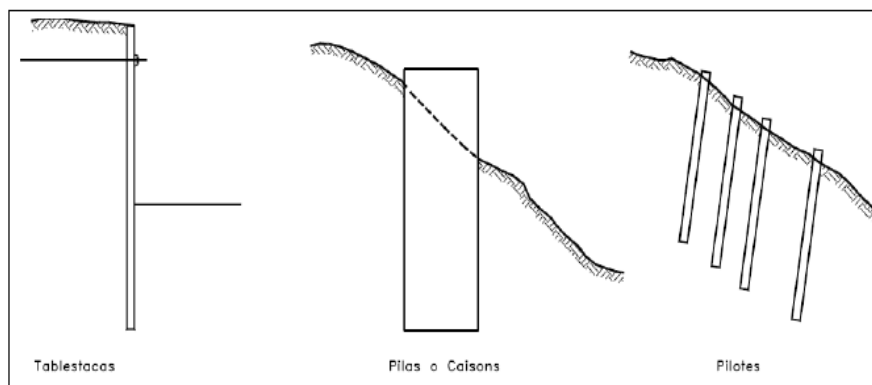


Figura 3.18 Esquema de varios tipos de estructuras enterradas (Cárdenas, 2012).

3.8.2.4 Revestimientos

Los revestimientos son estructuras de refuerzo de la superficie del suelo, construidas con el objeto de aumentar la resistencia al esfuerzo tractivo del agua en movimiento; el objetivo de estas obras es el de aislar el suelo de la corriente para evitar el desprendimiento, contener el suelo para minimizar el riesgo de deslizamiento por socavación o erosión en el pie de los taludes y, en algunos casos, servir de estructura disipadora de la energía de la corriente.

El diseño de una estructura de protección lateral de una corriente de agua requiere de un análisis detallado, no solamente del comportamiento de la estructura, sino también de los efectos del revestimiento sobre la erosión de fondo o la erosión en las orillas contiguas u opuestas. Generalmente el revestimiento de la orilla induce erosión en el fondo del cauce junto al revestimiento, y se requiere que la estructura incluya obras de protección en el pie para el control de la socavación generada.

El término revestimiento se refiere a un sistema completo de protección, consistente en:

1. Una armadura o manto superficial de protección
2. Un filtro o base protectora contra la erosión debajo de la armadura
3. Una protección contra la socavación en el pie del talud revestido
4. Una protección o anclaje del revestimiento en la cabeza o cresta del revestimiento

Las estructuras de revestimiento pueden ser permeables o impermeables, rígidas o flexibles. Un revestimiento flexible permite cierto grado de movimiento o deformación debido al asentamiento del suelo del talud, manteniéndose el contacto permanente y continuo de la cimentación. Un revestimiento rígido no permite movimientos, a excepción del asentamiento uniforme de toda la estructura.

Un revestimiento permeable permite el libre paso del agua, mientras uno impermeable no permite el flujo de agua a su través.

La capa de filtro se coloca debajo de la armadura para garantizar el sub-drenaje del sistema de revestimiento, evitando la formación de presiones de poros en exceso y previniendo la migración de finos del suelo. Esta capa puede ser construida con materiales de filtro naturales, como grava o arena o por filtros sintéticos o geotextiles.

Para el diseño del revestimiento del talud de la ribera de una corriente se pueden utilizar dos procedimientos:

a. **Diseño basado en la velocidad:** Este sistema es el más sencillo debido a que generalmente, existe conocimiento sobre la velocidad probable de diseño de la corriente. Puede diseñarse con base en la velocidad promedio del canal o trabajar con la velocidad en la superficie del cauce. Debido a la falta de información, generalmente se diseña para la velocidad media de la corriente.

b. **Diseño basado en la fuerza tractiva de la corriente:** Cuando se tiene información completa sobre las fuerzas hidráulicas que actúan sobre el suelo se puede diseñar utilizando los criterios físicos de la fuerza tractiva. Existe una gran cantidad de modelos matemáticos para el diseño de revestimientos utilizando el criterio de fuerza tractiva.

c. **Fuerza de las corrientes:** El ataque de las corrientes de agua y de las olas sobre los revestimientos genera unas condiciones de flujo muy complejas sobre y a través del revestimiento y el filtro. El revestimiento puede estar sujeto a fuerzas de levantamiento por el movimiento del agua hacia arriba del talud. Las fuerzas de levantamiento dinámico pueden ocurrir como un resultado de las ondas generadas por

el viento o por las embarcaciones, las cuales causan unos ascensos rápidos de la presión de poros y del nivel de agua junto al revestimiento. La presión de agua genera un flujo interno hacia arriba en el filtro y el revestimiento.

d. **La fuerza de levantamiento** depende de la altura de la ola, la pendiente del talud y el espesor del revestimiento. Estas fuerzas de levantamiento son mayores en el momento de ocurrencia de las olas de mayor tamaño. Existe una gran cantidad de fórmulas para calcular esta fuerza, como las desarrolladas por Pilarczyk, que son muy completas y confiables.

Adicionalmente al análisis de estabilidad del revestimiento debido a la fuerza del flujo de agua y de las olas se deben realizar análisis de deslizamiento sobre la superficie del talud y de estabilidad general del talud, teniendo en cuenta las presiones de poros, causadas por el flujo y el oleaje.

3.8.2.5 Mecanismos de falla en los revestimientos

- **Exceso de presión de poros:** El exceso de presión de poros es uno de los más importantes mecanismos de falla de los revestimientos. Si la protección diseñada es de baja permeabilidad comparada con el subsuelo, las olas o la turbulencia generan un exceso de presión de poros debajo del revestimiento, el cual puede producir la licuación o el flujo del suelo inmediatamente debajo del revestimiento, generándose su deslizamiento. Los revestimientos permeables permiten la disipación de esa presión en la medida de que el agua pueda salir de la capa de revestimiento.
- **Migración de finos debajo del revestimiento:** Otro problema generado por el agua en la orilla es la migración interna de granos por acción de los gradientes hidráulicos.

Este proceso de erosión interna es más grave en suelos con coeficiente de uniformidad $C_u = D_{60}/D_{10} > 10$. Si la porosidad de la protección es alta se pueden perder materiales finos del suelo de cimentación, lo cual puede causar la eventual falla del revestimiento; igualmente puede producirse migración de finos de la capa de filtro hacia el revestimiento. En esos casos debe colocarse un filtro de geo-textil entre el revestimiento y el material subyacente.

- **Deslizamiento del revestimiento:** El deslizamiento del revestimiento ocurre cuando la componente del peso de este paralelo al talud es mayor que la fuerza de fricción entre el revestimiento y el talud o cuando no existe apoyo adecuado en el pie del revestimiento.

La posibilidad de ocurrencia de deslizamiento puede aumentarse por la ocurrencia de depresiones de levantamiento sobre la parte inferior del revestimiento, las cuales reducen la fricción entre la coraza y el filtro. Si los bloques del revestimiento en la zona cercana a la línea de agua no están bien sujetos pueden deslizarse independientemente del área restante de revestimiento.

- **Asentamiento diferencial:** Los revestimientos rígidos no deben utilizarse donde exista la posibilidad de ocurrencia de asentamientos diferenciales en el suelo de cimentación.

Cualquier asentamiento debajo del revestimiento rígido puede resultar en vacíos que producen puntos de debilidad, los cuales pueden conducir a la falla.

En los sitios en los cuales exista posibilidad de algún grado de asentamiento diferencial debe utilizarse un revestimiento flexible; sin embargo, un revestimiento flexible no es una solución para suelos mal compactados o materiales inestables, el

suelo de cimentación debe ser esencialmente estable en condiciones estáticas sin revestimiento.

- **Socavación en el pie del revestimiento:** La construcción de una estructura de revestimiento puede causar un incremento en la velocidad de la corriente del cauce junto al revestimiento, el cual a su vez causa un aumento de la erosión y la socavación.

Este fenómeno puede manifestarse con la formación de fosas de socavación en el pie de la estructura y esta socavación puede producir la falla de la estructura. Para prevenir este fenómeno es importante construir una protección adecuada en el pie del revestimiento. Existe una gran cantidad de procedimientos de protección del pie del revestimiento, desde sistemas muy sencillos hasta obras profundas como tablestacados.

El tipo de protección del pie de la estructura depende de los niveles de socavación esperados.

- **Estabilidad del talud:** La falla por estabilidad del talud puede ocurrir por la ocurrencia de depresiones de poros relacionadas con la presencia de la corriente, por abatimientos rápidos del nivel de agua o por problemas geotécnicos internos del talud de la orilla.

3.8.2.6 Tipos de protecciones de riberas

a. Enrocado o Riprap

Consiste en bloques o cantos de roca de diferentes tamaños y formas irregulares colocados sobre el talud a lo largo de la orilla de una corriente. La estabilidad del conjunto se proporciona por el peso de los bloques individuales y el entrelace entre ellos. El enrocado se utiliza cuando hay disponibilidad de roca con canteras cercanas. Se prefieren las piedras con forma de bloque (irregulares) que las alargadas o redondeadas.

La pendiente máxima normalmente aceptada de una ribera para la colocación de enrocados es 2H:1V. En el caso de utilizar grandes bloques semi-rectangulares se permiten pendientes hasta 1.5H:1V. Para pendientes mayores se requieren muros de contención.

Se debe utilizar piedras no redondeadas, preferiblemente de forma tabloide con espesores superiores a 100 mm, las piedras pueden colocarse sueltas (figura 3.19) o pegadas con mortero o concreto. En el caso de utilizar uniones de concreto se requiere construir juntas de dilatación cada 10 a 20 metros. Debajo de la piedra es necesario colocar un manto de geo-textil o filtro para evitar el lavado de las partículas finas de suelo del talud. Debido a su habilidad para resistir fuertes corrientes el enrocado es un método efectivo y generalmente de bajo costo y es, tal vez, el material más utilizado para la protección de riberas de ríos. El uso de revestimientos de roca cubre un gran rango de aplicaciones, desde la protección directa contra el impacto de flujo hasta la construcción de capas de filtro debajo de otros materiales. El enrocado puede ser colocado en forma aleatoria o colocando bloque por bloque. El enrocado se adapta fácilmente a los movimientos del terreno, se repara en forma sencilla, puede

aumentarse su espesor si se requiere, controla los efectos del oleaje y permite el crecimiento de vegetación.



Figura 3.19 Protección de orilla con enrocado Riprap (Cardenas, 2012).

b. Bloques de concreto

Los bloques prefabricados de concreto son utilizados con mucha frecuencia para el revestimiento de orillas de ríos en sitios de turbulencia baja a media; estos bloques son comúnmente utilizados para revestimientos en sitios donde no es posible conseguir bloques de roca y económicamente es mejor la prefabricación de bloques en concreto.

Los bloques de concreto pueden ser libres o pueden estar entrecruzados o ligados por medio de cables. Los bloques simples pueden colocarse libremente sobre el talud apoyándose en su peso unitario y su fricción. Los bloques pueden estar entrelazados, lo cual les da una mayor estabilidad.

La mayoría de los sistemas de revestimientos con bloques de concreto para riberas de ríos son objeto de patentes y ellos se clasifican en cinco categorías:

1. Bloques individuales sueltos colocados al volteo (camarones).
2. Bloques individuales colocados a mano (adoquines).
3. Bloques articulados unidos por varillas de acero.
4. Bloques conectados por medio de cables.
5. Geo-celdas celulares rellenas de concreto.

Bloques de piedra o de concreto pegados con concreto

En este sistema los vacíos entre los elementos se rellenan de concreto para formar un revestimiento monolítico. Su comportamiento es muy similar al de un revestimiento totalmente en concreto. Comparativamente con el uso de piedra suelta, la piedra pegada permite la utilización de partículas más pequeñas, pero la permeabilidad del revestimiento es necesariamente menor. Existen varias formas de cementar el enrocado, así:

Colocación de las piedras a mano conjuntamente con el mortero o concreto.

Colocación del cemento o mortero encima del enrocado. La mezcla no necesariamente penetra la totalidad del revestimiento y solo llena aproximadamente 1/3 de los vacíos.

Inyección completa del enrocado con lechada de cemento.

c. Revestimientos de concreto

La colocación de un revestimiento total en concreto es un sistema muy utilizado para taludes de gran pendiente. Los revestimientos en placa de concreto fundida en el

sitio se consideran como uno de los sistemas de protección más efectivos que existe y es muy común su utilización para canalizar ríos en zonas urbanas.

Generalmente se requiere refuerzo cuando la pendiente de los taludes es mayor a 1H:1V. Se acostumbra colocar elementos de anclaje debajo de la pantalla para evitar su deslizamiento. Estos elementos pueden consistir en varillas de acero (pernos) o elementos de concreto que se pueden fundir integralmente con la pantalla.

El revestimiento en concreto puede hacerse fundiendo directamente en el sitio, utilizan de concreto corriente o empleando concreto o mortero lanzado (gunita). El espesor de estos revestimientos varía de 8 a 10 centímetros para morteros y de 10 a 20 centímetros para concretos. En los casos de pendientes muy suaves y velocidades bajas del agua se puede emplear mortero con concreto simple. El concreto debe tener muy buena resistencia al desgaste y es común exigir resistencias de 4000 PSI.

La construcción de pantallas de concreto puede realizarse utilizando colchonetas preformadas elaboradas con geo-textil, las cuales se colocan sobre el talud y luego se inyecta el mortero o concreto en forma similar a las que se utilizan para el control de erosión en ríos. En este caso se elabora un sistema de capa de espesor uniforme de entre 75 y 100 mm.

Se requieren juntas de contracción impermeabilizada cada seis a nueve metros y aditivos en el concreto para disminuir el agrietamiento. Se acostumbra colocar juntas de contracción cada seis metros y de dilatación cada veinte a veinticinco metros. Debido a la rigidez del revestimiento su fundación debe ser buena y estable. Deben proveerse lloraderas y se recomienda colocar una capa de material filtrante debajo de la placa de concreto de mínimo 150 mm de espesor.

En los bordes perimetrales del revestimiento se recomienda construir vigas más profundas para evitar la socavación. El pie de la protección debe estar por debajo de la profundidad de socavación calculada o bajarla hasta la roca. En ocasiones se requiere colocar una tablestaca de pie para obtener la seguridad necesaria.

d. Concreto o mortero lanzado

El concreto lanzado tiene la facilidad de poderse aplicar sobre superficies irregulares, pero es sensible a los asentamientos y agrietamientos. Las especificaciones de sus materiales son muy similares a las utilizadas para los concretos convencionales. Se requiere que los agregados prevengan la segregación. Se recomienda juntas cada tres metros. Los espesores de concreto varían de cinco a quince centímetros y se recomienda reforzar con malla electro soldada.

Para los agregados se recomienda usar grava natural y piedra triturada, por las mejores características de bombeo de las partículas de la grava natural. Por otro lado, la calidad del agregado que requiere el concreto lanzado es la misma que la de un concreto de buena calidad.

e. Placas prefabricadas de concreto

Las placas prefabricadas de concreto generalmente son menos atractivas desde el punto de vista funcional con relación a las placas fundidas en sitio; sin embargo, la gran ventaja es la posibilidad de utilizar placas aligeradas, su funcionamiento es muy similar al de las placas fundidas pero su eficiencia es generalmente menor y resisten velocidades menores.

f. Armazones o marcos de concreto

Consisten en sistemas de marcos o vigas que simulan pórticos sobre la superficie del talud dejando espacios libres para la siembra de vegetación o colocación de otro tipo de revestimientos. Los marcos pueden ser prefabricados o fundidos sobre el talud y se recomienda instalar sistemas de anclaje para evitar su deslizamiento. Los marcos o vigas generalmente llevan un refuerzo para garantizar su rigidez y evitar su agrietamiento.

g. Revestimiento con paneles metálicos tridimensionales

En Europa se desarrolló un sistema de estructuras o paneles en tres dimensiones contruidos con acero galvanizado u otros elementos metálicos protegidos contra la corrosión. La estructura metálica con espesor puede tener hasta 15 centímetros, es anclada con pernos. Después de colocada la estructura se rellena con suelo o roca, se coloca concreto lanzado o puede revegetalizarse utilizando procedimientos estándar de hidro-siembra.

h. Geotextiles rellenos de concreto

Los colchones de geo-textil rellenos de concreto o arena son muy utilizados para la protección de riberas. El relleno es inyectado al colchón y el geo-textil ayuda a la formación de un colchón uniforme flexible pero relativamente integral. Generalmente estos colchones se fabrican con fibras de alta resistencia, como poliéster, nylon y polipropileno, y se manufacturan en un amplio rango de formas. Los colchones de concreto se construyen con dos capas de geo-textil, unidos en tal forma que se inyecta concreto entre las dos capas.

En la construcción del sistema de geo-textiles se dejan espacios a los cuales no puede entrar el concreto. Estos espacios actúan como punto de filtro para permitir el paso del agua. Estos productos generalmente están sujetos a patentes y los propietarios presentan sus propias indicaciones para el diseño, la instalación y el mantenimiento. Los puntos de filtro son elementos esenciales para garantizar la permeabilidad del sistema y debe siempre preguntarse a los proveedores sobre el sistema de filtración que se utiliza en cada producto.

i. Colchones de gaviones o colchoneta reno

La utilización de pantallas o colchones en gaviones es una práctica muy utilizada en los taludes donde se esperan flujos importantes de agua. El sistema consiste en la colocación de una pantalla superficial de gaviones sobre el talud, un filtro y un apoyo en el pie. Debajo de los gaviones se debe colocar una tela geo-textil. Los gaviones pueden vegetalizarse utilizando estacas vivas que penetren totalmente el espesor de la pantalla.

Los gaviones son colchones de alambre galvanizado rellenos con piedra, bloques de concreto u otros materiales duros. Se pueden utilizar mallas tejidas en triple torsión o soldadas. En Europa generalmente estas mallas están cubiertas en PVC para ayudar a resistir la abrasión y oxidación de los alambres. En ocasiones los gaviones se inyectan con lechada de cemento, mortero o asfalto. Las pantallas de gaviones pueden construirse directamente sobre la superficie del talud o pueden prefabricarse y luego colocarse. Los gaviones pueden ser rectangulares o cilíndricos (Figura 3.20 y 3.21).

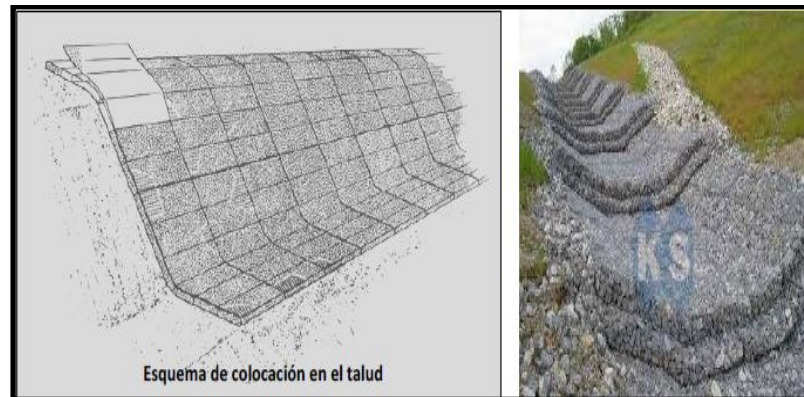


Figura 3.20 Colchones en gaviones (Cardenas, 2012).



Figura 3.21 Muro de gaviones (Suarez, 2001)

j. Colchones sintéticos rellenos de bloques de roca

Este sistema consiste en colchones contruidos con geo-mallas de polietileno de alta densidad (HDPE), rellenos de bloques de roca de diámetro de 2 a 4 pulgadas.

Estos colchones poseen una serie de compartimentos de aproximadamente 50centímetros. El tamaño de los colchones debe ser tal que facilite su colocación. Una dimensión típica puede ser 10 metros de largo por 1.5 metros de ancho y 30Esquema de colocación en el talud centímetros de espesor. Los colchones son prefabricados por fuera de la orilla, izados por medio de grúas sobre remolcadores y colocados bajo el agua. Generalmente llevan incorporada una tela geo-textil para filtro. Sobre los colchones se puede colocar enrocado para mejorar la estabilidad de la obra. Este sistema se ha utilizado recientemente junto a las esclusas del canal de Panamá, para proteger los taludes de la erosión producida por el flujo de las hélices de los remolcadores que mueven los barcos.

k. Revegetalización de taludes de alta pendiente

Es muy importante conocer las características de las especies vegetales disponibles para la construcción de una obra de bioingeniería. Para el establecimiento de una cobertura vegetal en forma exitosa se requiere tener en cuenta una serie de criterios entre los cuales se encuentran los siguientes (Dickerson y otros, 1998):

Para la selección de la especie vegetal se requiere tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de planta
- Sistema tipo de raíces y habilidad radicular
- Rata de crecimiento
- Preferencia de suelo (textura y drenaje)
- Preferencia de pH de suelo
- Rapidez de establecimiento
- Potencial de invasión
- Tolerancia a las sequías

- Tolerancia al sol y a la sombra
- Tolerancia a la inundación
- Tolerancia a la sedimentación
- Tolerancia al viento
- Tolerancia a las quemas
- Tolerancia al pisoteo
- Mínima profundidad del nivel de agua tolerado
- Máxima profundidad del nivel de agua tolerado
- Sistema de establecimiento (estacas, semillas, rizomas, estolones, etc.)
- Disponibilidad comercial

Se debe determinar el sistema de siembra conjuntamente con los sistemas de fertilización, riego, mantenimiento y protección. Como se indicó anteriormente las condiciones del sitio son determinantes para el buen establecimiento de la vegetación pero también es muy importante la calidad de los materiales vegetales; por ejemplo la calidad de la semilla o la calidad de las estacas que se utilicen para el establecimiento de la cobertura vegetal. Existen otros factores como la época de siembra, la cual determina la disponibilidad de agua y de temperatura para el establecimiento y el crecimiento de las plantas y como factor adicional Dickerson y otros mencionan que se deben contar con un poco de buena suerte para que las condiciones ambientales favorezcan en forma efectiva el establecimiento de la vegetación.

En taludes de alta pendiente adicionalmente a la vegetación propiamente dicha se requiere tener un sistema de estructura que se integre con esta vegetación. Esta estructura puede consistir en elementos que ayuden a sostener la vegetación mientras esta se establece y que favorecen la infiltración de agua y la humedad.

El valor conservacionista de los ecosistemas forestales de los trópicos tanto en las zonas cálidas como en los páramos es extremadamente alto. Aunque existe una

extraordinaria diversidad de especies, la falta de fertilidad del suelo por el lavado de los nutrientes no permite la regeneración espontánea. Adicionalmente, los países tropicales son sinónimo de países pobres y un porcentaje importante de la población rural escasamente alcanza los niveles de subsistencia. Los bosques proveen parcialmente elementos de subsistencia y cualquier modificación drástica de la vegetación puede afectarlos (Brown, 1995).

El sistema de lluvias de las zonas tropicales es generalmente controlado por eventos de precipitación de alta intensidad. Típicamente más del 40% de las lluvias tienen una intensidad superior a 25 mm/hora, comparativamente con menos del 5% en las zonas no tropicales (Hudson, 1971). Las intensidades de lluvia superiores a 150 mm/hora son muy comunes (Douglas, 1969). Este sistema de lluvias hace que las tasas de denudación en las zonas tropicales sean muy superiores a las de otras áreas del mundo.

Una gran cantidad de especies vegetales tropicales corresponde a plantas que requieren de sombra para su establecimiento y que generalmente crecen debajo de los árboles de gran altura, en un microclima húmedo y fresco y no toleran la luz solar o la falta de la humedad ambiental. Una vez se destruyen los árboles no es posible el restablecimiento de estas especies.

Tabla 3.9 Sistemas de vegetalización de taludes de alta pendiente (Suarez, J., 2001).

Sistema de vegetalización	Descripción	Observaciones
Plantas trepadoras	Se siembran hileras de plantas trepadoras en el pie del talud.	Muchas de estas plantas requieren de roca para ascender. La mayoría de ellas no ascienden sobre suelo.
Gradería tipo trincho	Se entierran hileras de estacas verticales para sostener ramas horizontales detrás de las cuales se coloca material de relleno.	Se requiere que el suelo sea lo suficientemente blando para permitir que las estacas se puedan profundizar suficientemente.
Biomantos	Después de colocar la semilla y la fertilización se cubre el talud con una tela o biomanto de fibras orgánicas.	En taludes secos se requiere riego continuo para permitir el establecimiento de la vegetación.
Hidrosembrado	Se coloca a presión con una máquina de bombeo la mezcla de semillas, nutrientes y pegantes.	No resisten grandes intensidades de lluvia y no se deben colocar sobre superficies rocosas.
Mateado con hileras de bambú	Se colocan horizontalmente ramas de bambú o guadua sostenidas por estaca y entre ellas se coloca suelo con nutrientes para el establecimiento de la vegetación.	En taludes de muy alta pendiente es difícil sostener las estacas en forma estable. Se requiere que las ramas de bambú estén enterradas dentro del talud para evitar los flujos de agua por debajo de ellas.
Geomallas. Grama reforzada	Las mallas sintéticas u orgánicas sirven de refuerzo para sostener el Mulching y las semillas.	Son productos comerciales generalmente costosos.
Capas de enramados con o sin refuerzo	Se colocan ramas de especies vivas entremezcladas con suelo y sostenidas en ocasiones por mallas de fibras sintéticas u orgánicas.	Son difíciles de establecer en taludes muy altos y de muy alta pendiente.
Cubiertas vivas	El talud se cubre con un sistema de elementos de madera o bambú colocados horizontal y verticalmente, formando cajones los cuales se rellenan con ramas vivas y suelo.	Requieren la construcción de bermas intermedias en los taludes de gran altura.
Estructuras vegetalizadas	Gaviones o muros criba con ramas o estacas vivas.	No son estables en taludes de muy alta pendiente.

3.9 Definición de términos básicos

3.9.1 Sección transversal

Son líneas imaginarias que representan cada sección transversal son materializadas en la superficie del río colocando cuerdas entre ribera y ribera, atadas convenientemente a estacas hincadas en las márgenes (Torres, A. y Villate, F., 1975)

3.9.2 Caudal

Es el volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m³ /s.(Ordoñez, J., 2011).

3.9.3 Afluentes

Corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. Ordoñez, J. (2011).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

En la investigación a realizar, el objetivo central del estudio se focalizó en la caracterización de los procesos modificadores de la morfología del cauce (erosión, transporte y sedimentación) con la finalidad de analizar la estabilidad de los taludes sumergidos que le sirven de soporte a las riberas de los taludes del río Caris en el tramo evaluado en el municipio Independencia, estado Anzoátegui; desarrollándose con base a dos criterios específicos: su tipo o nivel y su diseño.

4.1 Nivel de la investigación.

Balestríni M. (2006), dice que la investigación aplicada o también referida como proyecto factible “Consiste en una proposición sustentada en un modelo operativo factible, orientada a resolver un problema planteado o a satisfacer necesidades en una institución o campo de interés nacional” (p.130).

Esta investigación es del tipo proyecto factible, ya que luego de analizar la estabilidad de los taludes sumergidos realiza una proposición sustentada para proteger la ribera del río Caris en el área de estudio donde en el futuro la comunidad de Tabare planifica desarrollar un área de balneario para turistas.

4.2 Diseño de la investigación.

4.2.1 Investigación documental

.

Según el autor (Arias, 2012), define: la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos

secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas, como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

Arias, F. (2012) señala que “La investigación documental es un proceso en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica, e interpretación de datos secundarios”. De acuerdo con las características que presenta el estudio, según el diseño de la investigación es de tipo documental y de campo, ya que se utilizarán y analizarán los datos hidroclimáticos captados y registrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), además se apoyará en la consulta, uso y análisis de material cartográfico existente de la zona en cuestión, que serán parte de las bases teóricas del estudio, siendo este el primer paso de la estrategia documental.

4.2.2 Investigación de campo

Palella y Martins, (2010), define: La Investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta.

Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. No obstante, son los datos primarios obtenidos a través del diseño de campo, los esenciales para el logro de los objetivos planteados.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

Se entiende por población el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (Arias, 2006).

La población o universo a estudiar, se concibe como el espacio de donde se extraerá la muestra que se va a utilizar en la investigación. En este sentido, Balestrini, (2006), expresa que: “una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación”.

En el presente caso se considerará como población de la investigación todas las características y materiales de taludes y riberas de un tramo del río Caris, así como también las características del flujo presentes.

4.3.2 Muestra de la investigación

La muestra es un “subconjunto representativo de un universo o población.” (Morlés, 1994).

Sin embargo, no todas las muestras resultan útiles para llevar a cabo un trabajo de investigación. Lo que se busca al emplear una muestra es que, observando una porción relativamente reducida de unidades, se obtengan conclusiones semejantes a las que lograríamos si estudiáramos el universo total. Cuando una muestra cumple

con esta condición, es decir, cuando nos refleja en sus unidades lo que ocurre en el universo, la llamamos muestra representativa. Sus conclusiones son susceptibles de ser generalizadas al conjunto del universo, aunque para ello debemos añadir un cierto margen de error en nuestras proyecciones. Casi todas las muestras que se utilizan en las investigaciones son muestras representativas. (Galtung, 1971).

La muestra de la presente investigación será considerada de igual tamaño que la población por considerarse esta de dimensiones finitas y mensurables.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para obtener información relevante proveniente de la realidad objeto de estudio será necesario utilizar distintos instrumentos de recolección, como lo define Sabino, (2006): “Un instrumento de recolección de datos, en un principio es cualquier recurso del que se vale un investigador para acercarse a fenómenos y extraer de ellos información”. En tal sentido, y en relación a los objetivos definidos en el presente estudio ubicado en un contexto de investigación proyectiva, se utilizarán diversas técnicas de recolección de datos para cumplir con las metas propuestas.

4.4.1 Técnicas de recolección de datos

4.4.1.1 Revisión y análisis documental.

La revisión literaria, permitirá extraer las bases teóricas y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto, como lo expresa Tamayo, (2006): “la revisión Literaria es el fundamento de la parte teórica de la investigación y permite conocer a nivel documental las investigaciones relacionadas con el problema planteado”.

4.4.1.2 Observación directa

Tamayo, (2006), define observación directa como: “Aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”.

Mediante la observación directa, se hará un reconocimiento visual del área de estudio a fin de verificar las condiciones en las que se encuentra en cuanto a la topografía, vegetación, condiciones de las riberas, e infraestructuras civiles presentes en el sector.

4.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Entre los instrumentos relevantes utilizados para la captación de datos y el desarrollo de la investigación se tienen:

- Equipo topográfico (teodolito, mira, cinta métrica, brújula, gps, jalón, entre otros.)
- Equipo de computación.
- Programas de aplicación (Autocad, HEC-RAS, Word, Excel, Powerpoint, etc.).
- Equipo de muestreo de suelos (pala, bolsas, marcadores, cordeles, etc).
- Equipo de laboratorio (tamices, tamizadora, balanza, microscopio, horno, etc.).

4.5 Flujograma de la metodología de trabajo.

A fin de realizar la investigación con mayor eficiencia y cumplir con los objetivos propuestos para la elaboración del proyecto factible antes mencionado en el río Caris, municipio Independencia, estado Anzoátegui., se plantean las siguientes actividades.

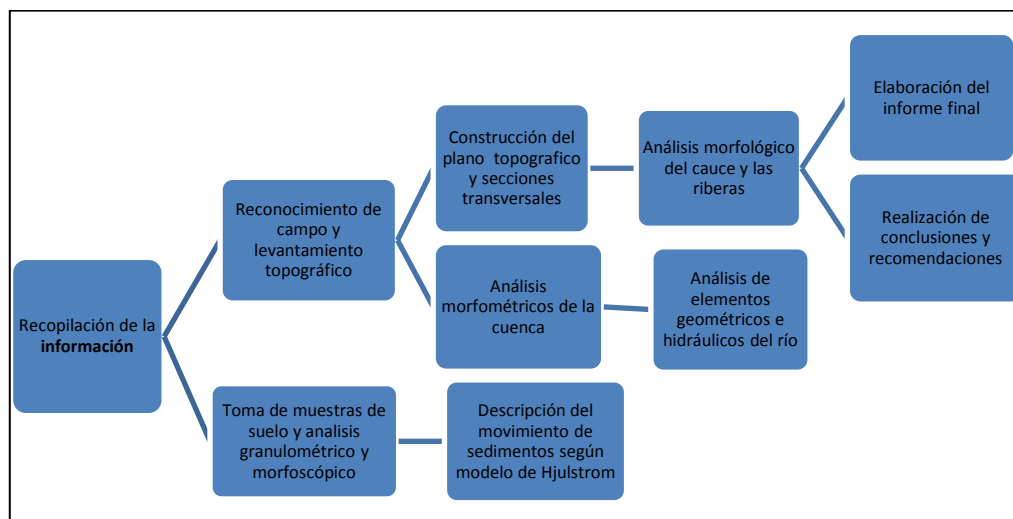


Figura 4.1 Flujograma de la investigación

4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

A continuación se describirá la metodología que ha sido esquematizada en el flujograma antes presentado.

4.6.1 Recopilación de la información y reconocimiento de campo

Esta actividad comprendió la recopilación y consulta de toda la información tanto bibliográfica como cartográfica existente del área de estudio, que sirve de base en la elaboración de la investigación.

En la parte bibliográfica fueron revisados trabajos de investigación y libros relacionados al tema de estudio, información extraída en la biblioteca de la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar. Además de trabajos de investigación publicados en la web referentes a esta investigación.

En cuanto a la inspección en campo, esta se realiza para la selección del área definitiva de trabajo y la escogencia de la mejor estrategia para la ejecución de las actividades en campo.

4.6.2 Caracterización actual del talud de la ribera derecha

Se efectuará el reconocimiento en campo de las condiciones en que se encuentran los taludes de las riberas del río Caris en la zona evaluada.

4.6.3 Caracterización textural de los sedimentos

En primer lugar se efectuará un muestreo de los materiales del lecho del río Caris. Posteriormente se les realizará los análisis de laboratorio respectivos para obtener su distribución granulométrica mediante un análisis granulométrico por tamizado y la forma de las partículas mediante un análisis morfosκόpico.

4.6.4 Caracterización geomorfológica de la cuenca y del cauce

Para el logro de este objetivo se determinarán los parámetros morfométricos de la cuenca utilizando para ello las cartas de la serie 7441 de escala 1:100000 y 1:25000 emitidas por la Dirección de Cartografía Nacional correspondientes a la zona de estudio. En ella se delimitará la cuenca del río Caris y se medirán y calcularán su área, perímetro, longitud del cauce, longitud axial, pendiente de la cuenca y del cauce, factor forma y coeficiente de compacidad.

Por otra parte, en campo se realizará un levantamiento topográfico taquimétrico con Nivel Abney, mira, cinta métrica y jalón apoyado en puntos cuyas coordenadas se determinarán con GPS. El levantamiento topográfico se realiza para determinar las coordenadas UTM y las cotas de varios puntos (colineales) que estarán ubicados a lo

largo de líneas imaginarias trazadas perpendicularmente al eje del cauce de la quebrada (denominadas secciones transversales) y separadas entre 20 y 30 metros entre ellas aproximadamente. Estas cotas y coordenadas se representarán en el plano y permitirán la interpolación y trazado de las curvas de nivel topográfico.

Con esta información se construirá el plano topográfico de la zona en estudio, las secciones transversales del cauce y el perfil longitudinal. Todos estos productos del levantamiento topográfico serán analizados para describir la geomorfología de la zona en estudio.

4.6.5 Determinación de la estabilidad de los taludes sumergidos

A tal efecto, se aplicará el método de la fuerza tractiva para la determinación del grado de estabilidad de los taludes sumergidos adyacentes a las riberas en el tramo analizado del río Caris.

4.6.6 Dimensionamiento de la protección del talud

En vista de que los sedimentos solo se movilizarán cuando por el río fluya agua con una velocidad que proporcione la energía suficiente, se determinará el caudal que aportará la cuenca mediante la aplicación del método de los hidrogramas unitarios considerando las curvas de Intensidad – duración y frecuencia de las precipitaciones presentadas por el MOP (1963) en Arocha, S (2012). Luego con las características geométricas del cauce y el caudal se efectuará el modelamiento hidráulico de los flujos lo cual permitirá posteriormente simular el movimiento de los sedimentos utilizando el modelo matemático de Hjulstróm.

Finalmente conocidas las condiciones del flujo, de los sedimentos, y de la estabilidad de los taludes se podrá proponer las medidas de protección necesarias para la defensa de los taludes ante las posibles agresiones del flujo del agua.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se mostrarán los productos o informaciones generadas a partir de los datos obtenidos y procesados según la metodología planteada en el capítulo anterior.

5.1 Condiciones actuales de los taludes del tramo evaluado

El tramo evaluado presenta características de alineación recta con leve tendencia a la sinuosidad. En dicho sector se puede observar, en la ribera derecha descendente, taludes de aproximadamente 3 a 4 m de altura que se extienden unos 100 m aproximadamente, con una inclinación entre 50° y 80° aproximadamente. Por otra parte, en la ribera izquierda descendente, se observan terrazas aluviales que separan el flujo del río de terrenos anegadizos cubiertos por el bosque de galería.

Los taludes muestran tres estratos diferenciados: en la parte superior, la capa vegetal (compuesta de humus, arena fina, residuos vegetales, etc.) tiene un espesor que oscila entre los 0 y 30 cm aproximadamente. La segunda capa, que se extiende hasta una profundidad de 2,5 m, constituida por arenas medias consolidadas de color marrón claro amarillento. Finalmente, el tercer estrato de color marrón oscuro, se extiende desde los 2.5 m hasta una profundidad que supera el nivel del agua. Es decir, que gran parte del mismo se encuentra saturado por encontrarse bajo el nivel del agua. Cabe destacar, que este último estrato, muestra evidencias, en su parte inferior, de la socavación producida por efecto de las corrientes fluviales.

Todos los estratos, a excepción de la capa vegetal, se muestran como capas competentes y consolidadas que pueden constituir taludes con ángulos casi verticales

sin que se ponga en peligro la integridad física de dicho talud. Sin embargo, los efectos de la socavación producida, por el flujo del agua del río Caris, sobre el horizonte estratigráfico que está en la parte inferior del talud, ocasiona que la pérdida de sustentación de los estratos superiores, colapsen o se desplomen por gravedad dentro de la corriente fluvial (Figura 5.1).

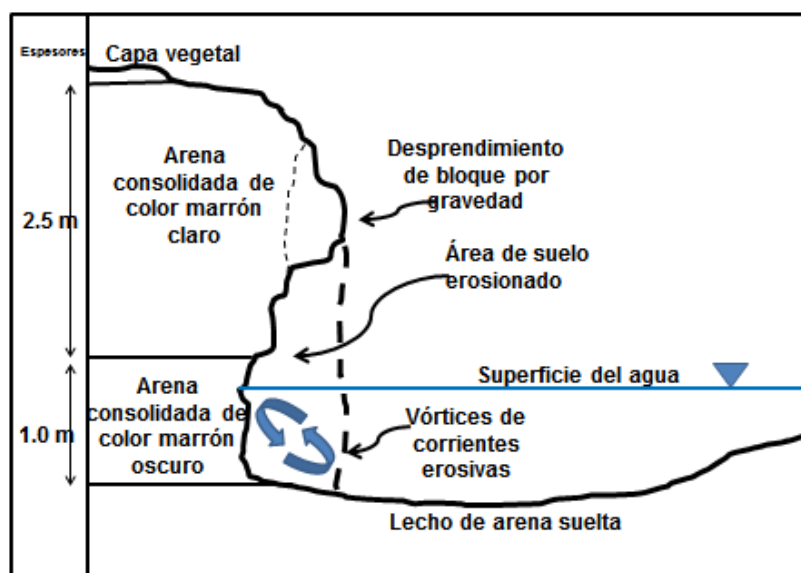


Figura 5.1 Esquema de proceso de socavación en el talud de la ribera derecha descendente del tramo evaluado de la cuenca media del río Caris.

5.2 Caracterizar geotécnicamente los sedimentos del talud

Para la determinación de las características de los parámetros texturales de los materiales del lecho del tramo estudiado del río Caris, se tomaron cuatro (4) muestras (dos de ellas en los taludes erosionados y dos en el centro del cauce del río) utilizando como guías las secciones transversales topográficas medidas (Tabla 5.6). Cada una de las muestras fue envasada, etiquetada y transportada al laboratorio de Hidráulica y Mecánica de los fluidos de la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente. Una vez ingresadas las muestras se les realizó análisis granulométrico según

la norma ASTM 421-58 y 422-63 y análisis morfométrico de las partículas para determinar la redondez o angularidad de las mismas respectivamente.

Tabla 5.1 Coordenadas de ubicación de las muestras de suelos.

Muestra	Coordenadas UTM		Observación
	Este	Norte	
1	406987,44	930918,58	Muestra del talud que emerge
2	406985,88	930967,12	Muestra del talud que emerge
3	406987,44	930918,58	Muestra del talud sumergido
4	406985,88	930967,12	Muestra del talud sumergido

Para la toma de las muestras se requirió de los siguientes materiales, herramientas y equipos para la recolección de muestras:

- GPS,
- bolsas plásticas
- cinta métrica
- Palas
- marcadores de tinta indeleble
- cinta adhesiva.
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica

En las representaciones gráficas mostradas en las figuras 5.3 a 5.6, derivadas a partir de las tablas B1 hasta la B4 (Apéndice B), se presentan las curvas granulométricas resultantes de los ensayos granulométricos (por vía mecánica) efectuados a todas las muestras. Cabe destacar que en todas las muestras, se observó un comportamiento similar, que los materiales predominantes del cauce son arenas con un $D_{10}= 0,17$ mm, $D_{30}= 0,25$ mm, $D_{50} = 0,36$ mm, y $D_{60}=0,50$ mm aproximadamente. De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el

Coeficiente de Uniformidad (C_u) será 2,94 y el Coeficiente de Concavidad (C_c) será de 0,73, de lo cual se deduce que las muestras se corresponden con arenas mal gradadas (SP).



Figura 5.2 Tamizado de muestras de suelos.

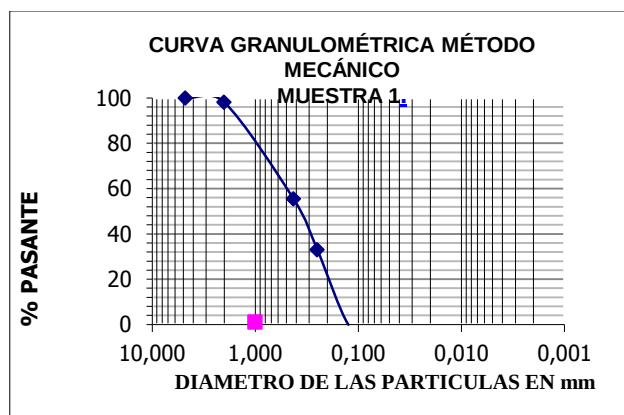


Figura 5.3 Curva de distribución granulométrica de la muestra 1.

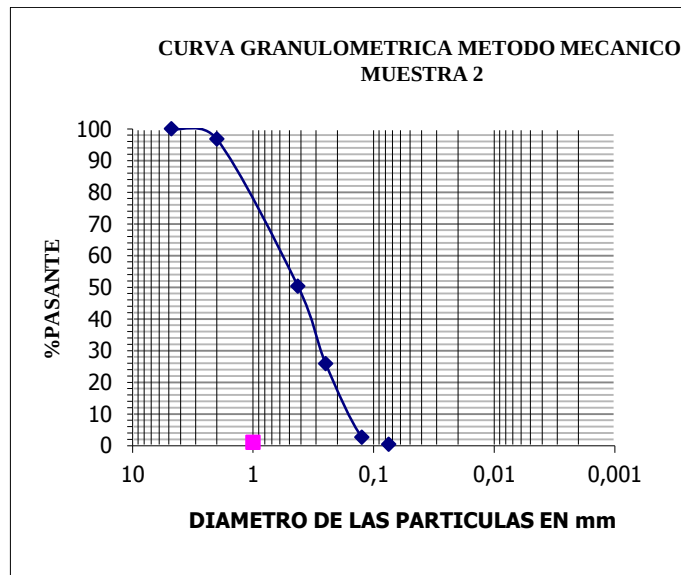


Figura 5.4 Curva de distribución granulométrica de la muestra 2.

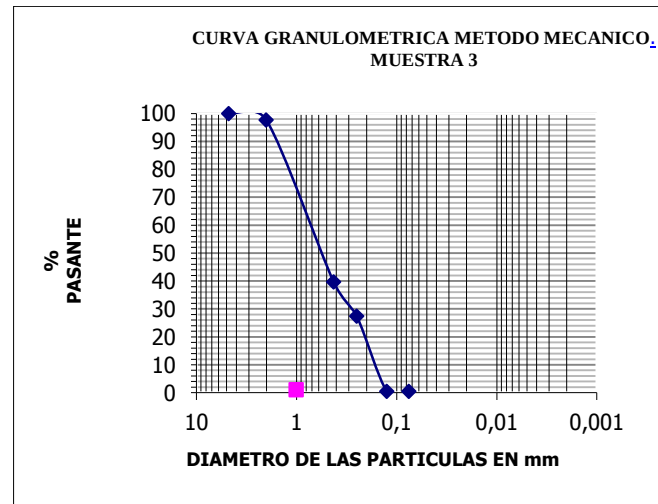


Figura 5.5 Curva de distribución granulométrica de la muestra 3.

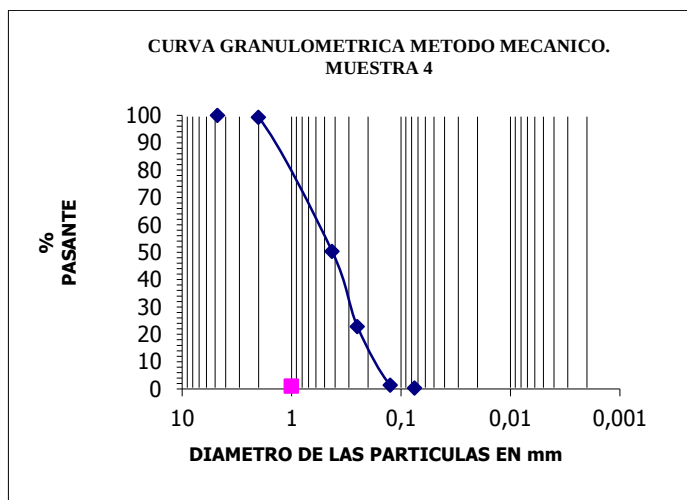


Figura 5.6 Curva de distribución granulométrica de la muestra 4.

5.3. Describir la geomorfología del área en estudio

El paisaje y relieve del río Caris pertenece al ambiente fluvial, el relieve está íntimamente controlado por dos factores: el clima y los sedimentos, sin embargo, también intervienen factores como la meteorización, la erosión y la erosión antrópica (generada por el hombre), se caracteriza por una topografía generalmente plana y ligeramente inclinada que abarca extensiones considerables dentro de la cuenca y sus alrededores, entre los tipos de relieve predominantes se destaca la llanura de inundación. Las llanuras de las planicies que bordean el río Caris son de carácter eventualmente inundable durante el período de lluvias, cuando esto ocurre el líquido se torna de un color marrón claro debido a la carga de sedimentos en suspensión que viajan pendiente abajo, en época de sequía el río mantiene someras profundidades de agua dejando en evidencia aguas claras que permiten observar su lecho plano a lo largo de todo el tramo en estudio.

El movimiento de los sedimentos y la erosión o deposición en el lecho del río Caris depende en gran parte de las condiciones climáticas, es por ello que este río se

encuentra en un constante cambio, no solamente cambios estacionales como sequías y lluvias, también cambios de mediano y largo plazo. El modelo de drenaje es dendrítico debido a los numerosos afluentes que tiene el río, en su sistema los sedimentos se acumulan debido a la acción del canal principal y de la inundación periódica de la planicie adyacente, formando dos tipos de depósitos: depósito de canal, compuestos de materiales gruesos que el río puede mover o transportar durante los períodos de máxima capacidad de las corrientes, incluye gravas, material vegetal y lodo que se erosiona de las paredes del canal y depósito de planicies de inundación, constituidos por sedimentos finos depositados por suspensión a partir de las aguas que inundan la planicie adyacente al canal estos depósitos tienden a desarrollar poco espesor.

El río Caris es de cauce meandrante donde presenta curvas alternadas unidas por tramos rectos y cortos su pendiente es baja lo que genera la formación de barras laterales y centrales y el aumento de curvatura de los meandros. Sin embargo, el tramo evaluado de la cuenca media del río Caris, es de naturaleza casi recto a levemente sinuoso (Figuras 5.7, 5.8 y 5.9).

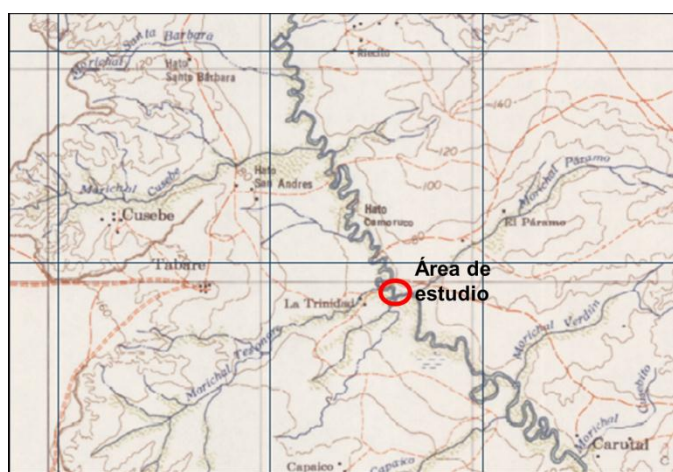


Figura 5.7 Naturaleza meandrante y dendrítica del río Caris en las adyacencias del área de estudio. (IGVSB, 2010).

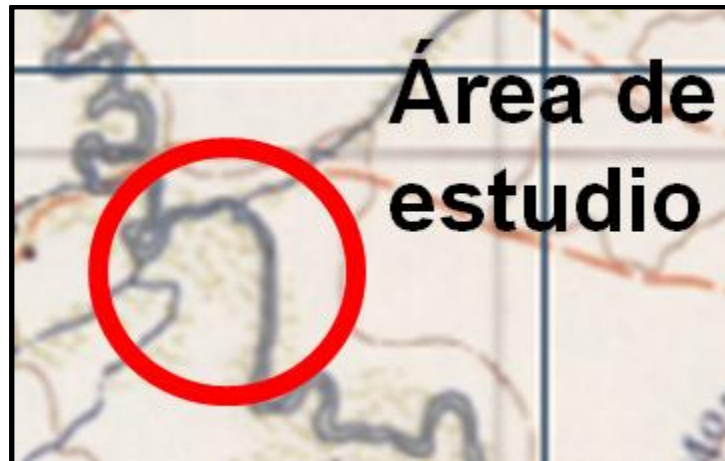


Figura 5.8 Tramo recto a sinuoso entre los tramos de meandros del río Caris (IGVSB, 2010).

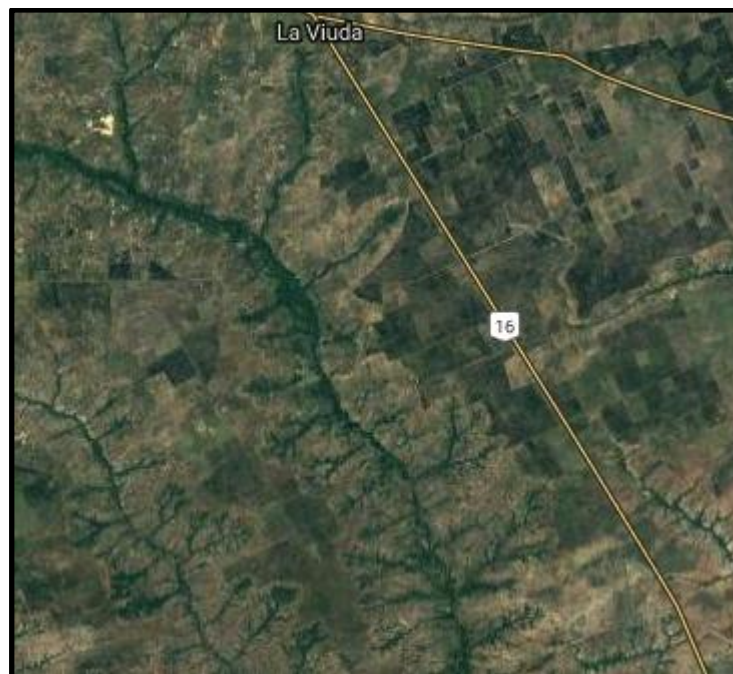


Figura 5.9 Imagen de satélite Landsat de la cuenca media del río Caris, se observa drenaje dendrítico (Google Earth, 2016).

Se realizó un levantamiento topográfico de carácter expeditivo con teodolito, mira, cinta métrica, brújula y jalón para la construcción de secciones transversales al

eje longitudinal del cauce (Figuras 5.16 a 5.22). Asimismo, se construyó un plano topográfico (Anexo 1) con la información de este levantamiento.

De la interpretación de las secciones topográficas se pudo observar que el tramo evaluado de la cuenca media del río Caris posee una pendiente baja en el orden de 0,005 m/m. También se pudo observar, en las zonas de baja profundidad, la presencia de lechos planos.

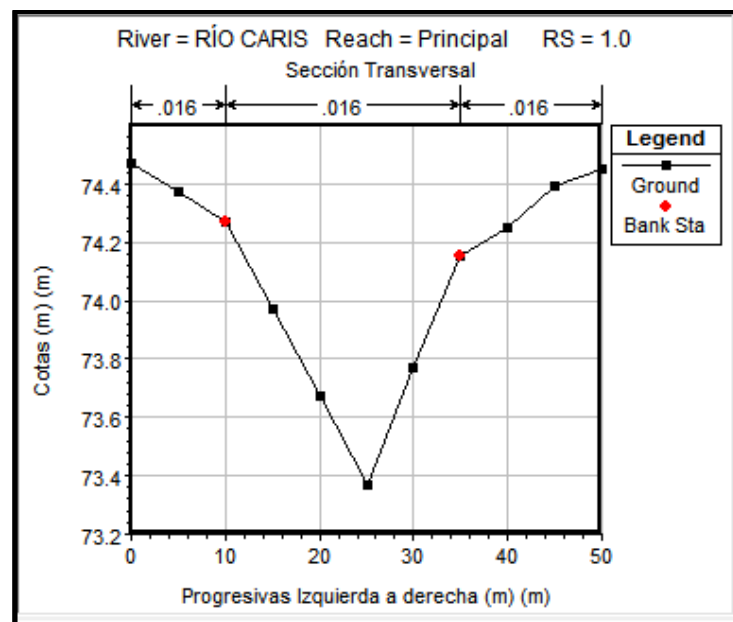


Figura 5.10 Sección Transversal 1 del tramo evaluado del río Caris.

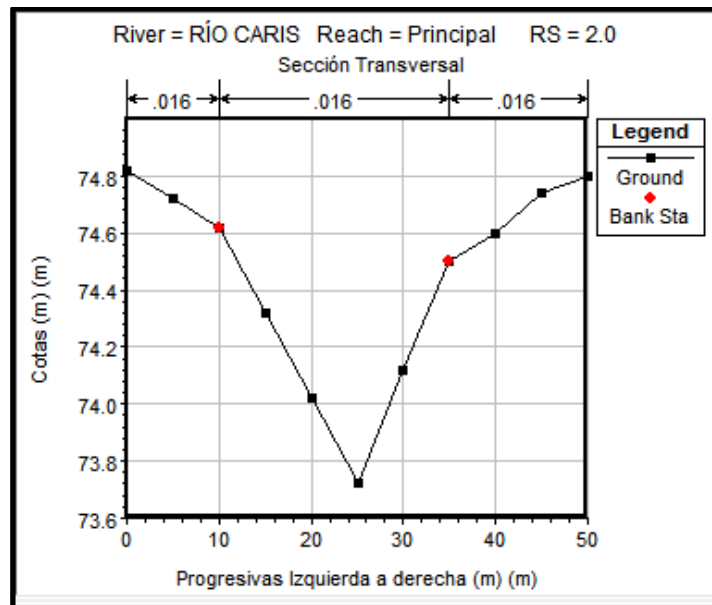


Figura 5.11 Sección Transversal 2 del tramo evaluado del río Caris.

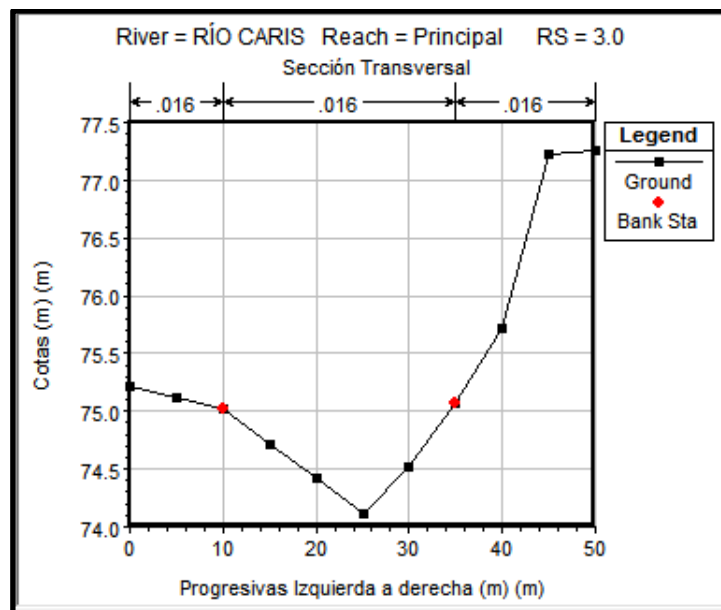


Figura 5.12 Sección Transversal 3 del tramo evaluado del río Caris.

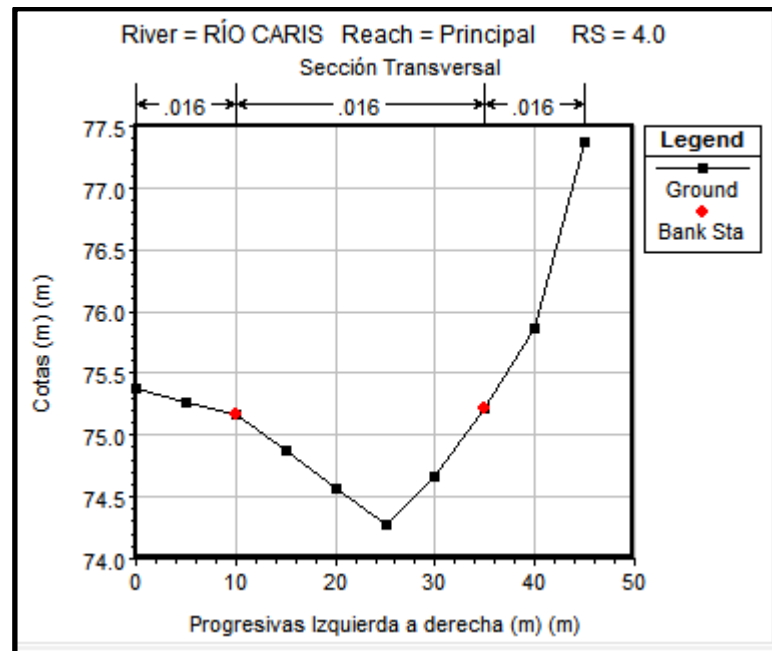


Figura 5.13 Sección Transversal 4 del tramo evaluado del río Caris.

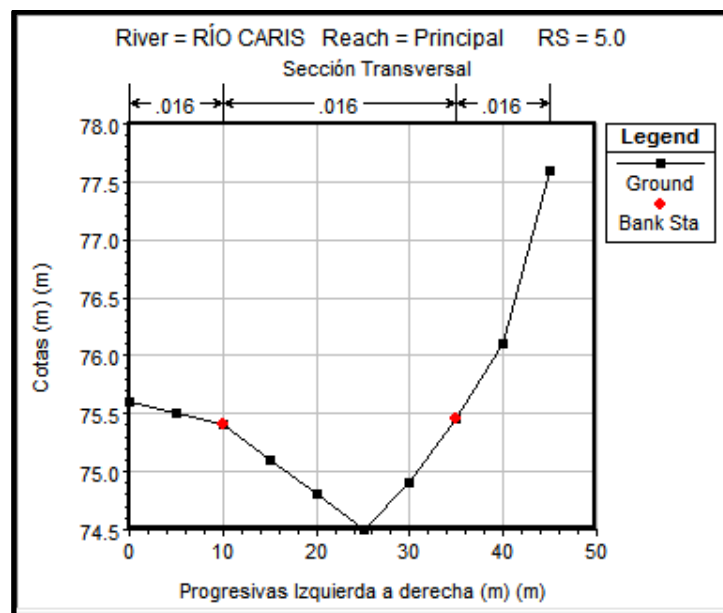


Figura 5.14 Sección Transversal 5 del tramo evaluado del río Caris.

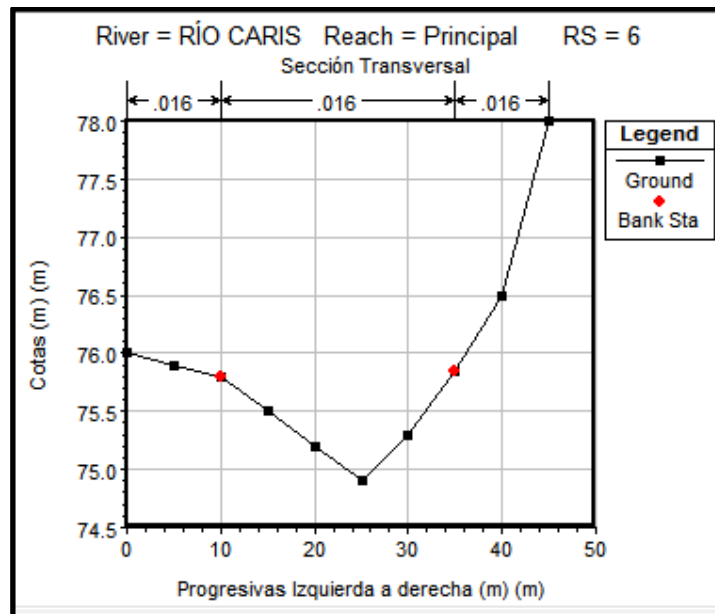


Figura 5.15 Sección Transversal 6 del tramo evaluado del río Caris.

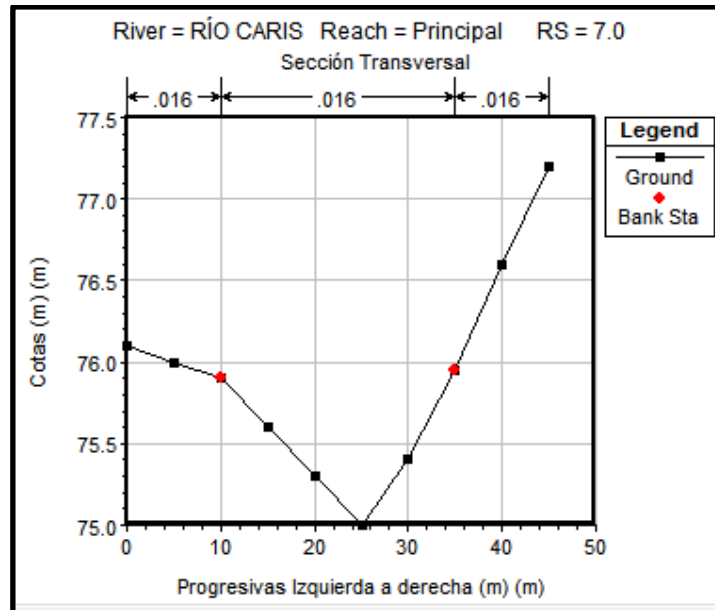


Figura 5.16 Sección Transversal 7 del tramo evaluado del río Caris.

5.4. Características de la corriente del río Caris en el área de estudio

Para describir las características del flujo del agua que se produce en el cauce del tramo del río en estudio, se determinarán en primer lugar los parámetros morfométricos, hidrológicos e hidráulicos de la cuenca. En ese sentido, se delimitó la cuenca en el mapa hidrográfico del estado Anzoátegui a escala 1:250000 emitida por la Dirección de Cartografía Nacional, la cual se presenta a continuación en la Figura 5.17:



Figura 5.17 Cuenca del río Caris hasta la zona de estudio.

Basándose en la gráfica de la cuenca se presenta en la tabla 5.2 los parámetros morfométricos de la cuenca:

Tabla 5.2 Parámetros morfométricos de la cuenca media y alta del río Caris.

Variable	Origen o Fórmula	Valor	Unidad	Interpretación
Área (A)	Del plano	2704,00	Km ²	Cuenca muy pequeña
Perímetro (P)	Del plano	213,20	Km	
Ancho (An)	$An = A/L$	36,08	Km	
Longitud (L)	Del plano	74,94	Km	
Orientación (O)	Del plano	NW-SE		Noroeste – Sureste
C. Compacidad (Cc)	$Cc = P/(2(\pi A)^{1/2})$	1,157		Ovalada oblonga
R. Elongación (Re)	$Re = (1.128(A)^{1/2})/L$	0,783		Cuenca plana con porciones accidentadas
Cota máxima	Del plano	220	m	Alturas máximas y mínimas
Cota mínima	Del plano	70	m	
Pendiente media (Smax)	$Smax = \Delta cota/L$	0,002	%	Moderada
Long. Del cauce principal (Lcp)	Del plano	85,28	Km	Cuenca muy pequeña
Dif. Altura	Cota max – cota min	150	M	
T. concentración (Tc)	$Tc = 0,0195(L^3H)^{0,385}$	1209	Min	
Factor forma (Ff)	$Ff = A / L^2$	0,481		Cuenca alargada

El área total de la superficie de la cuenca se encuentra cubierta fundamentalmente por bosques de galería, sabanas arbustivas y suelos cultivados. De acuerdo a los coeficientes de escorrentía presentados por Benitez (1980) y según la topografía del terreno (pendiente: 1 a 5%), en la tabla siguiente (Tabla 5.3) se muestran valores adecuados de coeficientes de escorrentía para los tipos de cobertura del suelo antes citados.

Tabla 5.3 Coeficientes de escorrentía (Benitez, 1980).

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Ahora bien, conociendo el área cubierta por cada tipo de cobertura, se puede determinar un coeficiente de escorrentía ponderado para toda la cuenca, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5.4 Determinación del coeficiente de escorrentía ponderado para toda la cuenca

Tipo de cobertura	Coeficiente de escurrimiento (Ce)	Area en ha (A)	Ce x A	Cep
Bosque de galería	0.35	2350	822,50	0,443
Gramíneas	0.40	150280	60112,00	
Suelo cultivado	0.50	117870	58935,00	
	Total	270400	119869,50	

5.4.1 Determinación del caudal de drenaje de la cuenca

A tal fin se aplicará el método del Hidrograma Unitario Triangular SCS el cual permitirá la obtención del caudal que aportará la cuenca. Es necesario acotar que el método racional no puede ser utilizado para el cálculo del caudal de drenaje de la cuenca debido a que esta supera las 100 ha.

La determinación de la intensidad de las lluvias para períodos de retorno de 25 y 50 años se hará utilizando las curvas de intensidad, duración y frecuencia propuestas en el Manual de drenaje del MOP (1963) correspondientes a la zona hidrológica II y presentada en la figura siguiente:

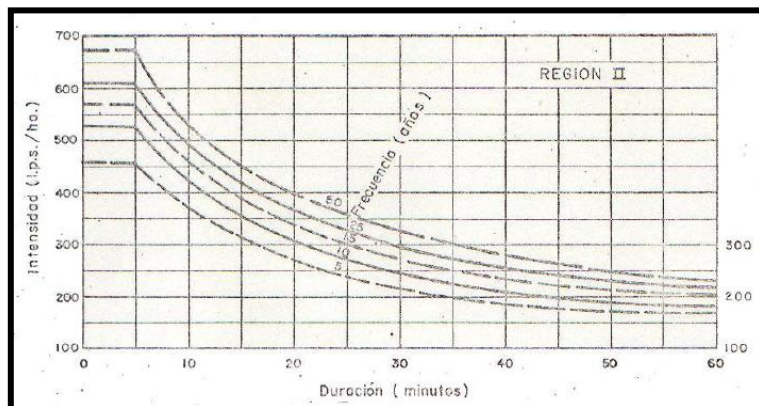


Figura 5.18 Curvas IDF para la región hidrológica II (Fuente: MOP, 1963).

Para un tiempo de concentración superior a 60 minutos tendremos intensidades de lluvia de 175lps/ha (62,95 mm/hr) y 200lps/ha (71,94 mm/hr) para períodos de retorno de 10 años y 25 años respectivamente.

Con la finalidad de construir el Hidrograma Unitario Triangular SCS, se procederá a continuación al cálculo de los parámetros involucrados de acuerdo a lo establecido en las ecuaciones (3.12) a (3.27) expuestas en el capítulo anterior. En ese sentido, tenemos los siguientes resultados:

Considerando un área de la cuenca de 2704 km^2 y un Tiempo de concentración (T_c) de 20 horas (1209 min) tenemos:

Tiempo al pico (T_p) = 13,4 horas = 804 min

Tiempo de base (T_b) = 35,8 horas = 2146,7 min

Tiempo de recesión (T_r) = 22,38 horas = 1342,7 min

Tiempo de retardo (T_L) = 12,51 horas = 750,4 min

Duración lluvia neta unitaria (ΔD) = 1,79 horas = 107,2 min

Caudal unitario (q_p) = $41,97 \text{ m}^3/\text{s}.\text{mm}$

En ese sentido, se dispone a continuación en la Figura 5.19, del Hidrograma Unitario Triangular SCS de la cuenca media y alta del río Caris:

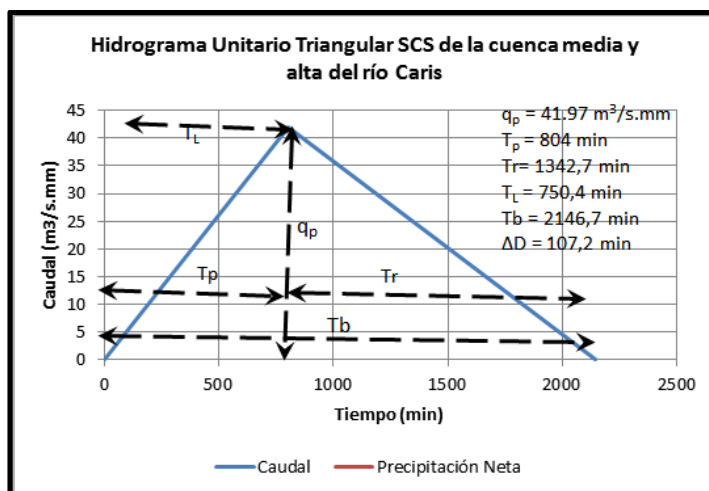


Figura 5.19 Hidrograma Unitario Triangular SCS de la cuenca media y alta del río Caris (Fuente: Propia).

Camacho (2012) propone calcular el caudal que aportará la cuenca a partir de la ecuación:

$$Q = (C \cdot I \cdot A \cdot T_c) / (1,33 \cdot 360 \cdot T_p)$$

Donde:

C = coeficiente de escurrimiento = 0,443

I = intensidad de lluvia = 175 mm/hr (para $T_r = 10$ años)

A = área de la cuenca = 270400 ha

T_c = tiempo de concentración = 20 hr

T_p = tiempo de ocurrencia del caudal pico = 13,4 hr

El caudal de drenaje de la cuenca para un período de retorno de 10 años (Q_{10}) sería de $65346 \text{ m}^3/\text{s}$ el cual supera las condiciones geométricas del cauce y generaría inundaciones hacia ambos lados del canal topográficamente levantado.

Cabe destacar que los niveles que alcanzaría la superficie del agua con el caudal estimado que se presentan en la simulación hidráulica utilizando el modelo matemático unidimensional permanente del programa HEC-RAS no se corresponden a las magnitudes reales ya que las condiciones de frontera de la topografía levantada de las riberas, no abarca las zonas inundables hacia ambos lados del cauce y todo el caudal se simuló sobre la superficie del cauce efectivamente levantada.

5.4.2 Determinación de las velocidades del flujo en el río Caris

Las velocidades del flujo se calcularán considerando la ocurrencia de crecidas con los períodos de retorno antes mencionados y se simularán utilizando el modelo de flujo permanente unidimensional liberado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América (USACE) conocido por el nombre de HEC RAS. Dicha aplicación computarizada considerará la geometría del cauce y los caudales para las crecidas antes estimadas (Tabla 5.5).

Tabla 5.5 Elementos geométricos e hidráulicos del tramo en estudio del río Caris

River Sta	Profile	Q Total (m^3/s)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m^2)	Top Width (m)	W.P. Channel (m)	Hydr Depth (m)	Froude # Chl
7.0	Tr=10 años	65345.99	30.78	3176.33	45.00	25.07	70.58	1.17
6	Tr=10 años	65345.99	30.76	3175.60	45.00	25.07	70.57	1.17
5.0	Tr=10 años	65345.99	30.78	3173.68	45.00	25.07	70.53	1.17
4.0	Tr=10 años	65345.99	30.77	3175.40	45.00	25.07	70.56	1.17
3.0	Tr=10 años	65345.99	30.96	3227.06	50.00	25.07	64.54	1.22
2.0	Tr=10 años	65345.99	31.03	3227.74	50.00	25.06	64.55	1.23
1.0	Tr=10 años	65345.99	31.04	3226.68	50.00	25.06	64.53	1.23

5.4.3 Cualificar el movimiento de los sedimentos

Para este propósito se utilizará el modelo de Hjulstrom.

Para el uso del modelo de Hjulstrum se deberá ingresar a la gráfica por el eje de las abscisas con el diámetro medio de las partículas (D_{50}) obtenido de las curvas granulométricas, para este caso se considerará como: 0.36 mm aproximadamente; y se prolongará la línea vertical hasta interceptar las curvas limitantes que separan las zonas de sedimentación, transporte y erosión. Desde estas intercepciones se trazan líneas horizontales hasta el eje de las ordenadas para obtener las velocidades requeridas del flujo para mantener en movimiento las partículas o para generar erosión.

En ese sentido, se puede observar en la tabla 5.6 las velocidades límites para producir la erosión o sedimentación de los materiales del lecho con un $D_{50} = 0,36$ mm:

Tabla 5.6 Velocidades de flujo límite que producirían erosión, transporte o sedimentación

Condición de Movimiento	Velocidad del flujo
Erosión	>24 cm/s
Transporte	$2,2$ cm/s $<V<24$ cm/s
Sedimentación	$< 2,2$ cm/s

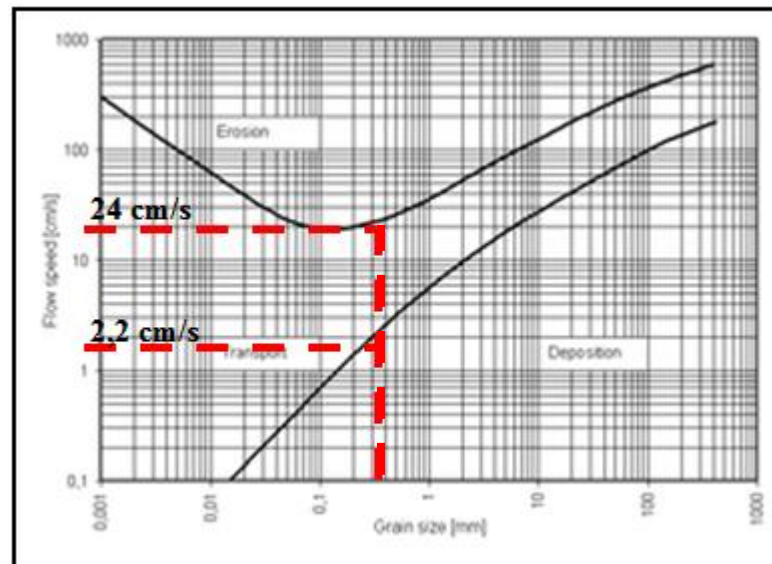


Figura 5.20 Aplicación del Diagrama de Hjulstrom.

Cabe destacar que para las avenidas que se producen en períodos de retorno de 10 años o más, producirían velocidades de flujo superiores a las necesarias para ocasionar el movimiento de los sedimentos.

5.5 Estabilidad del talud sumergido de la ribera derecha

Para la determinación de la estabilidad del talud sumergido del río mediante la aplicación del método de la fuerza tractiva se utilizará la la siguiente nomenclatura:.

S = Pendiente longitudinal (adimensional)

R = Radio hidráulico de la sección (m)

$\bar{V}$ = Velocidad media del flujo (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning del lecho

b = Ancho de la base del canal (m) =

45 m

y = Profundidad del río (m)=

1.00 m

z = Pendiente lateral (adimensional)=

82

ϕ = Angulo de la pendiente lateral ($^{\circ}$) =	82 $^{\circ}$
θ = Ángulo de reposo de la partícula ($^{\circ}$)=	30 $^{\circ}$
r = Radio de la partícula (cm)=	0.02125 cm
ϕ = Diámetro de la partícula (cm)=	0.0425 cm
γ_w = Peso específico del agua=	62.4 lbf/ft ³
D = Densidad de la partícula (gr/cm ³)=	0.41gr/cm ³
W = Peso sumergido de la partícula (lb)	
a = Área efectiva de la partícula pie ²	
v = Volumen de la partícula (cm ³)	
K = Relación de fuerza tractiva (adimensional)	
τ_o = Fuerza tractiva máxima unitaria en los taludes (lb/pie ²)	
τ_s = Fuerza tractiva unitaria en los taludes del canal (lb/pie ²)	
τ_l = Fuerza tractiva unitaria en el fondo del canal (lb/pie ²)	

5.5.1 Cálculo de área efectiva de la partícula

$$a = \pi r^2$$

$$a = \pi (0.02125 \text{ cm})^2$$

$$a = 1.42 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$$

$$a = 1.52 \times 10^{-6} \text{ pie}^2$$

5.5.2 Cálculo del volumen de la partícula

Se procede a calcular el volumen de la partícula, asumiendo el volumen de una esfera.

$$v = \frac{1}{4} \pi r^3$$

$$v = \frac{1}{4} \pi (0.0212 \text{ cm})^3$$

$$v = 7.54 \times 10^{-6} \text{ cm}^3$$

5.5.3 Cálculo del peso de las partículas

$$D = \frac{W}{v} \Rightarrow W = D \times v$$

$$W = 0.41 \text{ gr/cm}^3 \times 7.54 \times 10^{-6} \text{ cm}^3$$

$$W = 3.09 \times 10^{-6} \text{ gr}$$

$$W = 6.81 \times 10^{-8} \text{ lb}$$

5.5.4 Cálculo del método de fuerza tractiva

Datos:

b= 45 m

$$y = 1 \text{ m} = 3.28 \text{ pie}$$

$$V = 0.24 \text{ m/s} = 0.787 \text{ pie/s}$$

$$Z = 0.1405$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$\phi = 82^\circ$$

$$n = 0.020$$

$$\gamma_w = 62.4 \text{ lbf/pie}^3$$

5.5.4.1 Radio hidráulico de la sección

$$R = \frac{(b + zy) y}{b \sqrt{1 + z^2}}$$

$$R = [(45 \text{ m} + 0.1405(1 \text{ m})) 1 \text{ m}] / [(45 \text{ m} \times 2 \times 1 \text{ m}) (1 + 0.1405^2)^{1/2}]$$

$$R = 0.4967 \text{ m} = 1.63 \text{ pies}$$

5.5.4.2 Pendiente longitudinal del tramo

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \Rightarrow S = \left(\frac{V \times n}{1.49 \times R^{2/3}} \right)^2$$

$$S = [0.787 \text{ pie/s} \times 0.02] / [1.49 \times (1.63 \text{ pies})^{2/3}]^2$$

$$S = 0.017$$

5.5.5 Fuerza tractiva unitaria en el talud

$$\tau_s = \frac{W}{a} \cos \phi \tan \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}}$$

$$\tau_s = [6.81 \times 10^{-8} \text{ lbf} / 1.52 \times 10^{-6} \text{ pie}^2] \times (\cos 20^\circ \times \tan 30^\circ) \times [(1 - ((\tan 20^\circ)^2 / (\tan 30^\circ)^2))]^{1/2}$$

$$\tau_s = 0.019 \text{ lbf/pie}^2$$

5.5.6 Fuerza tractiva unitaria en el fondo del canal

$$\tau_l = \frac{W}{a} \tan \theta$$

$$\tau_l = \frac{6.81 \times 10^{-8} \text{ lb}}{1.52 \times 10^{-6} \text{ pie}^2} \tan 30^\circ$$

$$\tau_l = 0.026 \text{ lb/pie}^2$$

5.5.7 Relación de fuerzas tractivas unitarias

$$K = \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \theta}}$$

$$K = [(1 - ((\tan 20^\circ)^2 / (\tan 30^\circ)^2))]^{1/2}$$

$$K = 0.532$$

5.5.8 Fuerza tractiva máxima unitaria en términos de $(\gamma_w y S)$

$$\tau_L = \gamma_w y S$$

$$\tau_L = 62.4 \text{ lbf/pie}^2 \times 3.28 \text{ pie} \times 0.017$$

$$\tau_L = 3.479 \text{ lbf/pie}^2$$

5.5.9 Fuerza tractiva unitaria en términos de $\gamma_w y S$ en los taludes del canal

$$\tau_s = K \gamma_w y S \cos \phi$$

$$\tau_s = 0.532 \times 3.479 \text{ lbf/pie}^2 \times \cos 20$$

$$\tau_s = 1.74 \text{ lbf/pie}^2$$

Es importante resaltar que los valores de la fuerza tractiva unitaria en el fondo del canal es mayor a la fuerza tractiva unitaria en el talud, es decir:

$$\tau_l > \tau_s$$

Tabla 5.7 Valores de velocidad, rugosidad y elementos geométricos de la sección del río

Sección	Talud	R (m)	S	V (m/s)	n	b (m)	y (m)	z
Aguas arriba	Ribera derecha	0.4967	0.017	0.24	0.020	45	1.0	2.74

Tabla 5.8 Valores de fuerza tractiva máxima unitaria

Sección	Talud	W (lb)	A (pie ²)	ϕ (°)	θ (°)	γ_w (lb/pie ³)	τ_s (lb/pie ²)
Aguas arriba	Ribera derecha	$6.81 \cdot 10^{-8}$	$1.52 \cdot 10^{-6}$	20	30	62.4	0.019

Tabla 5.9 Valores de fuerzas tractivas unitarias máximas en términos de γ_w y S

Sección	Talud	$\tau_s = K \gamma_w y S \cos \phi$ (lb/pie ²)	$\tau_i = \gamma_w y S$ (lb/pie ²)	K
Aguas arriba	Ribera derecha	0.019	0.026	0.532

5.6 Características geométricas de las obras de protección

Para la protección de los taludes de la ribera derecha descendente del tramo evaluado del río Caris, se analizarán opciones considerando las siguientes premisas:

- Idoneidad de la opción, es decir, verificando si cumpliría el cometido técnico de protección de los taludes, considerando las condiciones geotécnicas de los materiales ($D_{50} = 0,036$ mm y las características del flujo en condiciones de avenidas críticas.
- Disponibilidad de los materiales, elementos constructivos y equipos de construcción; es decir, verificar si existe la disponibilidad oportuna y cercana a los taludes objeto de estudio en la cuenca media del río Caris.
- Aplicabilidad de las técnicas constructivas; es decir, verificar si las condiciones de los taludes y de su entorno harían factible la aplicación de las técnicas constructivas necesarias.

- d. Costos constructivos en orden de magnitud; es decir, jerarquizar los costos de las distintas opciones.

5.6.1 Implantación de cobertura vegetal

La implantación de vegetación, en los taludes objeto de estudio en el río Caris, podría ser posible si la duración de la germinación y desarrollo de las plantas adquiriesen un nivel de crecimiento que garantice su fortaleza para el momento de inundación de los taludes durante el período de lluvias. Sin embargo, existen pocas probabilidades de que tal proceso pueda ocurrir con éxito en tan solo seis (6) meses que dura el período de sequía.

En vista de ello, se debería adoptar la estrategia del trasplante, lo cual consiste en la siembra de la planta completa después de germinada. Para el trasplante se deben escoger plantas con buena cantidad de raíces y las plantas deben arrancarse, manejarse, instalarse y mantenerse adecuadamente.

Las plantas pueden arrancarse de sitios donde crezcan en forma silvestre. Generalmente se recomienda que estos sitios se encuentren lo más cerca posible del área de siembra. Como estas plantas tienen raíces desnudas son muy vulnerables al secamiento y al daño del sistema radicular durante el transplante.

No se recomienda el uso de transplante de hierbas por su escasa energía de sujeción al nuevo suelo lograda en un ciclo hidrológico (antes de la ocurrencia del período de lluvias), ya que generalmente el flujo de la corriente del río intentará arrancarlas (Figura 5.21).

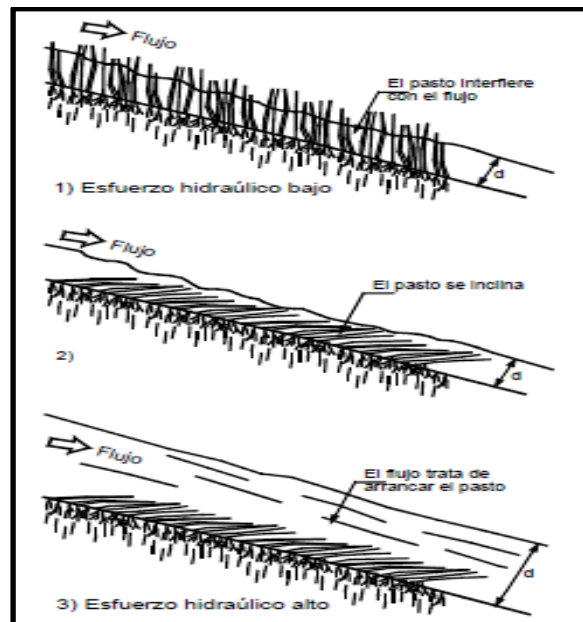


Figura 5.21 Susceptibilidad de las hierbas a la pendiente (Suarez, 2001).

La limitación evidente en los taludes objeto de estudio, radica el ángulo casi vertical que muestran y su superficie sin nutrientes. En vista de ello, se debería acondicionar el ángulo de inclinación del talud, cortándolo a un ángulo inferior de 45 grados aproximadamente y colocar nutrientes en la capa superior para garantizar la unión de las plantas al talud.

En taludes de alta pendiente adicionalmente a la vegetación propiamente dicha se requiere tener un sistema de estructura que se integre con esta vegetación. Esta estructura puede consistir en elementos que ayuden a sostener la vegetación mientras esta se establece y que favorecen la infiltración de agua y la humedad (Figuras 5.28 y 5.29).

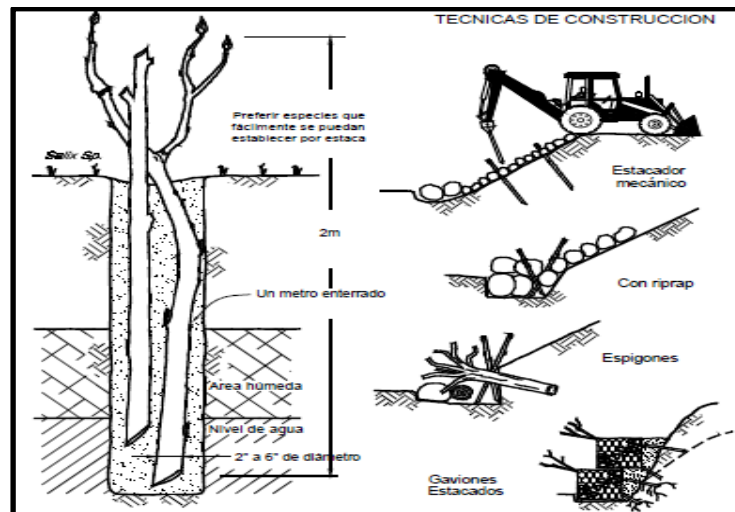


Figura 5.22 Transplante de estacas vivas (Suarez, J., 2001).

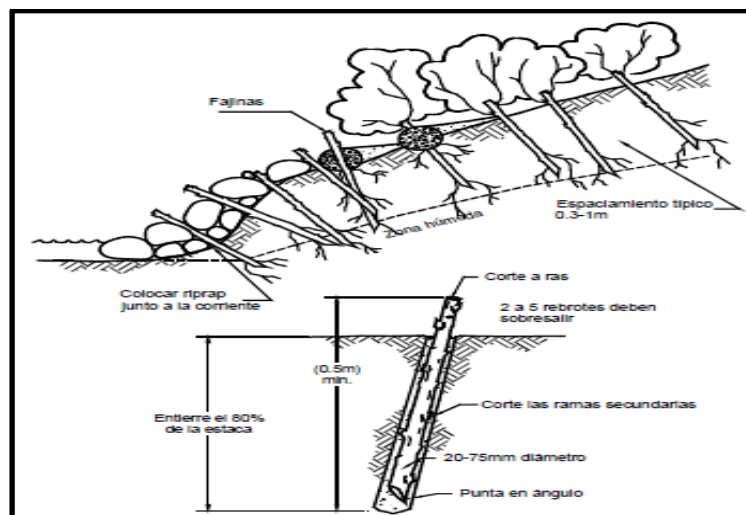


Figura 5.23 Control de erosión con estacas vivas (McCullah, 2000).

5.6.2 Uso de enrocado de protección

El enrocado o Riprap consiste en bloques o cantos de roca de diferentes tamaños con formas irregulares colocados sobre el talud a lo largo de la orilla de una corriente (Figura 5.24). La estabilidad del conjunto se proporciona por el peso de los bloques individuales y el entrelace entre ellos. El enrocado se utiliza cuando hay disponibilidad de roca en un sitio cercano; sin embargo, los taludes que han de ser protegidos, en el tramo de estudio de la cuenca media del río Caris, se hayan a una distancia de 55 km aproximadamente de los afloramientos de rocas duras más cercanos (canteras del municipio Heres del estado Bolívar) adecuadas para tal fin. Se prefieren las piedras con forma de bloque que las elongadas o redondeadas.

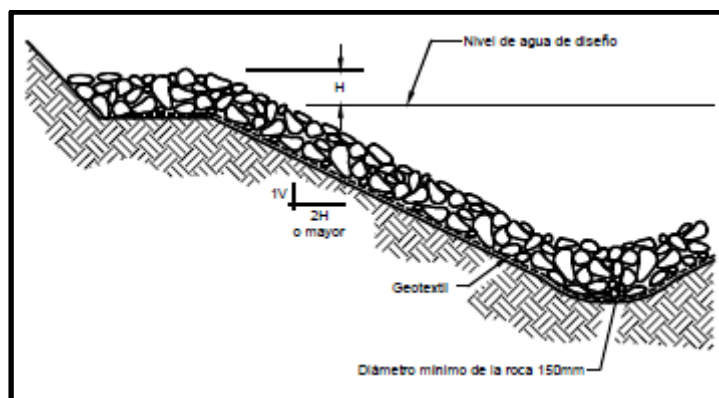


Figura 5.24 Revestimiento de enrocado típico sugerido (McCullah, 2000).

La pendiente máxima normalmente aceptada de una ribera para la colocación de enrocados es 2 H : 1V. En el caso de utilizar grandes bloques semi-rectangulares se permiten pendientes hasta 1.5 H : 1V (AASHTO1999). En el caso del presente estudio, los taludes a ser revestidos para su protección tienen ángulos de inclinación cercanos a los 90°, por lo que se debería efectuar procesos de corte de taludes por más de 60°. McCullah (2000) recomienda para pendientes similares a las de esta investigación opciones como los muros de contención.

5.6.3 Uso de pantallas o elementos de concreto

5.6.3.1 Elementos de adoquines de concreto

Los bloques prefabricados de concreto son utilizados con mucha frecuencia para el revestimiento de ríos en sitios de turbulencia baja a mediana como en el río Caris. Estos bloques son comúnmente utilizados para revestimientos en sitios donde no es posible conseguir bloques de roca y económicamente es mejor la prefabricación de bloques en concreto; sin embargo, es dudosa la afirmación que esta opción sea más económica que la obtención y colocación de bloques de roca.

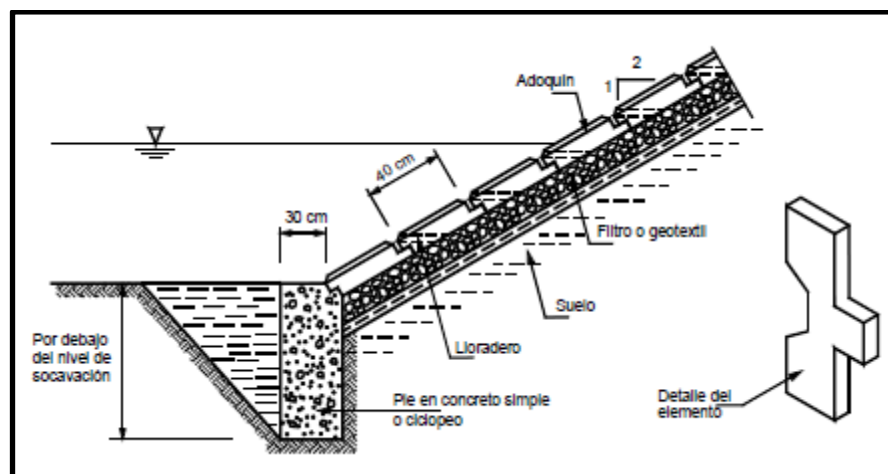


Figura 5.25 Esquema de protección con adoquines de concreto (Suarez, J., 2001).

Los bloques de concreto pueden ser libres o pueden estar entrecruzados o ligados por medio de cables. Los bloques simples pueden colocarse libremente sobre el talud apoyándose en su peso unitario y su fricción. Los bloques pueden estar entrelazados lo cual les da una mayor estabilidad. La estabilidad de estos bloques cuando no existen altas turbulencias depende principalmente de la velocidad del flujo, la densidad del concreto y el espesor de los bloques, siempre y cuando haya una buena unión entre ellos y el talud sea de suave pendiente.

El revestimiento con adoquines entremetidos es usado en taludes de pendientes menores a 1 H: 1V (45°). Se acostumbra colocarlos sobre geotextil o sobre grava arcillosa. Los adoquines son de gran tamaño y se recomienda construir un apoyo de concreto en el pie del talud.

5.6.3.2 Elementos de bolsacreto

Se llenan sacos de fibra de polipropileno o geotextil con mortero, concreto o suelo – cemento.. El revestimiento consiste en recubrir la superficie del talud con sacos rellenos superpuestos. (Figura 5.26). Uniendo estos elementos por superposición se construyen espigones, muros, presas y pantallas y revestimientos superficiales. El tamaño de los elementos depende de los requerimientos de cada proyecto en particular.

Estas bolsas tienen la ventaja que se pueden colocar bajo el agua. Se les emplea en sitios donde no se dispone de roca para protección. Generalmente se emplean sacos de fique o polipropileno de desecho, que forma bloques de aproximadamente 0.02 m³ de volumen. El tejido abierto de los sacos permite la adherencia del concreto de un saco a otro. Deben colocarse en taludes compactados y estables de ángulo no superior a la pendiente estable del suelo de cimentación (Angulo de Fricción Interna). Comúnmente se limitan a taludes de pendiente hasta 1.5 H: 1V.

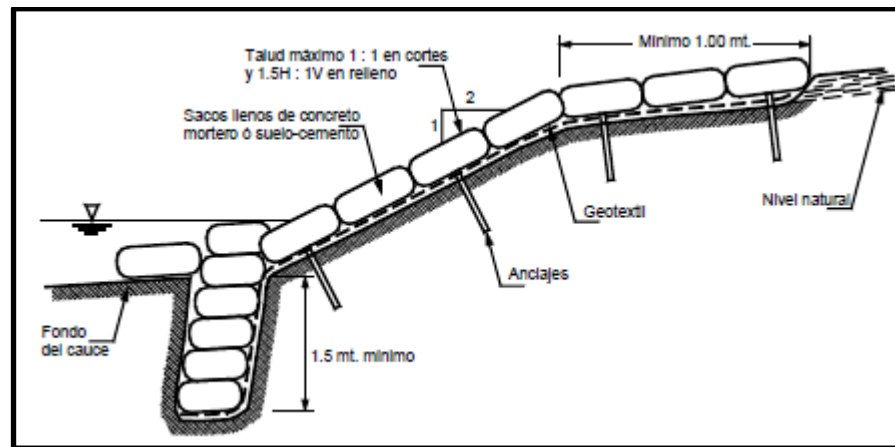


Figura 5.26 Esquema de protección con bolsacreto (Suarez, 2001)

Las limitaciones principales de esta técnica están en la disponibilidad y costo de los elementos de concreto, aunado a la necesidad de disminuir el ángulo de inclinación de los taludes hasta menos de 45 grados.

5.6.3.3 Pantallas de concreto

La colocación de un revestimiento total en concreto es un sistema muy utilizado para taludes de gran pendiente (Figura 5.27). Los revestimientos en placa de concreto fundida en el sitio se consideran como uno de los sistemas de protección más efectivos que existe y es muy común su utilización para canalizar ríos en zonas urbanas.

Generalmente se requiere refuerzo cuando la pendiente de los taludes es mayor a 1 H : 1V. Se acostumbra colocar elementos de anclaje debajo de la pantalla para evitar su deslizamiento. Estos elementos pueden consistir en varillas de acero (pernos) o elementos de concreto que se pueden fundir integralmente con la pantalla.

El revestimiento en concreto puede hacerse fundiendo directamente en el sitio, utilizando concreto corriente o empleando concreto o mortero lanzado (gunita). El

espesor de estos revestimientos varía de 8 a 10 centímetros para morteros y de 10 a 20 centímetros para concretos (Japan Road Asociación, 1984). Se emplea comúnmente concreto armado. En los casos de pendientes muy suaves y velocidades bajas del agua se puede emplear mortero concreto simple. El concreto debe tener muy buena resistencia al desgaste y es común exigir resistencias de $27,9 \text{ kp/cm}^2$

La construcción de pantallas de concreto puede realizarse utilizando colchonetas preformadas elaboradas con Geotextil, las cuales se colocan sobre el talud y luego se inyecta el mortero o concreto en forma similar a las que se utilizan para el control de erosión en ríos. En este caso se elabora un sistema de capa de espesor uniforme entre 75 y 100 mm (Duffin, 1998).

Los revestimientos en concreto son generalmente costosos inicialmente pero tienen una vida útil bastante larga. Su principal inconveniente es la imposibilidad de establecimiento de vegetación, lo cual los hace poco aceptables ambientalmente; sin embargo, existen sistemas celulares de colocación del concreto dejando espacios para la vegetación.

Comúnmente se especifica el refuerzo mínimo de control de cambio de temperatura en las dos direcciones. Se requieren juntas de contracciones impermeabilizadas, cada seis a nueve metros y aditivos en el concreto para disminuir el agrietamiento. Se acostumbra colocar juntas de contracción cada seis metros y de dilatación cada veinte a veinticinco metros.

Cabe destacar que esta opción de protección se adapta técnicamente a la inclinación del talud y condiciones del flujo del tramo evaluado del río Caris, en ocasión de las avenidas con tiempos de retorno superiores a los 10 años.

gaviones pueden construirse directamente sobre la superficie del talud o pueden prefabricarse y luego colocarse (Figura 5.29). Los gaviones pueden ser rectangulares o cilíndricos.

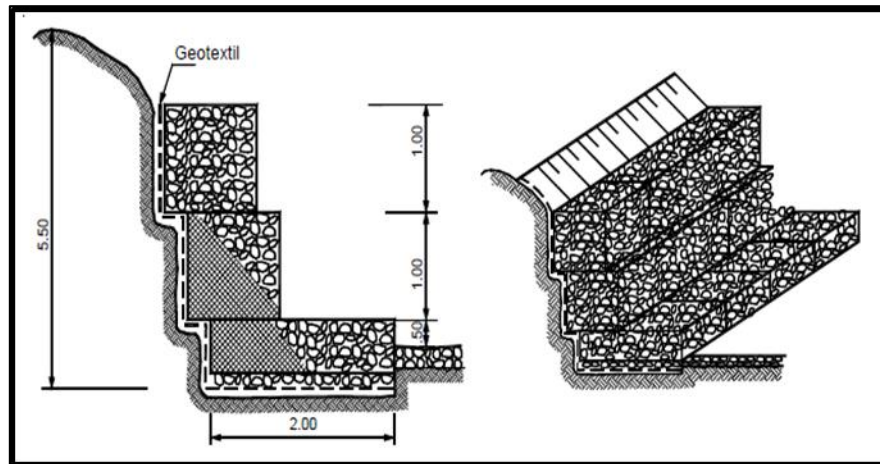


Figura 5.28 Esquema propuesto de construcción del muro de gaviones (Suarez, J., 2001).

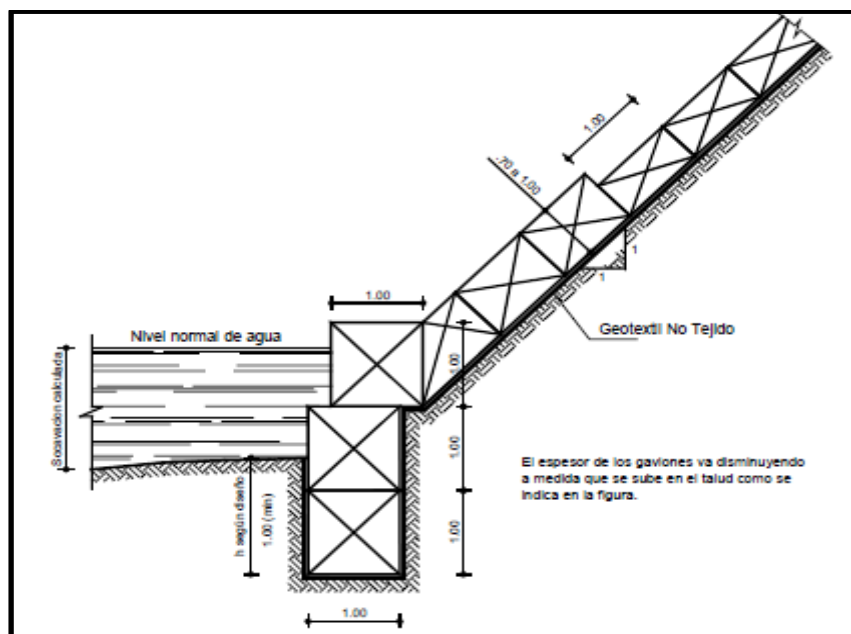


Figura 5.29 Muro de gaviones sugerido disminuyendo la pendiente del talud.

Este tipo de protección, utiliza materiales que se encuentran disponibles en el mercado, tal como las mallas galvanizadas. Por otra parte, se podrían rellenar con conglomerados y areniscas ferruginosas del sur del estado Anzoátegui, comunes en la formación Mesa.

5.6.5 Uso de diques o espigones

Los espigones son estructuras relativamente sólidas alargadas que se colocan para desviar la corriente de agua o controlar el arrastre de materiales del fondo, ($L_p / B_1 > 0.33$). Un espigón es una estructura construida a un ángulo con la dirección de flujo, anclada en la orilla del canal y con una cabeza para el manejo del flujo en la punta. Los espigones incrementan la velocidad del agua al disminuirse la sección del río, aumentando el gradiente y generando macro-turbulencia intensa. La turbulencia generada por los espigones puede producir remolinos o vórtices fuertes que generen a su vez socavación, la cual representa un problema de estabilidad para la estructura del espigón.

Los espigones pueden construirse con bloques de roca, bloques de concreto, gaviones, hexápodos, tetrápodos, pilotes de acero, madera, o bambú o combinaciones de varios materiales. Los espigones de enrocado tienen generalmente una sección trapezoidal. Los materiales de gran tamaño se acumulan unos sobre otros, formando una estructura alargada.

El objetivo del espigón es desviar la corriente del río alejándola de zonas críticas para prevenir la erosión de la orilla y establecer un canal más estable. Ellos se utilizan también en ríos anchos trenzados para establecer un canal bien definido que no sufra ni agradación ni degradación y que mantenga su localización de año en año. En este caso los espigones pueden tener diques muy largos en su punta junto al agua

para ayudar a definir el canal del río. Los espigones se utilizan además, en ríos meandrantes para controlar el flujo en la entrada o salida de la curva.

Los espigones se emplean para protección de las riberas de los ríos, en el caso del golpeo de las corrientes del río contra los taludes de las riberas. Se coloca generalmente a intervalos de dos a cuatro veces la longitud de las secciones individuales. Se recomienda un mínimo de tres espigones para resultados efectivos (Figuras 5.30 y 5.31).



Figura 5.30 Ejemplo de espigones en un río

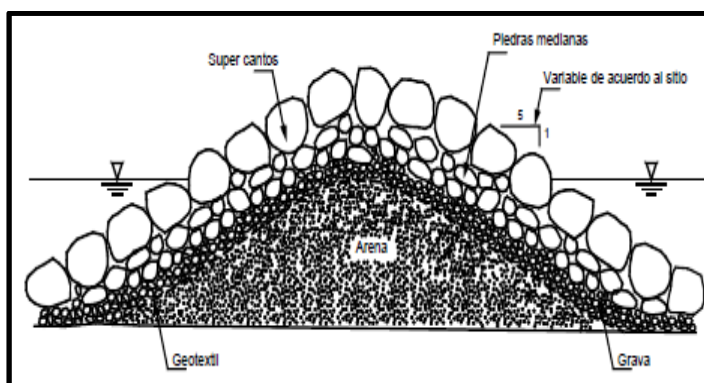


Figura 5.31 Sección transversal de un espigón con corona de roca o de bolsacreto (Suarez, J., 2001).

La opción pudiese cumplir el objetivo de proteger los taludes que son objeto de esta investigación, sin embargo el proceso de protección definitiva podría generar varios ciclos hidrológicos. Por otro lado, las coronas tendrían que construirse con bolsacreto o con gaviones.

Una vez analizadas las opciones, se presenta una tabla resumen de las características que se consideraron relevantes en cada opción (Tabla 5.10).

Tabla 5.10 Resumen de las características de las opciones de protección de los taludes del río Caris.

Protección	Materiales	Disponible en la zona	Ventaja	Desventaja
Vegetalización	Plantas autoctonas	Si	Bajo costo	Difícil de implantar. No soporta fuertes corrientes. Amerita corte de taludes porque Requiere taludes inferiores a 30°.
Enrocado	Rocas duras	A 150 km en canteras del Edo Bolívar	Resistente y bajo mantenimiento	Alto costo por explotación, acarreo y colocación de rocas. Amerita corte de taludes porque Requiere taludes inferiores a 30°.
Elementos adoquines	Concreto premezclado, geotextiles y anclajes	Cemento escaso	Resistente, bajo mantenimiento	Amerita corte de taludes porque Requiere taludes inferiores a 30°.
Elementos bolsacreto	Concreto premezclado y geotextiles	Cemento Escaso	Resistente, bajo mantenimiento	Amerita corte de taludes porque Requiere taludes inferiores a 30°.
Pantallas concreto	Concreto premezclado y anclajes	Cemento Escaso	Resistente, bajo mantenimiento. No requiere movimiento de tierra	Alto costo
Muros gaviones	Mallas galvanizadas y Piedra picada	En la cercanía del área de estudio	Bajo costo. Materiales fáciles de obtener. Resistencia moderada No requiere movimiento de tierra	Mantenimiento periódico que implica reconstrucción del tramo afectado
Espigones	Bolsacreto o gaviones	En el área y ferreterías	Resistente al flujo turbulento. Mantenimiento a largo plazo.	No hay resultados positivos a corto plazo. Complicada técnica constructiva. Elevado costo. Genera socavación del cauce y mayor inundación de la ribera izquierda descendente

Para efectos de evaluar las opciones planteadas para la protección de los taludes, se propone en la Tabla 5.11, los factores que se considerarán.

Tabla 5.11 Factores de ponderación de la matriz de evaluación para las opciones de protección de taludes seleccionadas.

Puntaje	Existencia y ubicación de los materiales	Dificultad de implantación	Costos	Frecuencia de mantenimiento	Obtención de resultados
3	En el área	Fácil	Bajo	Baja	Inmediata
2	< 100 km	Moderada	Moderado	Moderada	Mediano plazo
1	> 100 km	Difícil	Elevado	Elevada	Largo plazo

Una vez aplicada la matriz de evaluación de las opciones planteadas para la protección de los taludes, de acuerdo a los parámetros anteriormente propuestos, se observa que las opciones que obtuvieron mayor puntaje fueron: el muro de gaviones y la pantalla de protección de concreto (Tabla 5.12).

Tabla 5.12 Matriz de evaluación de las opciones seleccionadas de protección de los taludes.

Protección	Existencia y ubicación de los materiales	Dificultad de implantar	Costos	Frecuencia de mantenimiento	Obtención de resultados	Puntaje final
Vegetalizar	3	1	2	1	1	8
Enrocado	1	2	1	3	3	10
Elementos adoquines	2	1	1	2	2	8
Elementos bolsacreto	2	2	2	2	2	10
Pantallas concreto	2	3	2	3	3	13
Muros gaviones	3	3	3	3	3	15
Espigones	1	1	1	2	1	6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. De acuerdo a la observación del estado actual de los taludes de la ribera derecha descendente se concluye que aún cuando se trata de arenas consolidadas, su estabilidad depende en gran medida de los procesos de socavación del estrato de arena media de color oscuro que constituye el talud sumergido. Por lo tanto, el estrato superior de arena de color amarillo colapsa por gravedad por pérdida de su soporte.
2. Con base a los resultados de los ensayos de distribución granulométrica de las muestras de suelos tomadas en el cauce y en los taludes de la ribera derecha descendente del tramo evaluado de la cuenca media del río Caris se concluye que los suelos analizados, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, poseen una distribución granulométrica correspondiente a Arenas mal gradadas (Sp) con pocos finos.
3. La cuenca media del río Caris posee una pendiente longitudinal del lecho que alcanza, en el tramo evaluado, una magnitud de 0,005 m/m. escasa. Asimismo, las riberas y la cuenca media presenta relieves bajos de colinas que oscilan entre 0% y 5%, mientras que en las zonas de la Mesa disectada se presentan escarpes importantes casi verticales. Planimétricamente, la trayectoria del cauce, en el tramo evaluado, es recto con tendencia sinuosa. El lecho del cauce del río Caris no mostraba estructuras superficiales diferentes al lecho plano (solo observables en las zonas de aguas someras). Frente a los taludes de la ribera derecha descendente, existe desarrollo de terrazas con alturas variable que oscilan entre 0,30 m y 0,5 m que separan el cauce de zonas anegadizas.

4. Hidrológicamente, la cuenca media y alta del río Caris tiene un área de 2704km^2 y es de forma alargada, oblonga con moderadas probabilidades de generar crecientes importantes. Drena sus aguas arrastrando los sedimentos de su lecho hasta el río Orinoco. La cuenca es capaz de drenar sus flujos a velocidades que podrían acercarse a 30,77 m/s.

5. Considerando el diámetro medio de las partículas de 0,36 mm se estimó mediante el modelo de Hjulstrom que los sedimentos presentes en el cauce del río Caris ameritaban velocidades de flujo del agua superiores a los 24 cm/s para que se produzca la erosión de los sedimentos, con velocidades del flujo entre 2,2 m/s y 24 m/s para garantizar su transporte y que para velocidades del flujo inferiores a 2,2 se produciría la sedimentación de los materiales.

6. La aplicación del método de la fuerza tractiva arrojó que para las condiciones de flujo observadas durante las mediciones en campo los taludes sumergidos se encuentran en condiciones de estabilidad ya que la fuerza tractiva en el lecho del canal es superior a la fuerza tractiva en el talud.

7. La opción que se presume cumpliría técnicamente y a bajo costo las necesidades de protección del talud de la ribera derecha descendente es el muro de gaviones ya que es apto para taludes superiores a 45° . Sin embargo, las mallas de alambre galvanizado que sirven de armazón a las cestas de los gaviones requieren de mantenimiento con un lapso que no supere 5 años.

Recomendaciones

1. Se sugiere analizar la aplicación de protección de taludes con adoquines de concreto en un corto tramo piloto y evaluar los resultados después de las crecidas del río para evaluar su idoneidad técnica.

2. Aplicar y validar otros modelos de transporte de sedimentos y socavación de taludes en tramos rectos que permitan jerarquizar y discriminar los mejores modelos de transporte y socavación de sedimentos aplicables a los cauces del oriente y sur del país.

REFERENCIAS

Aguirre-Pe, J. (1980). **HIDRÁULICA DE SEDIMENTOS**. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. pp 269.

Aparicio, Francisco. (2001) **FUNDAMENTOS DE LA HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Editorial LIMUSA, S.A de C.V. Grupo Noriega Editores, Décima reimpresión, Balderas 95, Distrito Federal, México. pp 19-45.

Arias, Fidias (1999). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: GUÍA PARA SU ELABORACIÓN**. Caracas: Episteme, C.A.pp 66

Arias, Fidias. (2012) **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA CIENTÍFICA**. Editorial Episteme, Caracas, Venezuela. pp 146.

Barredo, Silvia (1999) **ROCAS SEDIMENTARIAS**, Universidad de buenos aires, Departamento de Ciencias Geológicas - facultad de ciencias exactas y naturalesRecuperad de: 22 de febrero de 2016, [<http://introgeo.gl.fcen.uba.ar/Introduccion/Tprocasyestrucsedim/TProcyestrucsediment.PDF>]

Blanco, Luzmila (1991), **EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS, GEOHIDROLÓGICAS Y AMBIENTALES DE LA CUENCA DEL RÍO CAÑAFÍSTOLA**, trabajo de grado inédito, Ciudad Bolívar:Univ. Oriente, Esc. de Cs. de la Tierra, pp. 18-74.

Bonnefille, R. (1963). **ESSAIS DE SYNTHÈSE DES LOIS DE DÉBUT D'ENTRAÎNEMENT DES SEDIMENTS SOUS L'ACTION D'UN COURANT EN RÉGIME UNIFORME BULL.** Du CREC, No 5, Chatou, pp 15

Corrales, I., Rosell J., Sánchez L., Vera J., Vilas L. (1977) **ESTRATIGRAFÍA.** Editorial Rueda, Madrid, pp. 272-274.

Clauso, Adelina. (1993) **ANÁLISIS DOCUMENTAL: EL ANÁLISIS FORMAL,** Revista general de información y documentación. Vol. 3, Editorial Complutense, Madrid. 03 de mayo de 2016, [<https://revistas.ucm.es/index.php/RGID/article/viewFile/RGID9393120011A/11739>]

C.V.G Técnica Minera (1986). **INFORME DE AVANCE NC-20-14 Y NB-20-2 CLIMA, GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA, SUELOS, VEGETACIÓN. GERENCIA DE PROYECTOS ESPECIALES PROYECTO INVENTARIO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA REGIÓN GUAYANA.** Tomo I Y II. Ciudad Bolívar; pp 9-489 Y 515-756.

Corporación Venezolana de Guayana (C.V.G.) Técnica Minera C.A., (1989). **INFORME DE AVANCE NC 20 – 14 Y NC20 – 15, CLIMA, GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, SUELOS Y VEGETACION TOMO I, II, III.** Ciudad Bolívar, Venezuela. pp. 185-203, 441-444, 453 – 461.

Chow, Ven, Maidment, David y Mays, Larry. (1994). **HIDROLOGÍA APLICADA.** Edición McGraw-Hill. Santa fe de Bogotá. pp 500-525.

Díaz, Albert y Osorio, Oriana (2015), **ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES DE LOS NIVELES DE LA SUPERFICIE DEL AGUA DEBIDO A LA CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE EN EL RÍO LA CANOA MEDIANTE EL**

USO DE UN MODELO DE FLUJO PERMANENTE UNIDIMENSIONAL. LA CANOA. MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI. VENEZUELA. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar. pp 97-99

Dirección de Cartografía Nacional (MARN) (1966). Hoja 7441, **LA CANOA Y HOJA 7442, LA VIUDA.** Barcelona, Venezuela.

Dirección de Hidrología y Meteorología (MARN)(2013). **ESTACIÓN: LA VIUDA, SERIAL: 3838,** Venezuela.

Franceschi, Luis (1984). **DRENAJE VIAL.** Fundación Juan José Aguerreveré; Fondo Editorial del Colegio de Ingenieros de Venezuela. pp 41-45.

González, Carlos., Iturralde, Juan y Picard, Xavier (1.980), **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS,** tomo I y II, ed. facsimilar 1.993, Caracas: Ed. Foninves. pp 99-111

Iriondo, Martín. (2006) **INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA,** Tercera edición, editorial Brujas, Argentina. pp 15-129.

Lahee, Frederic. (1970) **GEOLOGÍA PRÁCTICA,** Tercera edición, Ediciones Omega. Barcelona, España. pp 143, 324-326.

Landeau, Rebeca. (2007) **ELABORACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN.** Editorial Alfa, Caracas, Venezuela. pp 53-55.

Macias, Marianela. (2014). **ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS QUE PRESENTA LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO LA CANOA DURANTE EL PERÍODO SEPTIEMBRE – DICIEMBRE 2013.**

MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI. VENEZUELA.
Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar. pp 88-92

Ministerio del Ambiente (2003). **ESTACIONES LA CANOA, SERIAL 3811, Y LA VIUDA, SERIAL 3838.** Barcelona Venezuela.

Moreno, Guadalupe. (2000) **INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA II.** Editorial Progreso, S.A. de C.V. D.F., México, pp 60-64.

Ordoñez, Juan. (2011).**CARTILLA TÉCNICA: ¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?** Foro peruano para el agua, Sociedad Geográfica de Lima. Lima, Perú, octubre de 2011, [http://www.gwp.org/Global/GWP-Sam_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf]

Ortiz, Frida (2004). **DICCIONARIO DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** Editorial Limusa, S.A. México. pp 93-127.

Palacios, Álvaro. (2011) **ACUEDUCTO, CLOACAS Y DRENAJES.** Universidad Católica Andrés Bello, Facultad De Ingeniería, Escuela De Ingeniería Civil, Segunda edición Caracas, Venezuela. pp 184-190.

Sabino, Carlos (2007). **COMO HACER UNA TESIS Y ELABORAR TODO TIPO DE ESCRITOS.** Caracas. pp 14-21

Sánchez, Marian (2014), **GASTO DOMINANTE DEL RIO LA CANOA Y SU INFLUENCIA EN LA GEOMORFOLOGIA DEL CAUCE, LA CANOA, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÀTEGUI, VENEZUELA.** Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.pp 45-63.

Schumm, Arthur (1960). **THE SHAPE OF ALLUVIAL CHANNELS IN RELATION TO SEDIMENT TYPE, UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER**.pp352B: 17-30.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (2000). **ISOYETAS DE INTENSIDAD–DURACIÓN FRECUENCIA. SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA**. México, DFpp495-600

Servicio de Meteorología (FAV) **ESTACIÓN: CIUDAD BOLIVAR INDICATIVO INT. 80444 SERIAL NAC. 3882, SISTEMA CLICOM, RESUMEN CLIMATOLÓGICO AÑO 2000 AL 2011.**

Suarez D., Jaime. (2001). **CONTROL DE EROSIÓN EN ZONAS TROPICALES**. Bucaramanga. pp 227 -258

Tar buck, Edward y Lutgens, Frederick. (2005). **CIENCIAS DE LA TIERRA. UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA FÍSICA**. Edición Pearson-Prentice Hall, 8ª ed. Madrid.pp 64

Ven Te Chow., Maidmen, David., y Mays, Larry. (1994) **HIDROLOGÍA APLICADA**. Editorial McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santa Fé de Bogotá, Colombia. Pp 180-190.

Yalin, M. S. (1972) **MECHANICS OF SEDIMENT TRANSPORT**.PergamonPress.Denver. pp 55-57

APÉNDICES

APÉNDICE A
DATOS CLIMATOLÓGICOS

A1Resumen climatológico años 2000, 2001 y 2002, Estación: Ciudad Bolívar,(Servicio de Meteorología FAV).

[illegible][illegible]

[illegible]

A3Resumen climatológico año 2006, 2007 y 2008 Estación: Ciudad Bolívar
(Servicio de Meteorología FAV)

[illegible][illegible]

A4Resumen climatológico, período año 2009 a 2011, Estación: Ciudad Bolívar
(Servicio de Meteorología FAV).

ELEMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
TEMP media °C	26.4	27.0	27.0		27.9	27.6	26.9	27.8	28.3	27.4	27.3	27.0	27.3
max media	27.5	28.3	32.4		29.9	29.1	27.9	29.3	29.5	29.0	28.9	28.2	29.1
min media	23.9	25.7	23.4		25.0	25.7	24.7	25.0	26.3	25.8	25.4	25.9	25.2
HUMED. media %													
max media													
min media													
INSOL med Horas	7.9	8.2	6.1		6.3	7.0	7.5	8.0	7.8	6.4	7.0	7.6	7.3
PRECIP Total mm.	0	10	22		259	148	136	237	109	149	387	30	1486
max dia mm.	0	7	7		86	26	18	73	28	65	163	14	163
EVAP Total mm.													
max dia													
Dias c/TORMENTA	1	2	1		11	8	4	6	6	6	9	2	56

APÉNDICE B
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS

Tabla B1. Análisis granulométrico de la muestra 1

UNIVERSIDAD DE ORIENTE NÚCLEO BOLÍVAR ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			MUESTRA: 1 LUGAR: Cuenca media río Caris FECHA: 05/05/2018				
ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR VÍA MECÁNICA							
Tamiz (n°)	Tamiz (mm)	Peso del tamiz (gr)	Peso tamiz + suelo (gr)	Suelo retenido (gr)	% Retenido	Retenido acumulad o	% Pasante
4	4.750	761.05	761.86	0.81	0.16	0.16	99.84
10	2.000	703.86	712.58	8.72	1.75	1.91	98.09
40	0.425	576.89	790.22	213.33	42.69	44.60	55.40
60	0.250	531.54	643.55	112.01	22.42	67.02	32.98
120	0.125	279.13	444.23	165.10	33.04	100.06	-0.06
200	0.075	266.34	282.33	15.99	3.20	103.26	-3.26
PAN	0.000	246.39	230.1	-16.29	-3.26	100.00	0.00
		Peso Suelo Final(gr)		499.67	100.00		
		Peso Suelo inicial(g)		500.00			
			%ERROR	0.07			

Tabla B2. Análisis granulométrico de la muestra 2

UNIVERSIDAD DE ORIENTE NÚCLEO BOLÍVAR ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			MUESTRA: 2 LUGAR: Cuenca media del río Caris FECHA: 05/05/2018				
ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR VÍA MECÁNICA							
Tamiz (n°)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	retenido acumulad o	% Pasante
4	4.75	761.11	761.13	0.02	0.00	0.00	100.00
10	2	704.10	720.3	16.20	3.24	3.24	96.76
40	0.425	578.05	810.19	232.14	46.43	49.67	50.33
60	0.25	531.75	654.01	122.26	24.45	74.13	25.87
120	0.125	279.18	395.36	116.18	23.24	97.37	2.63
200	0.075	266.44	277.6	11.16	2.23	99.60	0.40
PAN	0	246.44	248.45	2.01	0.40	100.00	0.00
			Peso Suelo Final(gr)	499.97	100.00		
			Peso Suelo inicial(g)	500.00			
			%ERROR	0.01			

Tabla B3. Análisis granulométrico de la muestra 3

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

NÚCLEO BOLÍVAR

ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MUESTRA3

LUGAR:Cuenca media río Caris

FECHA:05/05/2018

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR VÍA MECÁNICA

Tamiz (n°)	Tamiz (mm)	peso del tamiz (gr)	peso tamiz + suelo (gr)	suelo retenido (gr)	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
4	4.75	761.11	761.37	0.26	0.05	0.05	99.95
10	2	704.31	716.07	11.76	2.35	2.41	97.59
40	0.425	578.96	868.75	289.79	58.00	60.41	39.59
60	0.25	532.30	593.5	61.20	12.25	72.66	27.34
120	0.125	266.38	400.93	134.55	26.93	99.59	0.41
200	0.075	279.27	279.41	0.14	0.03	99.62	0.38
PAN	0	246.42	248.33	1.91	0.38	100.00	0.00
			Peso Suelo Final(gr)	499.61	100.00		
			Peso Suelo inicial(g)	500.00			
			%ERROR	0.08			

Tabla B4. Análisis granulométrico de la muestra 4

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

NÚCLEO BOLÍVAR

ESCUELA CIENCIAS DE LA TIERRA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

MUESTRA:4

LUGAR:Cuenca media del río Caris

FECHA:05/05/2018

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR VÍA MECÁNICA

Tamiz	Tamiz	peso del tamiz	peso tamiz + suelo	suelo retenido	% retenido	% retenido acumulado	% Pasante
(n°)	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)			
4	4.75	761.11	761.2	0.09	0.02	0.02	99.98
10	2	704.34	708.28	3.94	0.79	0.81	99.19
40	0.425	580.19	824.85	244.66	48.93	49.74	50.26
60	0.25	532.95	670.05	137.10	27.42	77.16	22.84
120	0.125	279.19	386.12	106.93	21.39	98.55	1.45
200	0.075	266.35	271.68	5.33	1.07	99.62	0.38
PAN	0	246.43	248.35	1.92	0.38	100.00	0.00
		Peso Suelo Final(gr)		499.97	100.00		
		Peso Suelo inicial(g)		500.00			
		%ERROR		0.01			

APÉNDICE C
MODELAMIENTO DEL CAUCE DEL TRAMO EVALUADO DE
LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CARIS.

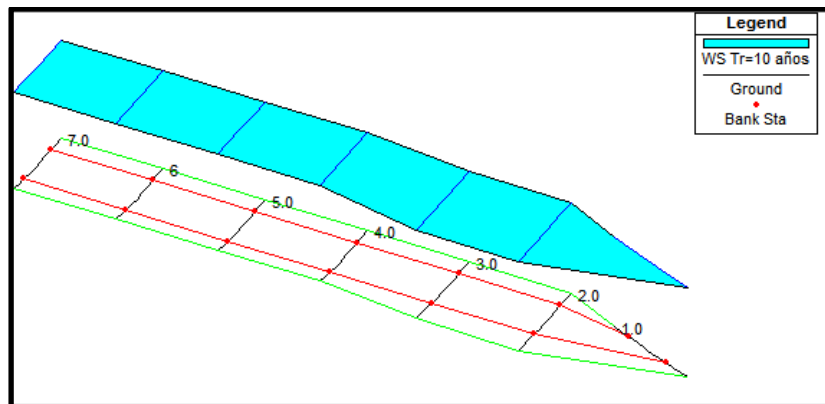


Figura C1 Modelo 3d del cauce del tramo evaluado del río Caris

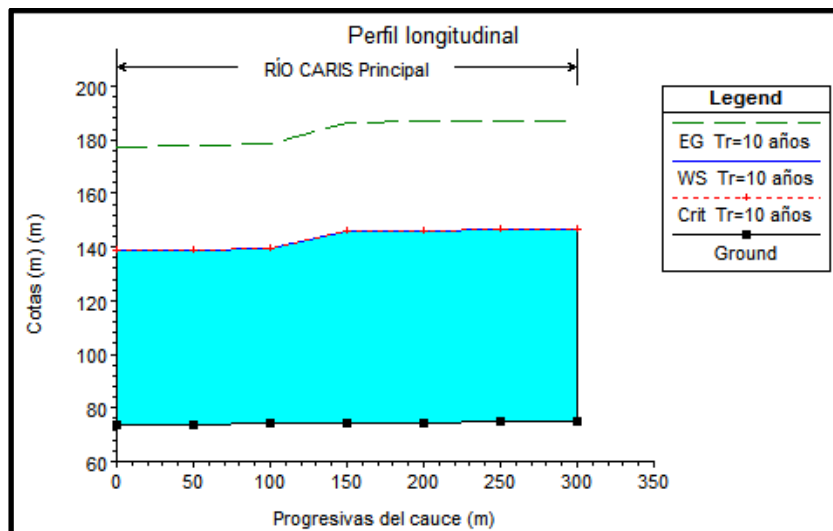


Figura C2 Sección longitudinal de la quebrada La Canoa

APÉNDICE D
DATOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LAS
SECCIONES TRANSVERSALES

D.1 Coordenadas y cotas de las secciones transversales levantadas topográficamente.

EST	P. VISADO	AZIMUT	AZIMUT rad	DIST HOR	PROYEC ESTE	PROYEC NORTE	COORD ESTE	COORD NORTE	COTAS	OBSERV
7A							407029.00	931085.00	76.10	Rib Izq
	7B	270.00	4.71238898	5.00	-5.00000000	0.00000000	407024.00	931085.00	76.00	cauce
	7C	270.00	4.71238898	10.00	-10.00000000	0.00000000	407019.00	931085.00	75.90	cauce
	7D	270.00	4.71238898	15.00	-15.00000000	0.00000000	407014.00	931085.00	75.60	cauce
	7E	270.00	4.71238898	20.00	-20.00000000	0.00000000	407009.00	931085.00	75.30	cauce
	7F	270.00	4.71238898	25.00	-25.00000000	0.00000000	407004.00	931085.00	75.00	cauce
	7G	270.00	4.71238898	30.00	-30.00000000	0.00000000	406999.00	931085.00	75.40	cauce
	7H	270.00	4.71238898	35.00	-35.00000000	0.00000000	406994.00	931085.00	75.95	cauce
	7I	270.00	4.71238898	40.00	-40.00000000	0.00000000	406989.00	931085.00	76.60	cauce
	7J	270.00	4.71238898	45.00	-45.00000000	0.00000000	406984.00	931085.00	77.20	Rib der
6A							407029	931035	76.00	Rib Izq
	6B	270.00	4.71238898	5.00	-5.00000000	0.00000000	407024.00	931035.00	75.90	cauce
	6C	270.00	4.71238898	10.00	-10.00000000	0.00000000	407019.00	931035.00	75.80	cauce
	6D	270.00	4.71238898	15.00	-15.00000000	0.00000000	407014.00	931035.00	75.50	cauce
	6E	270.00	4.71238898	20.00	-20.00000000	0.00000000	407009.00	931035.00	75.20	cauce
	6F	270.00	4.71238898	25.00	-25.00000000	0.00000000	407004.00	931035.00	74.90	cauce
	6G	270.00	4.71238898	30.00	-30.00000000	0.00000000	406999.00	931035.00	75.30	cauce
	6H	270.00	4.71238898	35.00	-35.00000000	0.00000000	406994.00	931035.00	75.85	cauce
	6I	270.00	4.71238898	40.00	-40.00000000	0.00000000	406989.00	931035.00	76.50	cauce
	6J	270.00	4.71238898	45.00	-45.00000000	0.00000000	406984.00	931035.00	78.00	Rib der
5A							407029	930985	75.60	Rib Izq
	5B	280.00	4.886921906	5.00	-4.92403877	0.86824089	407024.08	930985.87	75.50	cauce
	5C	280.00	4.886921906	10.00	-9.84807753	1.73648178	407019.15	930986.74	75.40	cauce
	5D	280.00	4.886921906	15.00	-14.77211630	2.60472267	407014.23	930987.60	75.10	cauce
	5E	280.00	4.886921906	20.00	-19.69615506	3.47296355	407009.30	930988.47	74.80	cauce
	5F	280.00	4.886921906	25.00	-24.62019383	4.34120444	407004.38	930989.34	74.50	cauce
	5G	280.00	4.886921906	30.00	-29.54423259	5.20944533	406999.46	930990.21	74.90	cauce
	5H	280.00	4.886921906	35.00	-34.46827136	6.07768622	406994.53	930991.08	75.45	cauce
	5I	280.00	4.886921906	40.00	-39.39231012	6.94592711	406989.61	930991.95	76.10	cauce
	5J	280.00	4.886921906	45.00	-44.31634889	7.81416800	406984.68	930992.81	77.60	Rib der
4A							407020.32	930935.76	75.37	Rib Izq
	4B	270.00	4.71238898	5.00	-5.00000000	0.00000000	407015.32	930935.76	75.27	cauce
	4C	270.00	4.71238898	10.00	-10.00000000	0.00000000	407010.32	930935.76	75.17	cauce
	4D	270.00	4.71238898	15.00	-15.00000000	0.00000000	407005.32	930935.76	74.87	cauce
	4E	270.00	4.71238898	20.00	-20.00000000	0.00000000	407000.32	930935.76	74.57	cauce
	4F	270.00	4.71238898	25.00	-25.00000000	0.00000000	406995.32	930935.76	74.27	cauce
	4G	270.00	4.71238898	30.00	-30.00000000	0.00000000	406990.32	930935.76	74.67	cauce
	4H	270.00	4.71238898	35.00	-35.00000000	0.00000000	406985.32	930935.76	75.22	cauce
	4I	270.00	4.71238898	40.00	-40.00000000	0.00000000	406980.32	930935.76	75.87	cauce
	4J	270.00	4.71238898	45.00	-45.00000000	0.00000000	406975.32	930935.76	77.37	Rib der
3A							407029.00	930886.52	75.22	Rib Izq
	3B	260.00	4.537856055	5.00	-4.92403877	-0.86824089	407024.08	930885.65	75.12	cauce
	3C	260.00	4.537856055	10.00	-9.84807753	-1.73648178	407019.15	930884.78	75.02	cauce
	3D	260.00	4.537856055	15.00	-14.77211630	-2.60472267	407014.23	930883.91	74.72	cauce
	3E	260.00	4.537856055	20.00	-19.69615506	-3.47296355	407009.30	930883.05	74.42	cauce
	3F	260.00	4.537856055	25.00	-24.62019383	-4.34120444	407004.38	930882.18	74.12	cauce
	3G	260.00	4.537856055	30.00	-29.54423259	-5.20944533	406999.46	930881.31	74.52	cauce
	3H	260.00	4.537856055	35.00	-34.46827136	-6.07768622	406994.53	930880.44	75.07	cauce
	3I	260.00	4.537856055	40.00	-39.39231012	-6.94592711	406989.61	930879.57	75.72	cauce
	3J	260.00	4.537856055	45.00	-44.31634889	-7.81416800	406984.68	930878.71	77.22	cauce
	3K	260.00	4.537856055	50.00	-49.24038765	-8.68240888	406979.76	930877.84	77.25	Rib der
2A							407029.00	930836.52	74.82	Rib Izq
	2B	270.00	4.71238898	5.00	-5.00000000	0.00000000	407024.00	930836.52	74.72	cauce
	2C	270.00	4.71238898	10.00	-10.00000000	0.00000000	407019.00	930836.52	74.62	cauce
	2D	270.00	4.71238898	15.00	-15.00000000	0.00000000	407014.00	930836.52	74.32	cauce
	2E	270.00	4.71238898	20.00	-20.00000000	0.00000000	407009.00	930836.52	74.02	cauce
	2F	270.00	4.71238898	25.00	-25.00000000	0.00000000	407004.00	930836.52	73.72	cauce
	2G	270.00	4.71238898	30.00	-30.00000000	0.00000000	406999.00	930836.52	74.12	cauce
	2H	270.00	4.71238898	35.00	-35.00000000	0.00000000	406994.00	930836.52	74.50	cauce
	2I	270.00	4.71238898	40.00	-40.00000000	0.00000000	406989.00	930836.52	74.60	cauce
	2J	270.00	4.71238898	45.00	-45.00000000	0.00000000	406984.00	930836.52	74.74	cauce
	2K	270.00	4.71238898	50.00	-50.00000000	0.00000000	406979.00	930836.52	74.80	Rib der
1A							407029.00	930786.52	74.47	Rib Izq
	1B	270.00	4.71238898	5.00	-5.00000000	0.00000000	407024.00	930786.52	74.37	cauce
	1C	270.00	4.71238898	10.00	-10.00000000	0.00000000	407019.00	930786.52	74.27	cauce
	1D	270.00	4.71238898	15.00	-15.00000000	0.00000000	407014.00	930786.52	73.97	cauce
	1E	270.00	4.71238898	20.00	-20.00000000	0.00000000	407009.00	930786.52	73.67	cauce
	1F	270.00	4.71238898	25.00	-25.00000000	0.00000000	407004.00	930786.52	73.37	cauce
	1G	270.00	4.71238898	30.00	-30.00000000	0.00000000	406999.00	930786.52	73.77	cauce
	1H	270.00	4.71238898	35.00	-35.00000000	0.00000000	406994.00	930786.52	74.15	cauce
	1I	270.00	4.71238898	40.00	-40.00000000	0.00000000	406989.00	930786.52	74.25	cauce
	1J	270.00	4.71238898	45.00	-45.00000000	0.00000000	406984.00	930786.52	74.39	cauce
	1K	270.00	4.71238898	50.00	-50.00000000	0.00000000	406979.00	930786.52	74.45	Rib der

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de
Ascenso – 1/6

Título	ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS Y ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DE LA RIBERA DERECHA DE UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CARIS, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÀTEGUI, VENEZUELA.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Marulanda Barrero Alvenis Cenolida	CVLAC	17.886.568
	e-mail	alisonymaru_1926@outlook.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves

[illegible]

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Área	Sub-área
Departamento de Ingeniería Geológica	Ingeniería Geológica

Resumen (abstract):

La presente investigación se desarrolló en un tramo de la cuenca media del río Carís, el cual es uno de los ríos más importantes del sur del estado Anzoátegui, drenando sus aguas cargadas de sedimentos en el río Orinoco, en el municipio Independencia del citado estado. El objetivo del estudio es los procesos de transporte de sedimentos la estabilidad de los taludes sumergidos de la ribera derecha de un tramo de la cuenca media del mencionado río. Para el desarrollo de este objetivo se aplicó una metodología de tipo descriptiva con un diseño de campo y documental. Para el logro de la investigación se realizó un reconocimiento del área de estudio a fin de constatar las condiciones de los taludes de la ribera derecha del río; luego, se efectuó un levantamiento topográfico expeditivo para la construcción del plano topográfico y las secciones transversales que permitirán describir geomorfológicamente dicha zona (incluyendo el cauce y riberas del río Caris. En el cauce y taludes de las riberas, se tomaron cuatro (4) muestras de suelos para caracterizar texturalmente los sedimentos que se presume sean erosionados y transportados por las corrientes fluviales. Posteriormente, se determinaron las características morfométricas de la cuenca y las geométricas del cauce. Asimismo, utilizando el método del Hidrograma Triangular Unitario SCS, se estimó el caudal que aportaría la cuenca y con base a ello se simuló los procesos de erosión (socavación) o transporte de sedimentos utilizando el modelo de Hjulstrom. Entre los resultados relevantes se concluyó que la geomorfología indica que el tramo evaluado del río Caris en su cuenca media es sinuoso a recto, aunque regionalmente es meandrante y su pendiente es baja. Las riberas y llanura de inundación poseen relieve de sabana. Por otro lado, los sedimentos corresponden a arenas mal gradadas (SP) y la forma de sus partículas son predominantemente sub-redondeados y redondeados. La cuenca presenta un área de 2704 km² con una forma entre ovalada y oblonga con buenas condiciones de producir inundaciones significativas. El caudal aportado por la cuenca es de 65346 m³/s para un período de retorno de 10 años respectivamente. Según el modelo de Hjulstrom los sedimentos del cauce requieren para ser erosionados, velocidades del flujo de al menos 24 cm/s. En cuanto a la estabilidad de los taludes sumergidos se aplicó la metodología de la fuerza tractiva lo cual arrojó que para las condiciones de flujo en el momento de las mediciones de campo el talud sumergido es estable. Finalmente, se sugiere para la protección del talud objeto de estudio: la construcción de un muro escalonado de 3,5 m de altura y 102 m de longitud, integrado por elementos de gaviones en forma de paralelepípedo (1,00 m de largo, por 0,50 m de alto por 0,50 m de ancho) con una base de membrana geotextil, que permitan proteger los sedimentos finos del talud ante la acción erosiva de las corrientes del río.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail			
Echeverría, Dafnis	ROL	CA ☐	AS ☐	TU ☒ JU ☐
	CVLAC	4.506.408		
	e-mail	Dafnisecheverria2807@gmail.com		
	e-mail			
Monteverde, Francisco	ROL	CA ☐	AS ☐	TU ☐ JU ☒
	CVLAC			
	e-mail			
	e-mail			
Ramos, Javier	ROL	CA ☐	AS ☐	TU ☐ JU ☒
	CVLAC	14.145.647		
	e-mail	jdramos@udo.edu.ve		
	e-mail			

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2018	11	07

Lenguaje Spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
TRABAJO DE GRADO ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS Y ESTABILIDAD DE LOS TALUDES SUMERGIDOS DE LA RIBERA DERECHA DE UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CARIS.pdf

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: _____

Temporal: _____

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Pregrado

Área de Estudio:

Departamento de Ingeniería Geológica

Otra(s) Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE	
SISTEMA DE BIBLIOTECA	
RECIBIDO POR	<i>[Firma]</i>
FECHA	5/8/09
HORA	5:30

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CURVELO
Secretario

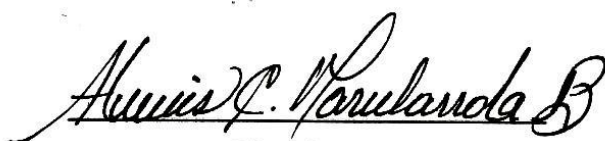


C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/marija

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

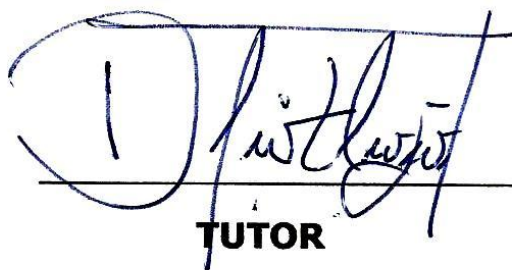
Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."



AUTOR

Alvenis C. Marulanda B

CI: 17.886.568



TUTOR

Dafnis J. Echeverría D

CI: 4.506.408