

**ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACIÓN
DE ÁREAS ADYACENTES AL RÍO CRAVO SUR, EN YOPAL**

Autores:

**PAOLA ANDREA CELIS RIVERA
ROBERTO CARLOS PEDRAZA GOMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA, 2008**

**ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACIÓN
DE ÁREAS ADYACENTES AL RÍO CRAVO SUR, EN YOPAL**

Autores:

**PAOLA ANDREA CELIS RIVERA
ROBERTO CARLOS PEDRAZA GOMEZ**

Monografía para optar el título de Especialista en Ingeniería Ambiental

**Director
ING. MARIO AVELLANEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA, 2008**

AGRADECIMIENTOS

Al culminar este trabajo de grado no nos resta más que agradecer primero que todo a Dios por estar presente en todo momento, brindándonos toda la sabiduría que necesitamos así como la paciencia y tranquilidad en los momentos de desespero.

De igual forma agradecemos la realización del presente trabajo especialmente a la ciudad de Yopal y sus habitantes, porque aparte de haberse convertido en el lugar que nos acogió durante algún tiempo como unos más de sus hijos, nos brindó un motivo excepcional para experimentar lo magnifico que resulta poner al servicio de los demás nuestra capacidad creadora y compromiso indeclinable para contribuir con el bienestar de los demás, y hacer de este mundo un laboratorio social para experimentar con la felicidad.

Agradezco a...

Al señor todopoderoso quien me infundió su gracia divina para persistir y encontrar en este trabajo de grado una oportunidad para servir a los demás y de esta manera agradarlo y agradecerle por todo el beneficio que me ha regalado.

Segundo a mi familia quienes han sido, son y serán siempre el soporte e impulso para alcanzar nuevas metas en la vida.

Por ultimo agradezco a mi compañera de trabajo quien con su entereza, dedicación e inteligencia coadyuvo para concretar un objetivo que por momentos se tornaba lejano y lleno de obstáculos.

ROBERTO CARLOS PEDRAZA GÓMEZ

Dedico este trabajo....

A Dios, que es mi luz, mi salvador

A mis padres, quienes con su esfuerzo y apoyo incondicional han contribuido a mi desarrollo personal y profesional.

A mi esposo, en quien encontré el amor y la fortaleza para continuar alcanzando mis metas.

A mis hermanos, para que continúen en este camino del conocimiento y la sabiduría y puedan lograr sus más anhelados sueños.

PAOLA ANDREA CELIS RIVERA

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1 INFORMACIÓN BASE	3
2 CLIMATOLOGÍA	5
2.1 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA	5
2.1.1 De la región de la Orinoquía.....	5
2.1.2 De la cuenca del río Cravo Sur	6
2.2 PRECIPITACIÓN	7
2.3 TEMPERATURA	13
2.4 HUMEDAD RELATIVA	15
2.5 OTROS PARÁMETROS	15
2.5.1 Evaporación	15
2.5.2 Brillo solar.	15
2.5.3 Nubosidad.	15
2.5.4 Tensión de Vapor.	15
2.5.5 Velocidad del viento.	15
2.5.6 Evapotranspiración	16
2.6 BALANCE HÍDRICO	17
2.7 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA	18
3 HIDROGRAFÍA	21
3.1 SUBCUENCA DEL RÍO CHARTE	21
3.2 CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR	21
4 HIDROLOGÍA Y DINAMICA FLUVIAL	22
4.1 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DEL RÍO CRAVO SUR	22
4.2 ANÁLISIS TEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL RÍO CRAVO SUR	30
4.2.1 Vuelo B – 115 sobre 10489 – 7 de enero de 1938 – Foto No. 832 y 833.	31
4.2.2 Vuelo M – 545 sobre S – 382 – 8 de febrero de 1959 – Foto No. 6277 y 6278... 31	31
4.2.3 Vuelo R-464 – Sobre S – 2376 de 02 de enero de 1961 – Foto 1795.	32
4.2.4 Vuelo 1873 – Sobre 29621 – 02 de enero de 1979 – Foto 212.	32
4.2.5 Vuelo C-2047 – Sobre 31379 – 20 de diciembre de 1981 – Foto 203 y 204..... 33	33
4.2.6 Vuelo C-2325 – Sobre 34483 - 6 de enero de 1988 – Foto No. 144 y 145..... 33	33
4.2.7 Vuelo C-2486 – Sobre 36411 – 25 de septiembre de 1992 – Foto 042 y 043..... 34	34
4.2.8 Vuelo C-2563 – Sobre 37135 – 11 de febrero de 1995 – Foto No. 03 y 04..... 34	34
4.2.9 Conclusiones del análisis	35
4.3 SITUACIÓN ACTUAL Y MORFODINAMICA DEL RIO EN LOS ULTIMOS AÑOS ..	36
4.4 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	38
4.5 AREAS DE RIESGO	38
4.6 AFECTACIONES Y EMERGENCIAS OCASIONADAS POR EL RIO CRAVO SUR	40
4.7 OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA DEL RIO CRAVO SUR PARA EL MUNICIPIO DE YOPAL	43

4.7.1 Canal El Remanso	45
4.7.2 Canal Matepantano	45
4.7.3 Canal de Caño Blanco	46
5 HIDRAULICA	47
5.1 PRINCIPALES MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LAS INUNDACIONES.....	47
5.2 METODO PARA DETERMINAR LA COTA MÁXIMA DE DISEÑO	48
5.2.1 Tramo 1.	48
5.2.2 Tramo 2.	49
5.3 SECCION TRANSVERSAL DE AFORO	49
5.4 CAPACIDAD HIDRÁULICA EN LAS SECCIONES TRANSVERSALES	50
5.4.1 Tramo 1.	50
5.4.2 Tramo 2.	51
5.5 TEORÍA DE SOCAVACIÓN	53
6 GEOTECNIA	55
6.1 INTRODUCCIÓN	55
6.2 ALCANCES	55
6.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	56
6.4 ANÁLISIS DEL SUBSUELO	57
6.4.1 Exploración del subsuelo.	57
6.4.2 Ensayos de laboratorio.....	57
7 GEOLOGÍA.....	58
7.1 GEOLOGÍA GENERAL	58
7.2 GEOLOGÍA LOCAL	58
7.2.1 Estratigrafía	58
7.2.2 Tectónica	59
7.3 GEOLOGÍA DEL SECTOR	60
7.4 PERFIL ESTRATIGRAFICO PROMEDIO	61
7.5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO.....	61
7.5.1 Zona Geotécnica No. 1. Ente el puente La Cabuya y el inicio al parque La Iguana.	61
7.5.2 Zona Geotécnica No. 2. Márgenes parque La Iguana a Hospital de Yopal.....	62
7.5.3 Zona Geotécnica No. 3. Hospital de Yopal hasta las Bocatomas.....	63
7.6 CONCLUSIONES DEL COMPONENTE GEOTÉCNICO	64
7.6.1 Condiciones Geológicas y Estratigráficas del Sector.....	64
7.6.2 Obras de protección para los taludes de la margen	64
7.7 LIMITACIONES	65
7.8 INFORME SOBRE LA VISITA DE CAMPO	66
7.8.1 Labores adelantadas en las visitas	66
7.8.2 Programa de exploración del subsuelo	66
8 INVENTARIO DE OBRAS	68
8.1 INVENTARIO DE OBRAS EXISTENTES	68
8.2 INVENTARIO DE OBRAS PROPUESTAS.....	70
8.2.1 Obras de protección para el tramo 1.	71
8.2.1.1 Características generales del Dique	71
8.2.1.2 Bocatoma en el dique.	73
8.2.1.3 Canal en Piedra – Cemento.....	73
8.2.2 Obras De Protección Para El Tramo 2.	75

8.2.2.1	Alternativas De Obras Propuestas.....	75
8.2.2.2	Alternativas de obras a corto plazo.....	76
8.2.2.3	Alternativas de obras a mediano plazo.....	77
8.3	OBRAS DISEÑADAS.....	77
8.3.1	Obra No. 1. Prediseño de una Estructura de Captación de agua y Canales de distribución.....	77
8.3.1.1	El Gavión.....	78
8.3.1.2	Obra de Captación.....	79
8.3.1.3	Compuertas.....	79
8.3.1.4	Canal en Piedra – Cemento.....	82
8.3.2	Obra No. 2. Dique en Piedra - Cemento.....	83
8.3.2.1	Dique.....	83
8.3.2.2	Espigones.....	84
8.3.3	Obra No. 3. Dique y Espigón.....	84
8.3.3.1	Dique de Protección.....	85
8.3.3.2	Características Generales del Dique.....	87
8.3.4	Obra No. 4. Protección del Talud en la urbanización La Casa del Río.....	88
8.3.4.1	Hexápodos.....	89
8.4	OBRAS COMPLEMENTARIAS.....	91
8.4.1	Trabajos Complementarios en el Río tramo 1.....	91
8.4.2	Trabajos Complementarios en el Río Cravo Sur.....	91
9	GEOMORFOLOGÍA.....	92
9.1	PAISAJES CARACTERÍSTICOS DE LA ZONA.....	92
9.1.1	Paisaje de planicie (P).....	92
9.1.2	Paisaje de Valle (V).....	93
9.2	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA.....	93
9.2.1	Unidad llanura aluvial.....	93
9.2.2	Unidad depósitos diluviales.....	93
9.2.3	Unidad terrazas.....	93
9.3	TAXONOMÍA DE SUELOS.....	94
9.3.1	Orden Inceptisol.....	94
9.3.2	Orden Entisoles.....	94
10	COMPONENTE BIÓTICO.....	95
10.1	VEGETACIÓN.....	95
10.2	ZONAS DE VIDA.....	96
10.3	COBERTURA VEGETAL Y USO ACTUAL DEL SUELO.....	96
10.3.1	Bosque de Galería.....	96
10.3.2	Sabana.....	96
10.3.3	Matas de Monte.....	97
10.3.4	Pastos Naturales, mejorados y cultivos.....	97
10.4	FAUNA.....	97
10.4.1	Mamíferos.....	97
10.4.2	Aves.....	97
10.4.3	Reptiles.....	98
10.4.4	Ictiofauna.....	98
11	ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS Y CULTURALES.....	99
11.1	ASPECTOS SOCIALES.....	99
11.1.1	Demografía.....	99

11.1.2	Densidad Poblacional.....	99
11.1.3	Infraestructura de Servicios.....	99
11.2	ASPECTOS ECONÓMICOS.....	101
12	DIAGNOSTICO GENERAL DEL ESTUDIO.....	102
12.1	SOBRE EL ESTADO DEL ARTE.....	102
12.1.1	Características de las investigaciones, estudios y trabajos que en su conjunto lo conforman.....	102
12.2	LO QUE REFLEJA EL ESTADO DEL ARTE.....	102
12.2.1	En Relación Con El Conocimiento Del Problema.....	102
12.2.2	En Relación Con La Gestión Del Problema.....	103
12.3	LO QUE PLANTEA A FUTURO EL ESTADO DEL ARTE.....	104
12.4	DIAGNOSTICO TECNICO A PARTIR DEL ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION PRESENTADA EN LOS TRABAJOS QUE CONFORMAN EL ESTADO DEL ARTE.	105
12.4.1	Calidad De La Información.	105
12.5	SOBRE EL ALCANCE DE LOS ESTUDIOS.	106
12.6	SOBRE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN LOS TRABAJOS, INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS QUE CONFORMAN EL ESTADO DEL ARTE.	106
12.6.1	Climatología.	106
12.6.2	Hidrología Y Dinámica Fluvial.	106
12.6.3	Hidráulica.....	107
12.6.4	Geotecnia.....	108
12.6.5	Geomorfología.....	108
12.6.6	Componente biótico.	108
12.6.7	Antecedentes Históricos De La Problemática.	109
12.6.8	Acciones Y Medidas De Prevención, Pronóstico, Mitigación Y Atención, Desplegadas.	109
12.6.9	Obras Construidas Existentes.	109
12.6.10	Obras Físicas Propuestas.	110
12.7	LO QUE PLANTEA A FUTURO EL DIAGNOSTICO.....	111
13	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
14	BIBLIOGRAFÍA	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estaciones Climatológicas	7
Tabla 2. Precipitación Anual - Multianual en estaciones	8
Tabla 3. Distribución porcentual por periodos climáticos en estaciones representativas	8
Tabla 4. Distribución de lluvia mensual porcentual en estaciones representativas .	8
Tabla 5. Altura vs. precipitación multianual - Cuenca Río Cravo Sur.....	9
Tabla 6. Precipitación máxima en 24 h por estación para el periodo de retorno...	12
Tabla 7. Distribución de la intensidad de la lluvia en la cuenca del río Cravo Sur ...	12
Tabla 8. Distribución de temperatura en la cuenca del Rio Cravo Sur.....	14
Tabla 9. Caudal multianual del río Cravo Sur.....	26
Tabla 10. Distribuciones estadísticas de caudal - Estación Puente Yopal	30
Tabla 11. Valores medios mensuales de Transporte.....	38
Tabla 12. Resultados del modelo HYMO - 10 para las secciones transversales consideradas	50
Tabla 13. Características del dique en las secciones transversales consideradas	51
Tabla 14. Socavación calculada en las secciones transversales consideradas.....	54
Tabla 15. Principales especies reportadas en la zona.....	95
Tabla 16. Especies de mamíferos reportadas en la zona.	97
Tabla 17. Especies de aves reportadas en la zona.....	98
Tabla 18. Especies de reptiles reportadas en la zona.	98
Tabla 19. Especies de ictiofauna reportadas en la zona.....	98

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Zona de Confluencia Intertropical.....	5
Ilustración 2. Al paso de frentes nubosos del Este, el mayor volumen de precipitaciones se produce en el Piedemonte llanero, Nor-oriente de Antioquia, Chocó y Panamá. La Cordillera actúa como un protector contra las grandes precipitaciones.....	6
Ilustración 3. Distribución de la precipitación en la cuenca del río Cravo Sur.....	10
Ilustración 4. Los clusters nubosos de ZCIT chocan contra la cordillera en el Piedemonte llanero ocasionando abundantes lluvias.	11
Ilustración 5. Distribución de la intensidad máxima de la lluvia en la cuenca del río Cravo Sur	12
Ilustración 6. Distribución de la temperatura en la cuenca del río Cravo Sur	14
Ilustración 7. Las corrientes de vientos generalmente alcanzan alturas de solo unos cientos de metros y son interceptados por las cadenas montañosas.	16
Ilustración 8. Distribución Interanual entre la precipitación - El Morro y el caudal máximo estación Puente de Yopal en el río Cravo Sur	19
Ilustración 9. Lluvia vs. Caudal medio en el año de 1990 - río Cravo Sur.....	20
Ilustración 10. Distribución de la precipitación Estación el Morro - año 1990 - río Cravo Sur	20
Ilustración 11. Distribución del caudal medio año de 1990 - Estación Puente de Yopal - río Cravo Sur	20
Ilustración 12. Variación interanual de los caudales - río Cravo Sur.....	27
Ilustración 13. Distribución anual del caudal medio - río Cravo Sur.....	27
Ilustración 14. Distribución de caudal máximo - río Cravo Sur.....	28
Ilustración 15. Distribución anual del caudal mínimo - río Cravo Sur.....	28
Ilustración 16. Curva de duración de caudales medios - río Cravo Sur	28
Ilustración 17. Curvas de nivel del fondo río Cravo Sur - Estación Puente Yopal	29

Ilustración 18. Fotografía aérea 1936-1938- Fuente IGAC.....	42
Ilustración 19. Fotografía aérea 1995 - Fuente IGAC	43
Ilustración 20. Gavión de protección – Estructura 1.	78
Ilustración 21. Gavión de protección – Estructura 2.	79
Ilustración 22. Sección transversal de la bocatoma.....	80
Ilustración 23. Corte de Sección transversal.....	82
Ilustración 24. Vista en planta de un segmento del canal.....	82
Ilustración 25. Vista lateral de un segmento del canal.....	83
Ilustración 26. Diseño del dique en piedra - cemento.....	83
Ilustración 27. Vista frontal del dique.....	84
Ilustración 28. Obras de protección contra inundación.....	85
Ilustración 29. Estructura del dique para el tramo 2.....	88

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Fotografías Aéreas

Anexo B. Cuadros

Anexo C. Planos

Anexo D. Figuras

Anexo E. Fotografías

Anexo F. Informe de ensayos de Laboratorio

RESUMEN

TÍTULO*:

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACIÓN DE ÁREAS ADYACENTES AL RÍO CRAVO SUR, EN YOPAL

AUTOR (ES):

**PAOLA ANDREA CELIS RIVERA
ROBERTO CARLOS PEDRAZA GOMEZ****

PALABRAS CLAVES:

Amenaza, avalancha, dinámica fluvial, análisis de factores de riesgo, diagnóstico.

DESCRIPCIÓN:

El paso del río Cravo Sur por la ciudad de Yopal, es un hecho histórico que ha significado para este municipio un factor de desarrollo, principalmente porque su presencia ha servido para que sus habitantes suplan necesidades personales, económicas y hasta sociales. Sin embargo a la par de esos beneficios, esta importante arteria fluvial ha sido de tiempo atrás, generadora de situaciones de emergencia en su gran mayoría por efecto de la inundación que sobre algunos sectores de la ciudad ha causado el desbordamiento de sus aguas.

El presente trabajo que en principio pretende hacer un análisis de los factores que en un momento dado pueden determinar el grado de amenaza y los riesgos que entraña el río como coadyuvante y generador de una avalancha, ello a partir de los trabajos existentes que en mayor o menor medida abordan el tema, también se encarga de realizar un diagnóstico técnico del problema para finalmente derivar conclusiones y recomendaciones que contribuyan a anunciar el problema y de esta manera llamar la atención de todos aquellos agentes públicos y privados responsables de su manejo.

El estado del arte así obtenido entrega indicios serios y preocupantes sobre el grado de vulnerabilidad en el que se encuentra actualmente la ciudad. Una situación de indefensión como esta, se explica por la apatía social, el descuido institucional y el desgüeño administrativo con el que se ha asumido el asunto, que como es de esperarse desemboca en una pobre preparación de la ciudad en su conjunto y permite advertir sin mayores esfuerzos que de presentarse una avalancha de cierta magnitud sus consecuencias desbordarían muy probablemente la capacidad de reacción del incipiente y distraído sistema de prevención y atención de emergencias y desastres con que cuenta la ciudad y el departamento.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Mario Avellaneda

ABSTRACT

TITLE:

THREATS AND RISK OF FLASH FLOOD ANALYSIS FOR THE ADJACENT AREA TO CRAVO SUR RIVER *

AUTHOR:

**PAOLA ANDREA CELIS RIVERA
ROBERTO CARLOS PEDRAZA GOMEZ ****

KEY WORDS:

Threats, deluge, rain dynamics, risk factors analysis, diagnostic.

DESCRIPTION:

Historically, the crossing of Cravo Sur river near Yopal, has been a very important development factor, because of the fact that its presence helps all the inhabitants, social and economically speaking, however it is not only benefits but risk of flash floods in some parts of the city.

The following research tries not only to do an analysis of the risk factors like deluges or floods, taking into account some previous researches, but processing data to establish a technical diagnostic assessment in order to have some conclusions and draw up a list of recommendations as well so that relevant authorities intervene in the affair.

The antecedents show serious and worrying evidence about the high level of vulnerability that the city of Yopal has nowadays; social apathy, government oversight and the incapacity of the local authorities are the main reasons to have a defenseless city against the possible contingency, it means that there is not any plan to face an emergency so the ability to react quickly to an unexpected situation is too limited. It is clear that we do not have a prepared team to prevent disasters.

* Monograph.

** Faculty of Physicochemical Engineerings. Chemical Engineering School. Environmental Engineering Specialization. Mario Avellaneda

INTRODUCCIÓN

Son varios los eventos que históricamente se han presentado en la cuenca del río Cravo Sur y que han generado problemas en zonas aledañas a la periferia del casco urbano de Yopal, una muestra de ello es el buen número de obras que existen entre el Puente la Cabuya y las bocatomas de los distritos de riego del municipio.

En la primera semana del mes de agosto de 2003, se presentó una temporada de crecientes muy fuertes que destruyeron parte del talud de la margen derecha del río a la altura de la Urbanización Casas de Mi Río. Para contrarrestar este fenómeno, se colocaron unos hexápodos y un dique con material para impedir que el agua ingresara al brazuelo donde el río había socavado el patio de las viviendas. A finales de 2003, el dique ya presentaba filtración en la parte donde se une con el talud de la margen derecha, lo cual era en ese momento un indicio de la inestabilidad que comenzaba a presentar, foto no. 7-43.

En agosto 02 de 2003, se presentó la última de las crecientes y causó pánico y destrozos del talud de la margen derecha del río especialmente entre los moradores de la Urbanización la Casa del Río, llevándose parte de los patios de las casas, cuando el río Cravo Sur atacaba el talud y se llevaba las cercas y muros. En agosto 01 de 2004 se presenta una creciente de magnitud similar a la que se presentó el 02 de agosto de 2003 y atacó de manera inclemente la margen derecha y erosionó el talud, llevándose lo que quedaba del patio de las casas (Ver foto 10-46).

Desde 1936 se tiene información en fotografías aéreas sobre los eventos que se han presentado en el cauce del río Cravo Sur frente a la ciudad de Yopal, mediante cambios en la morfología del curso del río. En la foto 833 del vuelo 10489- Sobre B – 115 de 07 de enero de 1938 (archivo técnico del IGAC – Bogotá) (Ver Anexo A), se pueden distinguir dos grandes manchas de lodos, correspondientes a avalanchas cuya fecha de suceso no se ha establecido con precisión. Esta situación o catástrofe de carácter natural, cubrió de lodo aproximadamente el 95% del área donde se encuentra en la actualidad la ciudad de Yopal y no se descarta hacia un futuro que se pueda volver a presentar un evento de igual o mayor magnitud.

Las riadas que se originan en la parte media y alta de la cuenca del río Cravo Sur, se pueden llegar a transformar en la parte baja en un flujo de lodo. A éste tipo de flujo se le conoce como avalancha y le es característico la presencia de barro, gravas, agua y bloques o cantos rodados, donde estos elementos sólidos se mueven como un solo cuerpo, su contenido de sólidos es superior al 70% y tiene un carácter destructor de incalculables consecuencias, en contraste con lo que normalmente ocurre en las crecientes normales de agua y sedimentos, donde éstos últimos se mueven por empuje del agua.

La situación de vulnerabilidad por inundaciones se incrementa por la ubicación de asentamientos humanos en la margen derecha del río Cravo Sur, debido al movimiento dinámico de las barras del cauce cuyo proceso se ha intensificado en los últimos seis

años a pesar del interés de las pasadas administraciones del gobierno seccional por definir áreas susceptibles a daños por efecto de las crecientes súbitas, lo que ha originado el desarrollo de estudios acerca de inundaciones en el sector comprendido entre el puente de La Cabuya y las bocatomas del distrito de riego.

El río Cravo Sur frente a la ciudad de Yopal presenta una tendencia de moverse o correrse hacia la derecha, una vez analizadas las fotografías aéreas de los últimos 70 años. La ciudad de Yopal se ha construido sobre el talud de la margen derecha, el cual presenta una altura que varía entre 3 a 6 metros, y no ha sido ajena al ataque del flujo al presentarse permanentemente fenómenos de socavación y erosión diferencial del talud. Las crecientes se forman generalmente en la parte media de la cuenca del río Cravo Sur (cotas 600 a 900 m.s.n.m. aproximadamente), donde se producen aguaceros de gran magnitud en cuanto a volumen (mm) e intensidad (mm/h). Una de las particularidades que presenta el río Cravo Sur en el abanico de Yopal, es la forma o régimen morfodinámico trenzado, caracterizado por numerosas barras, llamadas también como islas y brazuelos, por donde se transitan las aguas altas al paso de las crecientes. Es muy difícil establecer el volumen de agua que se distribuirá por cada uno de los brazos, pero lo que sí se puede establecer es la tendencia aproximada del flujo.

A continuación, nos permitimos presentar un análisis técnico sobre las amenazas y riesgos por inundación que plantea el paso del Río Cravo Sur por el sector urbano del municipio de Yopal, fundamentado en la consulta de fuentes de información secundaria, entre las cuales se encuentran aquellos estudios realizados para el diseño de obras de protección contra inundaciones en los sectores de la ciudad de Yopal por donde el río hace su recorrido, tales como: “Diseño de obras contra inundaciones en el río Cravo Sur, tramo puente La Cabuya – Hospital de Yopal, zona de protección ambiental parque de La Iguana, Municipio de Yopal – Departamento de Casanare - 2003” y “Diseño de obras contra inundaciones en el río Cravo Sur, tramo Hospital de Yopal – Bocatomas distrito de riego - 2004”. La información presentada, ha sido extraída en gran parte de dichos estudios, ya que son los más completos y representativos que sobre el tema se hayan realizado, y adicional a lo anterior, no se encontró información reciente acerca de esta temática. Sin embargo, el hecho de que la información corresponda a años anteriores no incide en la validez de los datos, ya que ella tiene poca variabilidad de un año a otro.

Lo que se propone con este trabajo en líneas generales, es abordarlo inicialmente mediante la recopilación de información de los elementos principales de meteorología, hidrología, hidráulica, geotecnia, geología, geomorfología y presentarlos como factores que planteen amenazas y riesgos por inundación del río Cravo Sur en áreas adyacentes al municipio de Yopal. Seguido a lo anterior, se describe el componente biótico y aspectos socioeconómicos y culturales existentes en el área objeto de estudio. Además, se busca presentar las obras de protección propuestas por los estudios y diseños considerados.

Con lo anterior, el documento presentará un diagnóstico técnico de las amenazas y riesgos por inundación, debido al desbordamiento del río y finalmente proponer la realización de estudios que complementen y actualicen los que ya existen o de nuevos estudios, con el fin de abordar y solucionar la problemática de manera integral.

Finalmente, esperamos que con la divulgación de este documento entre los organismos competentes en la materia, se tenga un elemento técnico que unido a los que ya existen, contribuya para futuros estudios e investigaciones, los cuales puedan dentro de pocos años producir la información suficiente para el manejo futuro del río Cravo Sur.

1. INFORMACIÓN BASE

Tomando en consideración que para el trabajo se requirió obtener información de fuentes secundarias acerca de los elementos que constituyen factores de amenaza y riesgo por inundación, se hizo necesario acudir a la revisión de documentos que presentaran este tipo de información y dentro de los que permitían cumplir con este propósito se encontraron los siguientes:

- Estudio y diseño de obras de protección contra inundaciones en el río Cravo Sur, tramo Puente de La Cabuya- Hospital de Yopal, zona de protección ambiental parque natural La Iguana municipio de Yopal.
- Diseño de obras de protección contra inundaciones en el río Cravo Sur, tramo hospital de Yopal-zona de ubicación de bocatomas de los canales del distrito de riego del río Cravo Sur, municipio de Yopal.
- Consultoría definición de obras para la protección contra inundaciones del río Cravo Sur área urbana de Yopal.
- Análisis morfométrico y diseño de obras de protección riberas del río Cravo Sur, vereda Punto Nuevo sector finca Puerto Rico, municipio de Yopal.

Los estudios consultados contienen información del IDEAM y del IGAC, dentro de los primeros, se tiene el Estudio de espacialización de unidades productivas y adecuación de tierras para la consolidación de distritos de desarrollo realizado por la Secretaria de Desarrollo Económico de la Gobernación de Casanare en el año 2003, y un libro base para el diseño de obras titulado “Manual de Ingeniería para el control de la erosión” del Ingeniero Jaime Suárez Díaz de la Universidad Industrial de Santander, y del mismo autor el nuevo libro sobre obras de protección en zonas tropicales editado por el mismo centro universitario.

Dentro de los segundos, se consultó el siguiente material:

- Planos a escala 1:100.000 del IGAC donde se trazaron isoyetas e isotermas.
- Planos departamentales de Casanare y Boyacá escala 1:500.000 del IGAC.
- Fotografías aéreas de Yopal a diferentes escalas y para los siguientes años: 1938, 1959, 1961, 1979, 1981, 1988, 1992 y 1995.
- Planos departamentales de Casanare y Boyacá sobre localización de estaciones metereológicas a escala 1:500.000 del HIMAT – hoy IDEAM.
- Planos de los ríos Guaviare, Inírida, Meta, Vichada, Tomo y Arauca del HIMAT – hoy IDEAM.
- Anuario hidrológico de 1987, vertiente 6.2 del Orinoco, sobre localización de estaciones hidrológicas a escala 1:500.000.
- Plano de la distribución de la precipitación en Colombia-1985, a escala 1:1'500.000 del HIMAT – hoy IDEAM.
- Plano de la distribución de la temperatura en Colombia-1987, a escala 1:1'500.000 del HIMAT - hoy IDEAM.

La información hidrológica y meteorológica usada proviene de registros de las siguientes estaciones: Estación hidrológica limnigráfica - Puente de Yopal (ubicada junto al puente La Cabuya), Estación hidrológica limnigráfica – La Cabaña (ubicada cerca de la confluencia de la quebrada La Tablona en el corregimiento del Morro), Estación pluviométrica (ubicada en Yopal), Estación pluviométrica (ubicada en el corregimiento del Morro) y Estación sinóptica secundaria ubicada en el aeropuerto El Alcaraván en Yopal.

Para las fotografías aéreas, se usaron las obtenidas en los vuelos que se señalan a continuación:

- Vuelo B – 115 Sobre 10489 – 7 de enero de 1938 – Fotos 832 y 833.
- Vuelo M – 545 Sobre S-382 – 8 de febrero de 1959 – Fotos 6277 y 6278.
- Vuelo R – 464 Sobre S-2376 – 2 de enero de 1961 – Foto 1795.
- Vuelo 1873 Sobre 29621 – 2 de enero de 1979 – Foto 202.
- Vuelo C – 2047 Sobre 31379 – 20 de diciembre de 1981 – Fotos 203 y 204.
- Vuelo C – 2325 Sobre 34483 – 6 de enero de 1988 – Fotos 144 y 145.
- Vuelo C – 2486 Sobre 36411 – 25 de septiembre de 1992 – Fotos 042 y 043.
- Vuelo C – 2563 sobre 37135 – 11 de febrero de 1995 – Fotos 003 y 004.

2. CLIMATOLOGÍA

2.1 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA

2.1.1 De la región de la Orinoquía. En términos generales, la precipitación para toda la región de la Orinoquía tiene un comportamiento monomodal, cuya incidencia se deriva del movimiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), la cual es una franja de bajas presiones ubicada en la zona ecuatorial, y en ella confluyen los vientos alisios del sureste y del noreste, las Ondas del Este, los vientos huracanados del caribe, y la transferencia de las masas húmedas del Brasil (Ver Ilustración 1.). Lo anterior, sumado a una topografía caracterizada por llanura, piedemonte y vertientes, hacen que entre los meses de marzo a noviembre se presente nubosidad, lo cual conlleva a un sistema de distribución interanual muy homogéneo en toda el área del piedemonte llanero, sitio donde se ubica el municipio de Yopal.

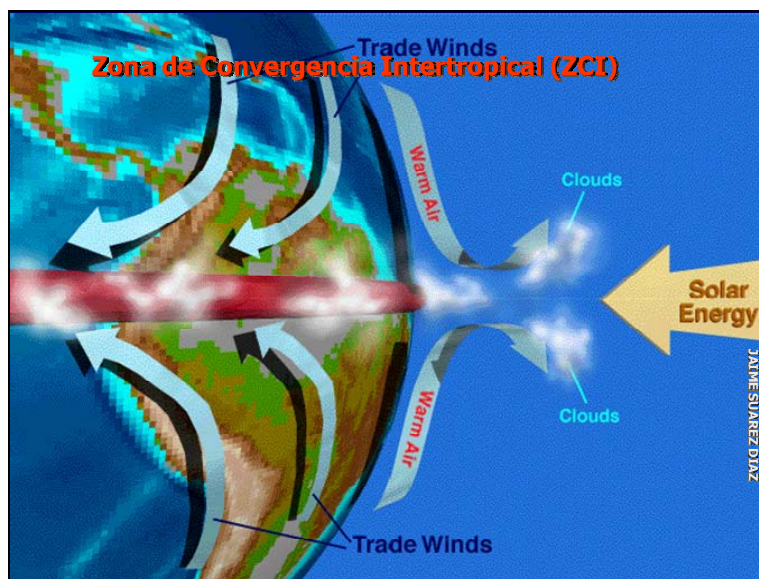


Ilustración 1. Zona de Confluencia Intertropical

Este comportamiento modal en parte se origina del régimen bimodal que caracteriza los periodos de lluvia en la gran mayoría del territorio colombiano, lo cual se explica por el movimiento de un cinturón de nubes con un gran desarrollo que provoca abundantes lluvias y es lo que se conoce como ZCIT. Este sistema asciende desde los 3 grados latitud sur hasta los 15 grados latitud norte y su movimiento irriga dos veces por año un mismo lugar en el territorio. La presencia de este sistema en el norte origina en gran parte, los huracanes que se mueven desde las costas africanas hacia el golfo de México y la parte sur de Estados Unidos. Ello hace que la humedad, que recoge en la parte sur del

continente al transitar sobre la selva amazónica, se incrementa debido a procesos de evapotranspiración y que al chocar contra la cordillera oriental acentúa el periodo de verano en la región de la Orinoquía, pero si al contrario, lo que se presenta es una ausencia de huracanes en el Caribe o éstos se encuentran muy alejados de nuestro territorio, se abre la posibilidad para que sistemas nubosos ingresen por la parte nororiental del país que contribuyen con la pluviosidad del año y este fenómeno es conocido como Ondas del Este.

En conclusión, se podría decir que el régimen monomodal de la Orinoquía está altamente influenciado por la dinámica atmosférica y de sus sistemas que atraviesan su territorio de manera sucesiva durante el año.

2.1.2 De la cuenca del Río Cravo Sur. Con base en las observaciones de campo se puede establecer que las crecientes del río Cravo Sur frente a la ciudad de Yopal duran de dos a tres días a partir del momento en que se incrementa el nivel de agua y éste retorna a su nivel inicial. Estas crecientes se generan por los aguaceros de la parte media y alta de la cuenca, sin embargo, cuando se presentan aguaceros de manera continua, la creciente del río puede tardar en retornar a su nivel inicial hasta una semana (Ver Ilustración 2.). Cuando la lluvia es muy fuerte sobre la ciudad de Yopal y no ocurre lo mismo en la parte media o alta de la cuenca, el aumento del nivel de agua sobre el río es insignificante.



Ilustración 2. Al paso de frentes nubosos del Este, el mayor volumen de precipitaciones se produce en el Piedemonte llanero, Nor-oriental de Antioquia, Chocó y Panamá. La Cordillera actúa como un protector contra las grandes precipitaciones.

Generalmente al paso de frentes nubosos del Este, el mayor volumen de precipitaciones se produce en el Piedemonte llanero, Nor-oriental de Antioquia, Chocó y Panamá. La Cordillera actúa como un protector contra las grandes precipitaciones.

2.2 PRECIPITACIÓN

Para la descripción de esta variable referente a la cuenca del río Cravo Sur se tomó como base la información de las estaciones climatológicas localizadas en la zona, tales como: Aeropuerto El Alcarván que presta sus servicios a la ciudad de Yopal, municipio de Aguazul, El Cardón, Municipio de Tauramena y Corinto, además de dos estaciones pluviométricas ubicadas en el corregimiento del Morro, perteneciente al municipio de Yopal y el municipio de Pajarito (Boyacá).

La altitud y coordenadas de las estaciones anteriormente mencionadas son las siguientes:

Tabla 1. Estaciones Climatológicas				
ESTACIÓN	TIPO DE ESTACIÓN	ALTITUD (m.s.n.m)	COORDENADAS	
			NORTE	ESTE
Aeropuerto de Yopal	Metereológica – Sinóptica Secundaria	325	0510	7233W
Aguazul	Metereológica	380	0510	7233W
Corinto	Metereológica	1550	0525	7243W
El Cardón	Metereológica	3590	0601	7232W
Pararito	Metereológica	842	0517	7242W
El Morro	Metereológica-Pluviométrica	656	0528	7228W

Como se puede observar en la tabla anterior, dentro del área objeto de estudio, existe un número y tipo de estaciones climatológicas que resultan aceptables y valiosas como fuente de información. Como parte de estas estaciones, las más representativas para los fines del presente estudio son: La estación hidrológica de tipo limnigráfica llamada Puente Yopal, localizada en el puente La Cabuya y la estación metereológica sinóptica secundaria localizada en el Aeropuerto El Alcaraván, de la ciudad de Yopal. En la primera se toman registros históricos del nivel de agua, caudales y transporte de sedimentos y en la segunda se registra información de tipo climatológico tales como precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad del aire, tensión de vapor, brillo solar y evaporación. En el Cuadro 1 (Ver Anexo B) se presenta un resumen de la información climatológica para la estación Aeropuerto Yopal. En el Cuadro 2 (Ver anexo B) las características pluviométricas de las estaciones el Morro, Pajarito y Chámeza.

Teniendo presente que la lluvia promedio del país es de 3000 mm y que para la cuenca del río Cravo Sur se establece una precipitación media multianual de 2500 mm, se tiene que ello demuestra la alta tasa de precipitación que presenta esta cuenca aguas arriba de la ciudad de Yopal.

A continuación se presenta un análisis del comportamiento de la precipitación en la cuenca a partir de los registros arrojados por las estaciones anteriormente mencionadas.

Tabla 2. Precipitación Anual - Multianual en estaciones de la cuenca del Río Cravo Sur

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)
Aeropuerto Yopal	2302.4
Yopal	2769.1
El Morro	3673.9
El Cardón	2602.8
Pajarito	4110.0
Aguazul	2725.8
Tauramena	3013.1

Dentro del área total de la cuenca del río Cravo Sur, se aprecia según la Tabla 2 que la estación que registra los valores más altos de precipitación, es la de Pajarito, la cual se encuentra localizada en la parte alta de la cuenca, en consecuencia se podría pensar que fenómenos de inundación del río en la ciudad de Yopal tienen un origen significativo en este sector. Al describir la distribución de la lluvia media anual a nivel de grandes cuencas hidrográficas se puede deducir que en la cuenca del río Cravo Sur la precipitación aumenta de 2302 mm en la estación Aeropuerto Yopal a 3673.9 mm en El Morro, para luego descender a los 1000 mm en su nacimiento. De Yopal hacia la desembocadura en el río Meta, la precipitación disminuye hasta los 1900 mm y en sectores muy cercanos al río Meta, vuelve a aumentar hasta los 2200 mm.

Tabla 3. Distribución porcentual por periodos climáticos en estaciones representativas

ESTACIÓN	VERANO (%)	INVIERNO (%)
Estación 1. Aeropuerto El Alcaraván	6.89	93.05
Estación 2. El Morro	9.27	89.59
Estación 3. El Cardón	6.41	93.55

Tomando como estaciones representativas las presentadas en la Tabla 3, se tiene que la tendencia de la distribución porcentual en cantidad de lluvia que se registra para el periodo monomodal resulta muy similar entre ellas.

Tabla 4. Distribución de lluvia mensual porcentual en estaciones representativas

Mes	% De lluvia mensual en cada estación		
	Aeropuerto	El Morro	El Cardón
Enero	0.26	0.91	1.01
Febrero	2.02	0.37	2.20
Marzo	3.69	1.85	3.75
Abril	12.12	3.28	8.57
Mayo	14.68	10.50	11.60
Junio	12.76	14.30	15.06
Julio	12.24	14.20	17.45
Agosto	11.62	12.83	14.34
Septiembre	12.43	12.83	9.97
Octubre	10.52	12.12	7.75
Noviembre	6.59	11.16	4.85
Diciembre	0.92	5.61	2.31

En la Tabla 4 se observa una tendencia que refleja y confirma el comportamiento monomodal del régimen de lluvias que se presenta en la cuenca del río Cravo Sur, es así como durante los meses de enero, febrero, marzo y diciembre, se precipita máximo en promedio sobre la cuenca menos del 10% del total de la lluvia que cae durante los 8 meses restantes considerados como periodo de invierno, siendo el mes de enero el más seco para las estaciones 1 y 3 y febrero para la estación 2.

Las crecientes se forman en la parte media de la cuenca, durante los meses de junio y julio que afectan la ciudad de Yopal, sin embargo, durante el mes de agosto se presenta el mes más húmedo en la parte alta de la cuenca (Estación 3), que combinado con un porcentaje de aproximadamente el 13% de lluvia (valor de agosto en la Estación 2) de la parte media de la cuenca, puede convertir el mes de agosto en un periodo generador de fuertes crecientes en el río Cravo Sur. El periodo húmedo en la cuenca está comprendido entre los meses de abril a noviembre, donde el mes más húmedo para la estación 1, 2 y 3 es mayo, junio y julio, respectivamente.

Del plano de isoyetas (Ver Plano 3 – Anexo C) medias multianuales encontrado para la cuenca del río Cravo Sur, se aprecia la siguiente distribución espacial de la lluvia dentro de la cuenca.

Tabla 5. Altura vs. precipitación multianual - Cuenca Río Cravo Sur		
PUNTO - CUENCA	ALTURA (m.s.n.m)	PRECIPITACIÓN MULTIANUAL (mm)
Yopal	350	2500
Buenavista	600	3000
El Morro	800	3500
Muchita	1000	2500
Volador	1200	2000
La Florida	1400	1800
Salinas de Mengua	1800	1800
El Chuscas	2000	2000
Páramo de Cadilla	3700	1200

A partir de la Tabla 5 se confirma que es la parte media de la cuenca, representada por la estación de El Morro, la que aporta los mayores niveles de precipitación ubicándose en ella valores alrededor de los 3500 mm. Lo anterior explicado por el núcleo de precipitación de gran desarrollo que se localiza sobre esta zona. Este núcleo se distribuye por el sector del piedemonte entre Pajarito, el CPF de Cupiagua la parte media del río Charte y el caserío del Morro. Existe otro núcleo con valores un poco más bajos (2000 – 2500 mm) que se extiende desde Tauramena hasta la estación del Tablón de Támara y que se desplaza a lo largo de la parte media de la vertiente en sentido suroeste-noreste. En términos generales hay un aumento de la precipitación hasta los 1200 m.s.n.m. y a partir de este punto se presenta una disminución paulatina hasta el nacimiento del río Cravo Sur. En la Figura 1 (Ver anexo D) se puede establecer la forma como se distribuye la precipitación con la altura sobre el nivel del mar para el piedemonte llanero partiendo desde la sabana hasta el nacimiento del río Cravo Sur.

Del Plano No. 4 - ISOYETAS DEL AREA DE ESTUDIO (Ver Anexo C) que corresponde al de las isoyetas medias multianuales obtenidas a partir de la Tabla 5 se puede apreciar que en el tramo comprendido entre el Puente de La Cabuya, donde la precipitación media multianual es de 2800 mm y las bocatomas del distrito de riego, se presenta una variabilidad importante en la precipitación. Se trata de una longitud de tramo de 3 km donde existe una variación de 300 mm de precipitación, lo anterior puede ser explicado por los aguaceros que suceden en la parte media de la cuenca o en cercanías al corregimiento de El Morro que al bajar por la cuenca y al llegar al puente de La Cabuya genera un represamiento que no permite que el tránsito de esta creciente sea registrada en un tiempo razonablemente corto en el punto final del tramo como es la bocatoma del canal de Los Militares donde la precipitación media multianual es 2500 mm.

La precipitación máxima en 24 horas corresponde a los volúmenes máximos diarios de la lluvia registrada en una estación meteorológica. Muchos de estos valores pueden llegar a representar los aguaceros máximos, ya que corresponde a una lluvia que se presenta especialmente durante la temporada de invierno donde la precipitación diaria son una serie de aguaceros pequeños o chubascos , o uno o dos aguaceros fuertes acompañados de lloviznas continuas durante todo el día, dando lugar a un solo volumen de agua precipitada y que finalmente van a formar parte de una escorrentía que se distribuye de manera casi uniforme en una cuenca hidrográfica tan grande como la del río Cravo Sur (Ver ilustración 3.)

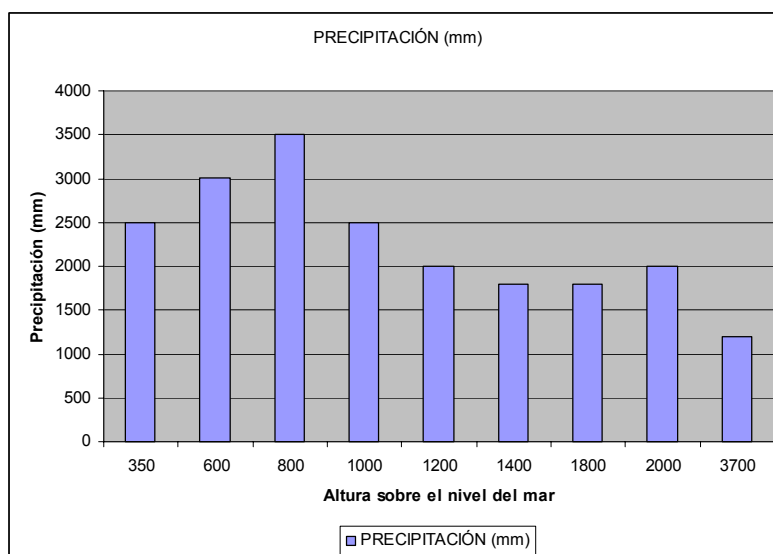


Ilustración 3. Distribución de la precipitación en la cuenca del río Cravo Sur



Ilustración 4. Los clusters nubosos de ZICIT chocan contra la cordillera en el Piedemonte llanero ocasionando abundantes lluvias.

En el Cuadro 3 del Anexo B, se presenta un cuadro con los análisis de frecuencia a partir de los valores de la precipitación máxima en 24 horas registrada para las 7 estaciones meteorológicas más confiables en la zona. A cada una de las series empíricas (registradas en las estaciones) se ajustó la distribución teórica más acorde con los parámetros estadísticos y se obtuvieron los valores de intensidad máxima para periodos de retorno de 2, 2.33, 5, 10, 20, 50, 100 y 150 años. Las distribuciones se ajustaron por el método de máxima verosimilitud. Los valores obtenidos para los valores de retorno en cada una de las estaciones se presentan en el cuadro antes señalado. De igual forma, se presentan los valores de los coeficientes de variación, asimetría y curtosis de cada una de las series, mediante los cuales se definió la distribución seleccionada para cada serie.

En la Tabla 6 se presenta los valores de precipitación máxima en 24 horas en las estaciones más representativas de la región. De los aguaceros máximos históricamente registrados en el Casanare, los valores mas bajos se registran en la parte alta de las cuencas del río Cravo Sur y Cusiana. Así por ejemplo, en el Cardón se han presentado 90 mm como lluvia máxima en 24 h, en Toquilla 70 mm y en el sector opuesto a la cordillera 90 mm en Monguí y 72 mm en Curital. La lluvia máxima aumenta a medida que se desciende por la cuenca y a la altura del Morro se han registrado aguaceros con precipitación de 185 mm y ha disminuido a 150 mm en el municipio de Yopal. Hacia la parte baja de la cuenca en cercanías al río Meta se han registrado 160 mm en la Poyata, 231 mm en Gaviotas, 185 mm en Orocué y 180 mm en la Pradera. Es decir, se presenta una situación similar a la precipitación total, aumenta la intensidad de los aguaceros entre el nacimiento del río y la parte media (El Morro), luego disminuye hacia el municipio de Yopal y vuelve a aumentar hacia la desembocadura del río Meta en Orocué.

Tabla 6. Precipitación máxima en 24 h por estación para el periodo de retorno				
ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN MÁXIMA – Tr en años en (mm)			
	Periodo de retorno			
	2.33	10	20	100
El Cardón	58	72	79	93
El Morro	128	154	166	192
Aeropuerto Yopal	108	135	144	160

En la tabla 7 se muestra la tendencia de la precipitación en función de la distribución altitudinal para diferentes puntos geográficos pertenecientes a la cuenca del río Cravo Sur.

Tabla 7. Distribución de la intensidad de la lluvia en la cuenca del río Cravo Sur		
Punto – Cuenca	Altura (m.s.n.m.)	Precipitación máxima en 24 horas (mm)
Yopal	350	110
Buenvista	600	120
El Morro	800	125
Muchita	1000	110
Volador	1200	80
La Florida	1400	70
Salinas de Mengua	1800	60
El Chuscas	2000	50
Páramo de Cadilla	3700	50

En la siguiente ilustración se aprecia la distribución de la intensidad máxima en 24 horas dentro de la cuenca

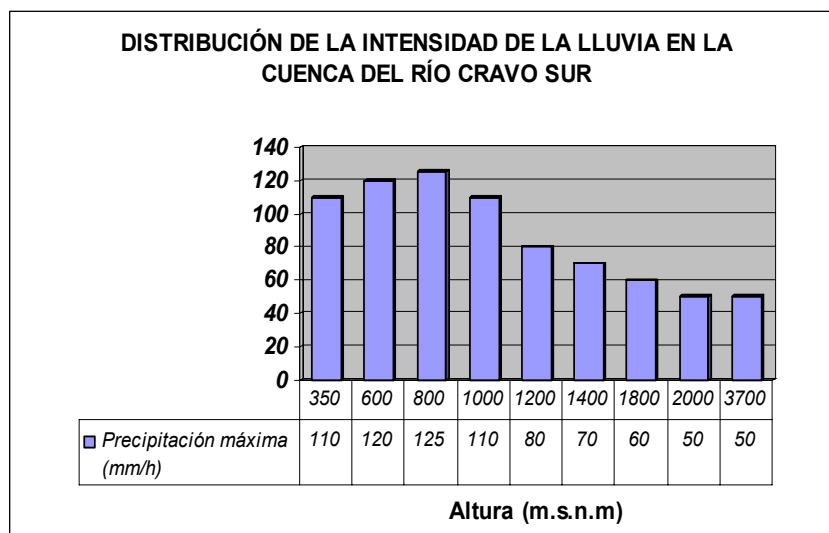


Ilustración 5. Distribución de la intensidad máxima de la lluvia en la cuenca del río Cravo Sur

A partir del análisis de los datos anteriores y de la distribución en la gráfica se concluye que la intensidad máxima de precipitación se registra a la altura de El Morro, por tanto, las crecientes fuertes son generadas por este sector.

Respecto al número de días con lluvias en el año, se presenta una situación muy particular asociado con la nubosidad de la cuenca, donde el mayor número de días con lluvia se registra en la parte alta de la cuenca, es así como en el Cardón y Toquilla se presenta un promedio de 30 y 31 días al mes respectivamente, en El Morro 28 días al mes y continúa disminuyendo hacia la parte de la sabana con un promedio de 24 a 28 días en la ciudad de Yopal. Estos valores siguen disminuyendo a 22 días en la estación de San José y 19 días en San Luis de Palenque, para luego aumentar hacia la desembocadura en el río Meta con 30 eventos registrados en Gaviotas.

2.3 TEMPERATURA

Como es conocido, la temperatura de las zonas depende de diversos factores, uno de ellos es la altura sobre el nivel del mar en la cual se encuentre la estación de medición. Las principales diferencias en la temperatura están condicionadas por la presión barométrica y las variaciones se dan prácticamente durante el día, pero esas oscilaciones son insignificantes si se comparan con las que se presentan en las regiones septentrionales de nuestro planeta.

Conforme a lo anterior, la temperatura altitudinalmente en la vertiente de la cordillera oriental presenta los siguientes registros para las diferentes estaciones:

- En Aguazul el promedio multianual es de 26.1 °C, con variaciones máximas absolutas entre 20 y 29.8 °C. En esta estación se puede apreciar una variación puntual muy reducida en los valores mensuales multianuales.
- La temperatura media anual en el aeropuerto de Yopal es de 26.2 °C, con mínimos de 22.1 y máximos de 28.5 °C
- En el Cardón la temperatura promedio multianual es 6 °C con variaciones entre 4.4 °C y 7.7°C
- En la estación de Corinto el promedio multianual es de 18.4 °C con un rango de variabilidad de entre 16.1 °C y 20.5 °C.
- Para el corregimiento de El Morro no se establece debido a que la estación allí instalada es de tipo pluviométrico.

Analizando la distribución en la ciudad de Yopal se tiene que, entre los meses de noviembre a mayo se presentan las mayores temperaturas, alcanzando valores de 28.4 °C (febrero). El valor más bajo de temperatura se presenta en los meses de julio, agosto y septiembre, siendo agosto el mes que registra la temperatura más baja del año con 22.1 °C. Para el tramo entre el puente La Cabuya y las bocatomas del distrito de riego, la temperatura media anual es de 26 °C. En la tabla 8 se indican los valores de temperatura en función de la altura.

Tabla 8. Distribución de temperatura en la cuenca del Río Cravo Sur		
Punto-cuenca	Altura (m.s.n.m)	Temperatura media Anual (°C)
Yopal	350	26
Buenavista	600	22
El Morro	800	20
Muchita	1000	18
Volador	1200	16
La Florida	1400	13
Salinas de Mengua	1800	10
El Chuscas	2000	8
Páramo de Cadilla	3700	6

A continuación se presenta un gráfico donde se ilustra el comportamiento de la temperatura a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar.

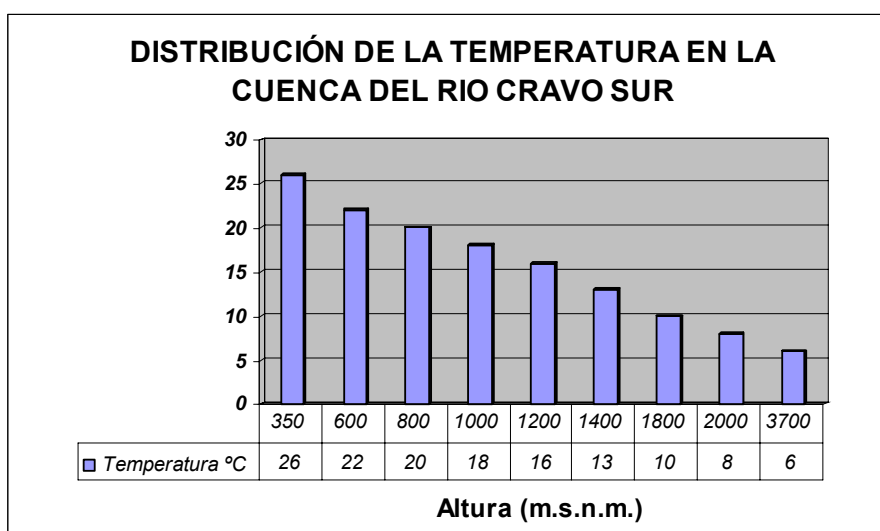


Ilustración 6. Distribución de la temperatura en la cuenca del río Cravo Sur

La tendencia que se presenta en la ilustración 6 muestra que la temperatura disminuye a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar con una variación de aproximadamente 8 °C en una diferencia de aproximadamente 600 metros entre las estaciones.

En el piedemonte llanero correspondiente al departamento del Casanare, la mayor variación se produce entre el nacimiento del río Cravo Sur, comparado con su parte media baja, oscilando entre 6 °C y 26 °C, respectivamente.

Con ayuda del plano de isotermas de Colombia elaborado por el HIMAT (hoy IDEAM), en 1987, y la información de las nueve estaciones climatológicas de la zona, se elaboró un plano aproximado de isotermas, el cual se presenta en el Plano No. 5 (Ver Anexo C). En este mismo plano se muestra un esquema de distribución altitudinal de la temperatura, es así como él muestra un valor 26 °C para la zona por donde se distribuyen los canales.

2.4 HUMEDAD RELATIVA

Este parámetro representa el porcentaje de vapor efectivamente presente en comparación con la saturación en las condiciones de temperatura y presión existentes. La variación de la humedad relativa refleja los periodos de lluvia y sequía, ocurridos durante el año, presentando humedades bajas en los meses de menor precipitación y altas en los meses más lluviosos.

La humedad relativa promedio en la estación del aeropuerto Yopal es del 75%, con variaciones máximas absolutas entre 54 y 89%, en El Cardón el aire tiene una humedad relativa promedio de 88% y una amplitud multianual entre 33 y 100%.

De lo anterior se puede inferir cómo a medida que se asciende por la vertiente de la cordillera oriental, la humedad relativa del aire aumenta, especialmente en los valores mínimos, donde se presenta la mayor diferencia. Los valores mínimos de este parámetro se presentan entre enero, febrero y marzo, y el mes con una mayor humedad relativa media es junio con un 84%.

2.5 OTROS PARÁMETROS

Para los demás parámetros meteorológicos, es difícil establecer su variación espacial, ya que no todas las estaciones registran los mismos elementos climatológicos. Por lo tanto, se hace una descripción puntual (a nivel de estaciones) de cada uno de ellos.

2.5.1 Evaporación. La variación mensual en la evaporación, cubre rangos con valores mínimos de 50.2 mm en octubre y máximos de hasta 303.3 mm en enero. En general, el valor promedio de evaporación en la estación El Alcaraván de Yopal, es de 126.6 mm/año, apreciablemente menor que la precipitación (2302.4 mm/año), por lo cual existe un considerable exceso hídrico durante la mayor parte del año; este exceso está repartido entre el agua de escorrentía y la infiltración natural del suelo. En áreas donde la cobertura vegetal sea mínima o haya desaparecido totalmente, habrá incrementos en la escorrentía superficial y por ende aumento en los caudales naturales de los ríos de la llanura.

2.5.2 Brillo solar. El brillo solar efectivo es el tiempo durante el cual ha brillado (un día, un mes o un año). El valor de brillo solar medio en el aeropuerto de Yopal, es de 1788 horas de sol al año, con valores mensuales mínimo y máximo de 55.2 y 268 horas, respectivamente.

2.5.3 Nubosidad. La nubosidad en el aeropuerto de Yopal se presenta en un promedio de 5 octas con mínimo de 1 y máximo de 7 octas/día, mientras que en El Cardón el promedio es de 6 octas y varía entre 2 y 8. Con la información registrada en la estación El Cardón demuestra que a medida que se asciende en la cordillera, la nubosidad aumenta.

2.5.4 Tensión de Vapor. La tensión de vapor media en el aeropuerto de Yopal es de 25.5 milibares, con variaciones entre 21.5 y 31.2 milibares. En Corinto el promedio es de 19.2 milibares, con una amplitud entre 16.6 y 22.3 milibares y en El Cardón el promedio es de 8.8 milibares y varía entre 7.1 y 10.0 milibares.

2.5.5 Velocidad del viento. En la parte de la sabana los parámetros sufren leves variaciones en sentido espacial y temporal entre estaciones. El único parámetro que

parece modificar su valor sustancialmente, es el viento, disminuyendo a medida que se acerca a la desembocadura de las dos grandes cuencas Cravo Sur y Cusiana. La velocidad promedio del viento en el aeropuerto de Yopal es relativamente alta, presentándose un valor de 3.2 m/s a nivel anual multianual, con variaciones máximas de 1.9 m/s para el mes de julio y de 5.0 m/s para el mes de enero. Los valores de la velocidad media del viento se incrementan en dirección de Yopal hacia Tauramena. En la estación de Gaviotas (localizada más adentro del llano), la velocidad media anual es de 1.9 m/s, con el máximo en enero de 5.4 m/s y el mínimo en octubre de 0.9 m/s (Ver ilustración 7).



Ilustración 7. Las corrientes de vientos generalmente alcanzan alturas de solo unos cientos de metros y son interceptados por las cadenas montañosas.

2.5.6 Evapotranspiración (ETP). La ETP decadal se estimó por el método de Penman, ya que según el HIMAT (hoy IDEAM), es el procedimiento que más se ajusta a las condiciones de nuestro país, y el que mayor número de parámetros climatológicos involucra, a saber: brillo solar, humedad relativa, tensión de vapor y velocidad del viento. Tanto la ETP como el balance hídrico se estimaron para las nueve estaciones climatológicas existentes en la zona.

En el Cuadro No. 4 (Ver Anexo B) se presentan los valores mensuales obtenidos de la ETP estimada para las estaciones de la zona, entre las que se mencionan: Aguazul, Aeropuerto de Yopal, Corinto, El Cardón y Tauramena.

En el Aeropuerto de Yopal para un año típico la ETP potencial estimada es de 2165.3 mm, comparado con 2302 mm de precipitación, se deduce que la ETP a nivel multianual es menor a la precipitación. El máximo decadal de la ETP se presenta en la séptima década del año con 75.26 mm para el aeropuerto de Yopal y con mínimos de 48.63 mm en la segunda década de noviembre.

En el Cuadro No. 5 (Ver Anexo B) se presentan los valores de ETP decadal para la estación aeropuerto de Yopal.

En la parte baja de la cuenca del río Cravo Sur, muy cerca de la desembocadura del río Meta, la ETP es del orden del 1000 mm y la precipitación es de 2100 mm; la ETP aumenta hacia el sector de Yopal, con valores cercanos a los 1500 mm y la precipitación es del orden de los 2500 mm. Luego la ETP disminuye hacia la parte alta de la cuenca del río Cravo Sur, alcanzando valores de 800 mm en el nacimiento y la precipitación es de 1000 mm aproximadamente. Si descontamos una lámina de escorrentía equivalente a más o menos 100 mm a nivel anual, se puede deducir que existe un exceso de agua en el suelo en la zona de aproximadamente entre 1000 mm en la parte baja, de 750 mm en la parte media (Yopal) y de 300 mm en la parte más alta de las cuencas.

A lo largo del piedemonte de la cordillera oriental el clima es muy húmedo entre los meses de marzo a noviembre y por lo tanto hay atenuación de la radiación solar que llega a su superficie, esto incide notoriamente para que los valores estimados de la ETP anual no sean tan altos, los cuales giran alrededor de los 1200 mm, y sobre la línea del piedemonte, desde la frontera con el Ecuador hasta la de Venezuela. Adentrándose hacia el interior de la sabana, el incremento en los valores de la ETP es significativo por el aumento en la radiación y en manera inversa la precipitación. Siguiendo esta tendencia climática, se encuentra que los mayores valores de la ETP anual, se encuentran en la Orinoquía.

2.6 BALANCE HÍDRICO

El Balance hídrico se elaboró con base en la metodología propuesta por Palmer para una probabilidad de precipitación promedio del 50% (Probabilidad de que ocurran valores iguales o superiores a los obtenidos, en 2 de cada 4 años) y con la información climatológica de las 5 estaciones climatológicas. El balance hídrico con probabilidad del 25% se utiliza con fines de drenaje (Probabilidad de que ocurran valores iguales o superiores a los obtenidos, en 1 de cada 4 años); el balance hídrico con probabilidad del 75% se utiliza con fines de riego (Probabilidad de que ocurran valores iguales o superiores a los obtenidos, en 3 de cada 4 años).

El balance hídrico consiste en un diagrama en donde se compara la evapotranspiración potencial estimada, con respecto a la precipitación registrada en la estación a nivel decadal. Para estimar la evapotranspiración potencial (mm/mes), el cálculo se basa en los datos de temperatura, tensión de vapor, humedad relativa, brillo solar, velocidad del viento y la precipitación decadal (promedio de 10 días consecutivos).

La parte alta de las cuencas se puede caracterizar con los valores obtenidos para la estación de El Cardón. En dicha estación, se presenta un cuadro típico de páramo, ya que al estimar el balance hídrico se aprecia un exceso de agua de la décima década del año a la década treinta y cuatro (34), es decir, entre mediados de marzo a finales de noviembre.

La parte media alta se puede caracterizar con la estación Corinto, donde se presenta un periodo de excesos de agua en el suelo, de la novena década a la última del año y el resto del año presenta déficit. La parte media baja se caracteriza con la estación del Aeropuerto Yopal, donde se presenta un periodo de exceso de agua que se prolonga durante cinco meses, más exactamente desde la primera década de mayo a la tercera década de octubre, presentando el sector una evapotranspiración potencial bastante menor a la precipitación. El periodo de almacenamiento corresponde con el inicio de la temporada de lluvias (abril).

El periodo de exceso es seguido por uno de utilización o consumo de la humedad del suelo, el cual se presenta durante noviembre, cuando empieza la época de déficit de agua, prolongándose durante los primeros meses del año, hasta cuando se presenta de un nuevo periodo de almacenamiento. Para la parte baja de la cuenca del río Cravo Sur se ha tomado como referencia la estación de Gaviotas, en esta estación, el déficit de agua en el suelo es igual a cero mm, es decir, no hay valores positivos y se presenta desde la primera década de enero a la primera década de marzo una temporada de equilibrio de humedad en el suelo. En esta estación el período de excesos de agua en el suelo se presenta desde la primera década de marzo a la primera década de enero.

En el cuadro 6 (Ver Anexo B), se presenta el balance hídrico de la estación Aeropuerto Yopal para un 75% de probabilidad, es decir confines de riego. En el anexo de cálculos se presenta la estimación del cálculo del balance hídrico característico en la zona, mediante el Método Palmer.

El periodo de déficit hídrico decadal concuerda con la temporada de menor caudal en el río Cravo sur y de mayores necesidades de riego en las parcelas.

2.7 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Para la determinación del clima de la región se utilizó el método de Thornthwaite (1948), el cual utiliza como base la evapotranspiración potencial y la precipitación para definir tres índices cuya combinación permite establecer los tipos climáticos, ellos son: índice de humedad (para clima húmedo), índice hídrico anual (tiene en cuenta la heterogeneidad de la precipitación en el año) e índice de aridez.

En el cuadro 7 (Ver Anexo B), se presenta la clasificación climática definida para cada una de las estaciones y permite establecer que el área de estudio presenta un clima tropical muy húmedo (perhúmedo) y cálido (tipo megatérmico), influido por la posición geográfica, con gradientes de temperatura y de lluvias altos en el piedemonte, debidos a la elevación orográfica significativa (cordillera oriental) y a la formación de enormes masas nubosas provocadas por el ascenso a la cordillera de las corrientes húmedas procedentes del llano, hacia donde se lleva a cabo el proceso de condensación y posterior precipitación.

El clima perhúmedo es característico de toda la zona, ya que el índice de humedad siempre corresponde a valores superiores a 100 mm y varía de megatérmico a mesotérmico, ya que la ETP en la zona es siempre mayor a los 70 mm. Las necesidades de agua a nivel anual indican que en la zona no hay déficit marcado y se considera la zona como de pequeña o ninguna falta de agua en el suelo.

Por lo anterior y de acuerdo a los estimativos, en cercanías a la estación de Aeropuerto de Yopal, el clima es perhúmedo tipo Megatérmico, con volúmenes moderados de déficit o muy pequeños de agua en la época de lluvias y grande en la temporada seca.

En la parte alta de la cuenca del río Cravo Sur (área de nacimiento), el clima es Perhúmedo, tipo Megatérmico IV, con pequeña o ninguna falta de agua en la época de lluvias y ninguna en la época seca.

En la parte baja de las cuencas (sabana), el tipo de clima es húmedo, Megatérmico con pequeña o ninguna falta de agua en el verano. En el sector donde se forman los esteros, las necesidades de agua en el suelo son muy bajas, debido al aumento de la precipitación en esa zona, manteniendo un nivel freático cercano a la superficie. Otra situación es la que se observa en la época de verano (meses de diciembre a marzo), el valor de ETP promedio para éste periodo se reduce a 110 mm para la parte media alta del río Cravo Sur y pasa a 150 mm en la parte media inferior (cerca de Yopal). La precipitación es de 75 mm en la parte superior y de 55 mm en la parte inferior. Si consideramos una escorrentía media de 30 mm, se puede afirmar que para la época seca, hay un déficit de agua en el suelo de aproximadamente 35-50 mm.

Un análisis global de la información tanto geográfica como de precipitación, permite establecer que el área de estudio presenta un clima tropical muy húmedo, influido por la posición geográfica y en su territorio se presentan elevados gradientes de temperatura y de lluvias. En la cuenca se presentan precipitaciones entre 1000 y 4000 mm, con un gradiente altitudinal bastante amplio, lo cual conduce a que haya un buen número de zonas climáticas. En el departamento de Casanare, hacia el suroriente se presenta un clima de sabana, mientras que en la parte central predomina un clima húmedo y en la región noroccidental, un clima superhúmedo de selva ecuatorial. Esta última región es transicional con los ecosistemas andinos pertenecientes a Boyacá y se remonta finalmente en el páramo con un clima muy frío y húmedo, en la cima de la cordillera. La clasificación realizada muestra climas desde perhúmedos megatérmicos hasta húmedos mesotérmicos.

En la naturaleza existe una interrelación entre la lluvia y los caudales máximos, sin embargo para la cuenca del río Cravo Sur por su tamaño, las crecientes son generadas por la precipitación de un solo sector o de la lluvia que cae homogéneamente en toda la cuenca. En la ilustración 8 se presenta la distribución de la lluvia a nivel mensual entre la estación meteorológica de El Morro y la estación hidrológica de Puente Yopal. Aunque siguen una misma tendencia, se aprecian unos picos de caudal, que tienen influencia no solamente de la parte media, sino también de otros sectores de la cuenca por el desfase que presentan. El mismo fenómeno se aprecia en la ilustración 9, donde se muestra la distribución de la lluvia y el caudal, para un año seleccionado al azar entre las mismas estaciones (1987).

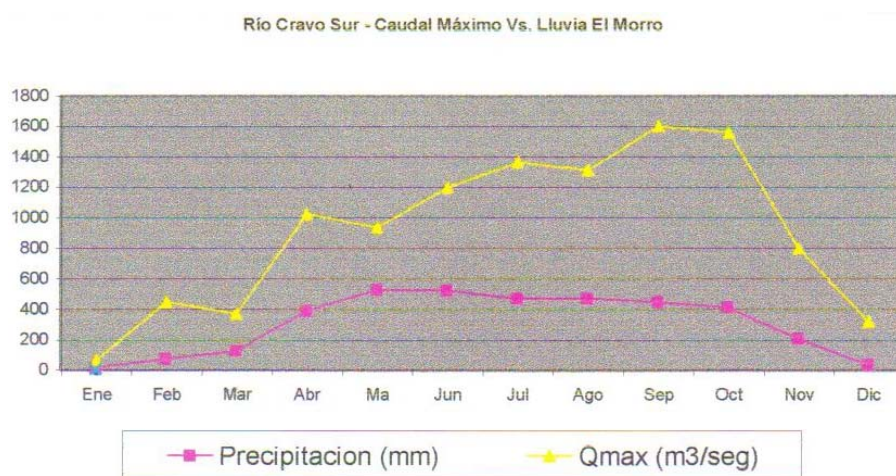


Ilustración 8. Distribución Interanual entre la precipitación - El Morro y el caudal máximo estación Puente de Yopal en el río Cravo Sur

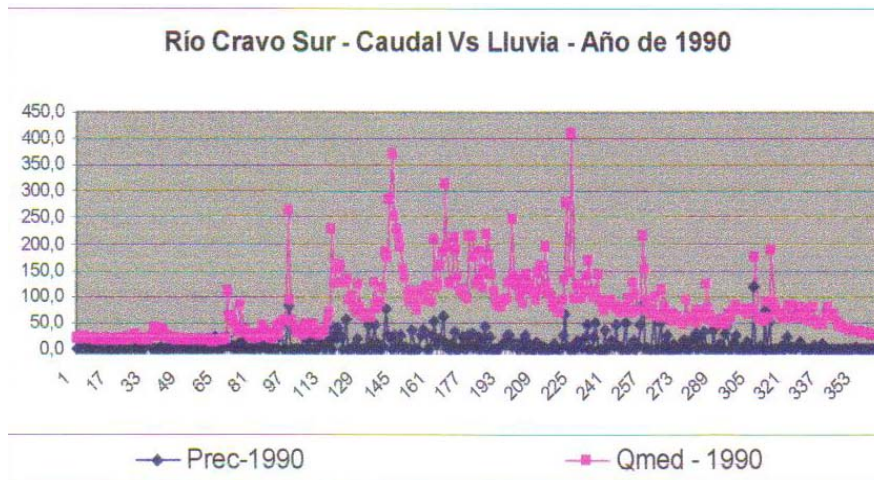


Ilustración 9. Lluvia vs. Caudal medio en el año de 1990 - río Cravo Sur

En las ilustraciones 10 y 11 se muestran los caudales y la precipitación en dos figuras aparte con el objeto de apreciar mejor la distribución de estos parámetros en el año.

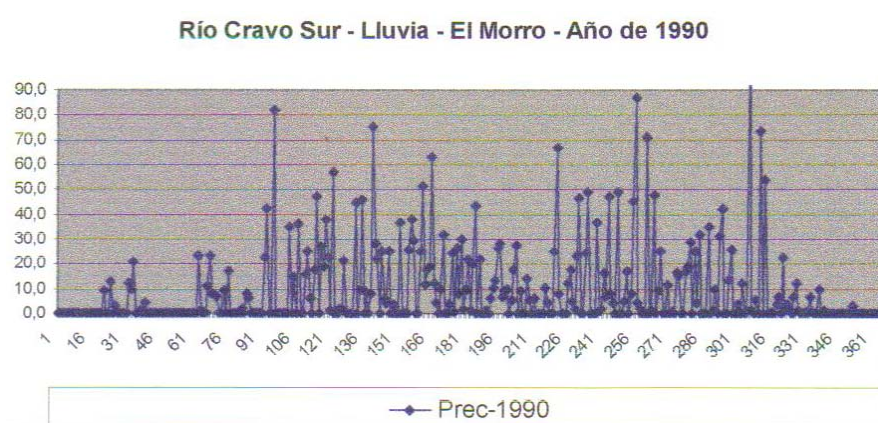


Ilustración 10. Distribución de la precipitación Estación el Morro - año 1990 - río Cravo Sur

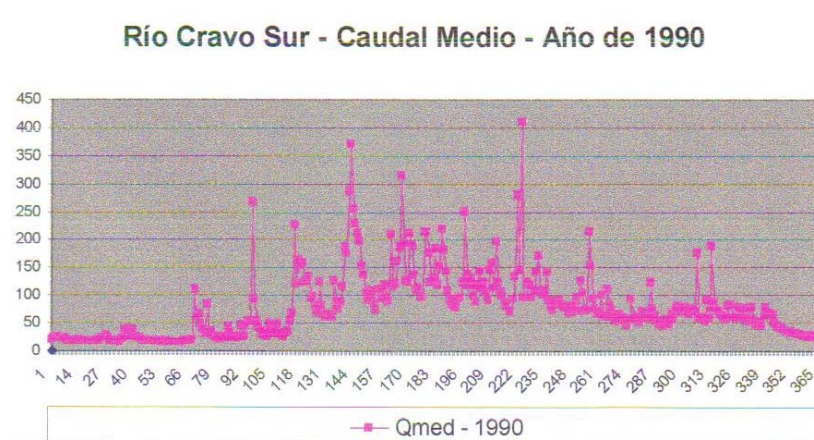


Ilustración 11. Distribución del caudal medio año de 1990 - Estación Puente de Yopal - río Cravo Sur

3 . HIDROGRAFÍA

El municipio de Yopal cuenta con gran riqueza hidrográfica principalmente en las áreas de Montaña y Piedemonte, siendo allí donde se originan numerosas microcuencas que conforman los ecosistemas estratégicos abastecedores de agua para consumo y soportes del aparato productivo. El Yopal se encuentra enmarcado dentro de la cuenca del Río Cravo Sur y las cuencas del Río Charte, Payero y Tocaría.

3.1 SUBCUENCA DEL RÍO CHARTE

Forma parte de la gran cuenca del Río Cusiana; su divisoria de aguas con el río Cravo Sur se establece en los sectores de las Cuchillas, Las Barras y Peñalta, incluyendo las lomas de Potrero Grande, El Recreo y Carbonera.

El Río Charte, nace en el Departamento de Boyacá y recorre el municipio de Yopal de norte a sur en límite oeste con Aguazul. La subcuenca tiene un área total de 889 Km² de los cuales el 67% (595.4 km²), se encuentran en Casanare. Presenta un caudal promedio anual, según registro de la estación Puente Charte, de 30.95 m³/s. Comprende las microcuencas de dos quebradas principalmente: Aguazula y Agua Blanca (abasteciendo proyectos de irrigación con 63 familias beneficiarías), Caño Upamena y Caño Usivar (afectado por contaminación debido al mal manejo de las aguas residuales del casco urbano y desborde de las lagunas de oxidación en aguas del Usivar).

Por el norte se presentan las subcuencas de los ríos Payero y Tocaría unidas a la gran cuenca del Río Cravo Sur, su divisoria de aguas con el Cravo Sur se ubica en las Cuchillas, Las Barras, Naranjito y Palo Bajito, pasando por los filos Peña Negra, Guayacanal y loma Buena Vista. Entre las principales microcuencas se encuentran la Quebrada Tizaga del Río Payero y el caño La Chaparrera del río Tocaría.

3.2 CUENCA DEL RÍO CRAVO SUR

Es considerada como de primer orden, teniendo en cuenta que el Río Cravo Sur está entre los cuatro ríos de mayor caudal del Departamento y constituye el principal eje hidrográfico del Municipio.

El río Cravo Sur nace en la Cordillera Oriental en el territorio de Boyacá y en su trayecto baña los municipios de Mongua y Labranzagrande, y en el Departamento de Casanare los municipios de El Yopal, Nunchía y Orocué, presentando un tramo navegable de 138 km. En su recorrido de norte a sur por el Municipio de El Yopal baña las veredas de: El Morro, Buenavista, Guayaque, Punto Nuevo, Quebrada seca y el Casco Urbano del municipio de Yopal. Presenta una irregularidad en su caudal especialmente donde atraviesa la zona de valles y piedemonte, ya que es captado por canales de riego, presentándose contaminación en sus aguas.

4 . HIDROLOGÍA Y DINAMICA FLUVIAL

4.1 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DEL RÍO CRAVO SUR

En el departamento de Casanare existen diversos ríos; el río Cravo Sur, hace parte de un conjunto de cuatro ríos los cuales son los que poseen el mayor caudal, ellos son: el Cusiana, el Cravo Norte, el Upía y el Casanare. El área total de drenaje de la cuenca del río Cravo Sur hasta la desembocadura en el río Meta es de 5317.5 km² de los cuales 3263.5 km² (61%) pertenecen al departamento de Casanare y el resto al departamento de Boyacá en su parte alta. Aproximadamente la mitad del área de escurrimiento de la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur se localiza en el municipio de Yopal (Ver Plano 1–Anexo C).

El río Cravo Sur nace en la cordillera oriental, en territorio Boyacense al oriente del municipio Tasco, sobre los 3800 m.s.n.m entre la Serranía de Peña Negra y el Páramo de Cadilla; sirve de límite entre los municipios de Tasco y Gámeza. Recorre los municipios de Mongua, Labranzagrande, Yopal, Nunchia y Orocué. Tiene como afluentes principales los ríos Tocaría, Nogón, Chiquito y Siana y las quebradas El Zancudo, Aserradero, Los Santos, Sismosá, La Tablona, La Guamalera, La Calabozza, entre otras. Hasta la ciudad de Yopal el río presenta una longitud aproximada de 86 km y una pendiente media de 4.06%.

Junto al Puente La Cabuya, se encuentra instalada la estación limnigráfica Puente Yopal (Ver Fotos 1 y 2 - Anexo E) con registros desde 1965 para niveles y caudales medios y a partir de 1974 se comienzan a registrar caudales máximos y mínimos. El río Cravo Sur hasta el Puente La Cabuya, tiene un área de drenaje de 1101 km², una longitud de la corriente de 80 km y una elevación media de la cuenca de 2380 metros. La estación Puente Yopal tiene en el IDEAM el código 3521701 y durante el periodo de 1965-1994 registra un caudal medio multianual de 77.02 m³/s, un caudal mínimo histórico de 9 m³/s, el cual se registró en septiembre de 1994.

El casco urbano de Yopal se localiza sobre la margen derecha del río Cravo Sur, el cual se constituye ambientalmente en un soporte hídrico del municipio y a su vez se integra a un sistema hídrico local conformado por tres microcuencas, las cuales delimitan de la siguiente manera: microcuenca de la quebrada La Tablona, microcuenca de la quebrada La Calabozza y microcuenca de la quebrada Buena Vista. En el norte se localizan las subcuencas de los ríos Payero y Tocaría, pertenecientes a la cuenca del río Cravo Sur. Las dos primeras microcuencas, junto al río Cravo Sur, surte el acueducto municipal de Yopal.

En la parte cordillerana se encuentra el corregimiento del Morro, donde existe el complejo petrolero del piedemonte, con la explotación adicional de gas natural. (Ver Foto 3 - Anexo E). La zona de piedemonte adquiere un carácter estratégico para la conservación de toda la cuenca del Cravo Sur, por captar la mayoría de aguas tributarias provenientes de la zona de montaña y por su función, como zona de recarga hídrica del municipio. Es además un conjunto ecosistémico de transición biológica de especies vegetales y animales entre la montaña y la sabana orinocense. En el piedemonte la cuenca del río

Cravo Sur presenta la mayor concentración de población y procesos de colonización (Ver Foto 4 - Anexo E).

Luego de su paso por Yopal, capital del departamento, el río nutre los canales de riego objeto del presente estudio, que conforma la denominada “despensa de Yopal”, por sus características de “suelos fértiles” o de vega, y donde se produce el plátano, la yuca, el maíz, los frutales, el arroz, la leche y actividades de cría de porcinos que suministran productos de buena calidad para Yopal.

El Cravo Sur en la parte baja de su cuenca recorre los corregimientos de la Chaparrera, Tacarimena, Punto Nuevo y Tilodirán en el municipio de Yopal y el corregimiento de Algarrobo, las veredas de Guayaque, La Colonia, Carrizales, Delirio, La Palmita, La Venturosa, Claveles, Guacharacal y Palmarito en el municipio de Orocué. En el municipio de Orocué sobre el río Cravo Sur y el Meta, se localizan los ocho resguardos de la comunidad indígena de los Sálivas.

Desde el corregimiento de Algarrobo, aguas abajo, el río es navegable en época de invierno. Se convierte en arteria fluvial que permite la comunicación y el transporte de productos beneficiando a los habitantes de las zonas de Algarrobo y Orocué hasta su desembocadura en el río Meta.

La cuenca baja del río Cravo Sur, presenta condiciones biofísicas y económicas diferentes. Corresponde a la unidad ambiental de Llanura, con bosques de galería y vegetación de gramíneas y esteros que juegan un papel muy importante dentro del sistema hídrico y ambiental, pero que desafortunadamente muy poco se ha estudiado.

En la zona navegable del río Cravo Sur, desde el Algarrobo hasta el Meta, el río es un eje real de comunicación e integración social y comercial de las poblaciones ribereñas. Así mismo, el río como sistema ambiental debe funcionar desde su nacimiento hasta su desembocadura como un sistema natural y dentro de él, un sistema cultural que se integre y corresponda a las interdependencias generadas por la necesidad del agua como un elemento integrador más que disociador.

En la cuenca del río Cravo Sur, se pueden distinguir dos grandes unidades geomorfológicas: la Zona cordillerana (Ver Foto 3 – Anexo E) y la zona del Valle aluvial (Ver Foto 4 – Anexo E). Por objeto del presente estudio es de interés la zona aluvial la cual ha generado geformas como terrazas, zonas de abanicos aluviales, depósitos de piedemonte y por último depósitos en tránsito que constituyen las islas, barras y playas del cauce.

Los cambios súbitos de perfil del río, entre el puente La Cabuya y aguas abajo del hospital de Yopal, debido al modelado de la zona montañosa y el inicio del valle aluvial para luego moverse en dirección hacia zonas aún más bajas (base de erosión del río) en el río Meta, ocasionan una acumulación de sedimentos y un cambio contundente en la morfodinámica del río hacia la de un cauce trenzado y de gran actividad morfométrica (Ver Foto 5 y 6 - Anexo E).

Las pendientes fuertes mayores al 40% se presentan en las vertientes del valle en “V” del río Cravo Sur en la zona cordillerana. Esta particularidad permite establecer la existencia de una falla tectónica que intercepta las cuencas de los ríos mencionados en su parte media presentando como característica especial un aumento en el aporte de material

sedimentario, especialmente gravas y guijarros. Después de la desembocadura de las quebradas Aguatoca y La Tablona, el río Cravo Sur comienza a presentar la formación de pequeñas barras en su cauce. En esta zona, le es característico la máxima pluviometría (3500 mm), una máxima intensidad de la lluvia (125 mm en 24 horas en promedio para 2.33 años de periodo de retorno) y una apreciable inestabilidad de los suelos (zona de desprendimientos y formación de cárcavas). Estos sedimentos de gran tamaño, gravas y guijarros, son arrastrados por una elevada torrencialidad de la corriente hasta la parte propiamente denominada como de transición entre la zona cordillerana y la sabana (frente a la ciudad de Yopal), donde son depositados por pérdida de capacidad de transporte del flujo.

La carga del material del lecho, se mueve en parte por arrastre de fondo y en parte por suspensión y está compuesta por materiales cuya disponibilidad está claramente definida por la composición granulométrica del lecho, y es puesta en movimiento por procesos difusivos asociados con la turbulencia de la corriente. Por tener su origen en el lecho, donde su disponibilidad es prácticamente ilimitada, esta carga puede ser transportada a capacidad, es decir de acuerdo con la potencia disponible en el flujo, por lo cual resulta ser una función biunívoca (carga sólida en función de un caudal respectivo) del caudal (Ver Foto 7 - Anexo E).

El segundo tipo de carga está compuesta por los materiales más finos, cuya velocidad de asentamiento es muy inferior al orden de magnitud de las fluctuaciones turbulentas de la velocidad de la corriente en el sentido vertical, por lo cual se encuentran totalmente sustentadas por el flujo en suspensión, aún para los caudales y velocidades más bajas del río, (Ver Foto 8 - Anexo E).

Por esta razón, el flujo casi siempre tiene exceso de capacidad para mover estas partículas, rara vez se las encuentra en cantidades apreciables en el lecho de la corriente, y su transporte está regulado más por la tasa de abastecimiento de la cuenca que por la disponibilidad de la energía del flujo. Esta carga se denomina usualmente “Carga de Lavado”, y no puede corresponder con una función biunívoca del caudal del río.

El material grueso, está relacionado con los depósitos de la planicie de inundación denominados Q_{ai} y con la formación de islas o barras (Ver Foto 9 - Anexo E). El material que conforma las geoformas anotadas, se consideran en tránsito por ser originadas durante los procesos de acumulación o socavación temporales del material del lecho del río, durante las crecientes normales en las épocas de lluvias o invierno, en función del aumento o disminución de la capacidad de transporte de la corriente. Las gravas y arenas son arrastradas hacia otros sectores cercanos dando lugar a nuevas formaciones y cambios en las geoformas presentes en el lecho y al redireccionamiento de las líneas de flujo de la corriente. Las terrazas bajas, denominadas T_b en el Plano 1 (Ver Anexo C) y Foto 10 - Anexo E se observa cómo estas geoformas se encuentran ampliamente distribuidas en la zona aluvial del río Cravo Sur, principalmente en las partes más amplias y con alturas promedio de entre 5 y 10 metros sobre el nivel del cauce actual.

En el interior de la isla o barra donde se encuentra el parque La Iguana, se identificaron cauces abandonados (canales antiguos – Caño No. 1, Caño No. 2, Caño No. 3), (Ver Foto 11 - Anexo E), por donde corría el río Cravo Sur en 1979. Allí se han formado unas terrazas que se han elevado de 1 a 2 metros (Ver Foto 12 - Anexo E), con vegetación arbórea nativa, algunos de cuyos ejemplares presentan gran desarrollo, lo cual indica que son áreas estables y bajo ninguna circunstancia se deben tocar. Las partes bajas

(antiguos canales) ocupan parte de la isla, conformadas por una capa de 5 cm de material fino y después aparece una capa de gravas cuyos diámetros varían entre 10 y 15 cm, que corresponde a la coraza o fondo del lecho por donde transitaban antiguamente las aguas del río Cravo Sur. Las características de este material, son muy similares a las que presenta el río en las otras barras que se formaron.

La dinámica fluvial no es un fenómeno independiente de los procesos que se desarrollan en toda la cuenca, desde la parte alta hasta su desembocadura en el río Meta, y aún aguas abajo de este punto de confluencia. Su competencia con el tipo de modelado fluvial del nivel de base del río Meta y los efectos antrópicos sobre el cauce del mismo río, se manifiestan muy probablemente en el tramo entre el puente La Cabuya y el sector donde se encuentran las bocatomas. Sin embargo, este aspecto debe conllevar posteriormente al desarrollo de un estudio geológico, geomorfológico y sedimentológico de toda la cuenca del río Cravo Sur, que permita describirla desde el punto de vista dinámico – geomorfológico.

El cauce unicanal en los sectores más encañonados, aguas arriba del puente La Cabuya, entre la granja apícola San José y Belencito, presenta pocos depósitos de barras laterales e islas, mientras que en sectores donde predominan varios canales se hacen más abundantes las islas y barras de material grueso y con escasa matriz, con ocasionales desarrollos de playas de material fino, tamaño arenas en una cubierta muy fina. (Ver Foto 13 y 14 - Anexo E).

Aguas abajo a partir del puente La Cabuya, el río Cravo Sur presenta una aparente estabilidad en el primer kilómetro, ya que el flujo se mueve por un tramo recto, (Ver Foto 15 - Anexo E). Después de este punto donde comienza la barra que forma el parque La Iguana, el valle se amplía dando lugar a una zona propiamente aluvial, facilitando la generación y migración de barras e islas. (Ver Foto 16 - Anexo E). El cauce es trezado, con corrientes entrelazadas entre las cuales se forman, desaparecen y migran las barras e islas, dependiendo de la época del año, según muestran las restitutiones aéreas de diferentes períodos (Ver Plano 6 y 10 – Anexo C). La presencia de esas islas y barras son prueba de la capacidad de transporte y el abundante abastecimiento de sedimentos. Sin embargo, los últimos cambios bruscos especialmente en el tramo comprendido entre el puente y el inicio de la barra del parque La Iguana, demuestran que el río se comienza a desplazar a la izquierda y luego a la derecha, tal como se puede ver en la Foto 15 - Anexo E.

En algunos sectores se pueden identificar fácilmente los brazos de crecida, o cauces auxiliares generalmente entrelazados por los que corre el agua en épocas de crecidas, y por otro lado los brazos muertos o restos del antiguo cauce o del canal de estiaje, que quedaron abandonados al cambiar este de curso, ejemplo los antiguos brazos o caños 1 y 2 de la isla del parque de La Iguana (Ver Plano 6 – Anexo C y Foto 16 - Anexo E)

Los depósitos de aluvión acumulados en el valle son divagantes, y muy fáciles de identificar en las restitutiones a causa de su morfología característica. Se pueden reconocer los depósitos de cauce ordinario o lecho mayor, formando barras, lentejones, y ocupando recodos del río, bandas continuas generalmente estrechas y alargadas, y pequeños depósitos en el cauce. Se presentan también de manera horizontal con una superficie ligeramente ondulada o plana, con una pendiente, bien en dirección de la corriente o con un ligero abombamiento, (Ver Foto 17 - Anexo E).

La gran actividad geomorfológica del río Cravo Sur entre el puente La Cabuya y el Hospital de Yopal, se manifiesta en los notables desplazamientos del cauce a todo lo largo de su recorrido, de izquierda a derecha y viceversa durante 1938 hasta 1995, tal y como se aprecia Plano 10 – Anexo C, establecido mediante las restituciones aerofotográficas del sector, con cortes evidentes y desplazamientos de la línea de borde del cauce y la notable actividad erosiva en las orillas, manifiesta hacia la margen derecha (Ver Foto 18 y 19 - Anexo E), árboles caídos y captura de los mismos por la corriente. Este fenómeno se intensifica especialmente en la época de crecida del caudal, donde la acción erosiva del flujo se incrementa. Durante el recorrido por el río se observaron sitios donde el cauce ha afectado el talud, el cual es destruido actualmente debido a la divagación del río.

En la Foto 20 del Anexo E se aprecia la tendencia del río a entrar al parque de La Iguana. De igual manera, al moverse hacia la derecha, se direcciona contra el talud izquierdo y ataca la vía Pore, destruyendo parte de la banca. Para proteger el talud, se ha colocado material conformado con sobretamaños para desviar un poco el flujo de la base del talud, tal como se muestra en la Foto 21 - Anexo E. Junto a este sitio se encontraba una vivienda, la cual fue arrastrada por la creciente del 01 de agosto de 2004.

Del río Cravo Sur se surte el acueducto de Yopal y los distritos de riego, localizados al noreste de la ciudad mediante tres sistemas de canales: canal El Remanso, Canal de Matepantano y Canal Márquez.

Existe una gran diferencia entre los caudales máximos y mínimos registrados en la estación hidrológica Puente Yopal, con 1603 m³/s de máximo histórico y un mínimo de 9 m³/s. En la siguiente tabla se presentan los valores de caudal característicos multianuales del río Cravo Sur registrados en la estación Puente Yopal:

Tabla 9. Caudal multianual del río Cravo Sur			
Mes	Caudal medio (m³/s)	Caudal máximo (m³/s)	Caudal mínimo (m³/s)
Enero	23.74	61.0	10.20
Febrero	24.99	445.4	9.70
Marzo	26.33	368.8	9.00
Abril	57.89	1022.0	10.00
Mayo	98.56	937.4	21.10
Junio	129.60	1198.0	39.00
Julio	145.70	1365.0	34.50
Agosto	127.30	1312.0	41.80
Septiembre	102.40	1603.0	32.90
Octubre	86.53	1560.0	35.00
Noviembre	63.23	800.0	19.00
Diciembre	38.05	322.0	13.70
Valores multianuales	77.02	1603.0	9.00

Esta particularidad muestra la baja capacidad reguladora natural que presenta la cuenca durante el año, es decir, las crecientes son muy grandes y en verano, el caudal se reduce considerablemente.

Tomando en consideración la tabla No. 9, se observa que los caudales medios son poco representativos, cuando de agua para el riego se trata. Los valores diarios de caudal no existen a nivel de registros máximos y mínimos, estos solamente se archivan en el banco de datos del IDEAM, únicamente para los caudales medios. En otras palabras, en las estaciones hidrológicas de nuestro país solamente existen registros diarios de los caudales medios. Los registros de caudales máximos y mínimos, solamente se almacenan como valores instantáneos mensuales.

En la siguiente figura se aprecia la tendencia del caudal durante un año:

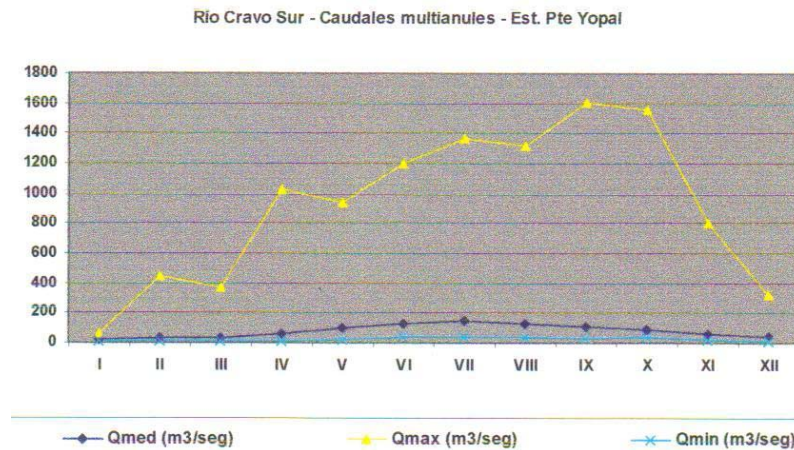


Ilustración 12. Variación interanual de los caudales - río Cravo Sur

Del gráfico anterior, se observa que no existen cambios considerables en la distribución de los caudales, es decir, la tendencia mes a mes de los caudales no tienen cambios drásticos al aumentar o disminuir, en general, la tendencia del caudal es monomodal.

En las ilustraciones números 13, 14 y 15, se muestra el comportamiento multianual de los caudales registrados históricamente en la estación Puente Yopal. Los máximos y mínimos para el periodo 1974 a 1994 y de 1965 a 1994 para los caudales medios.

Caudales Medios Anuales (m³/seg) - Río Cravo Sur

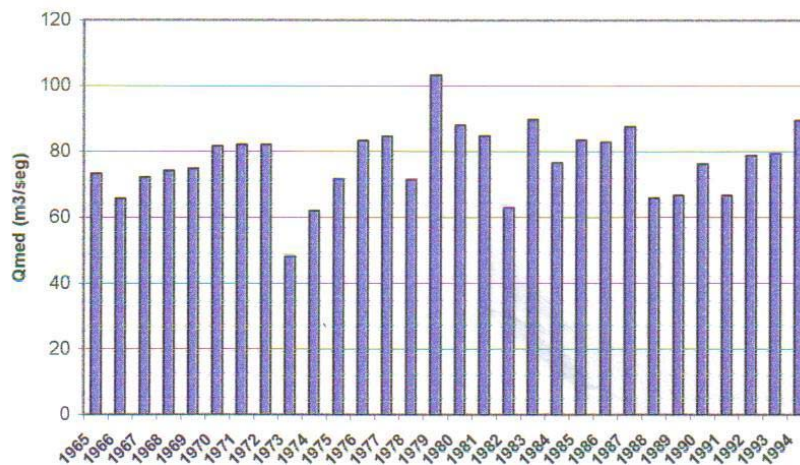


Ilustración 13. Distribución anual del caudal medio - río Cravo Sur

El IDEAM no estableció el motivo por el cual la serie de caudales máximos y mínimos sólo se registraron a partir de 1974, aún cuando la estación fue instalada en 1965.

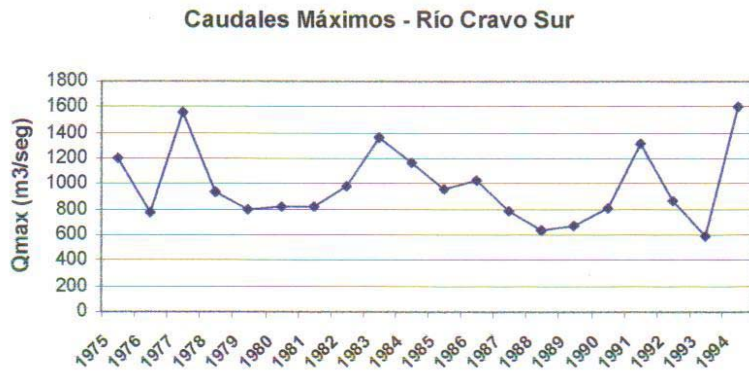


Ilustración 14. Distribución de caudal máximo - río Cravo Sur

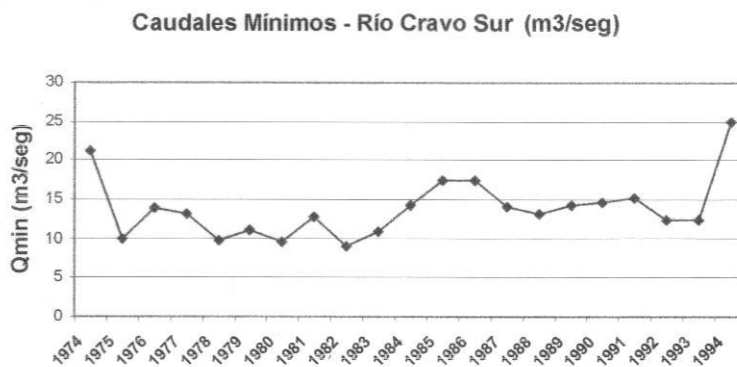


Ilustración 15. Distribución anual del caudal mínimo - río Cravo Sur

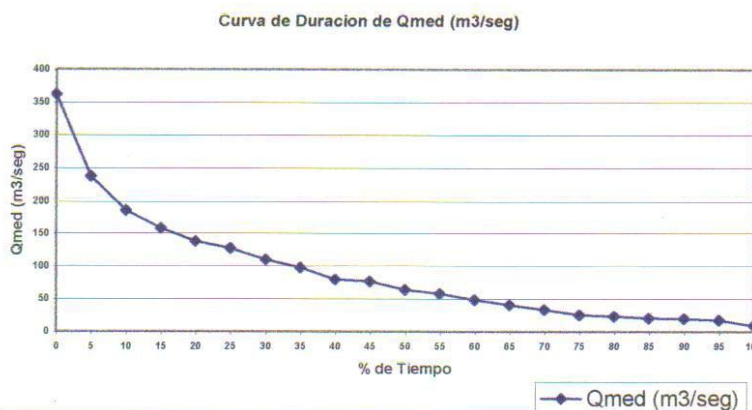


Ilustración 16. Curva de duración de caudales medios - río Cravo Sur

De la curva de duración de caudales medios diarios se infiere que el caudal medio del río Cravo Sur es equivalente a $77 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual se presenta en un 46 % del tiempo anual, es decir, en el 54% del tiempo o en el año, los caudales son inferiores al caudal medio. La

curva presenta una pendiente entre moderada a fuerte, debido a la poca regulación natural de la escorrentía en la cuenca.

En la sección transversal de aforos de la estación hidrológica Puente Yopal se encontró una variación que ha tenido el fondo del cauce entre 1980 y 1987. En el año de 1980 el sector de máxima profundidad se encontraba hacia la orilla derecha; luego en 1983 se va hacia la orilla izquierda y en 1986 vuelve a la orilla derecha. Es decir, el río socava y sedimenta (se mueve transversalmente) por épocas de una orilla a la otra. En la ilustración No. 17 se aprecian los cambios de orilla del sector de mayor profundidad en el río Cravo Sur. Estos movimientos de la mayor parte del flujo de una margen a la otra, se debe a cambios morfodinámicos aguas arriba del puente de La Cabuya. En la Foto 22 - Anexo E se muestra como el flujo en agosto de 2004 se encuentra recostado hacia la margen derecha.

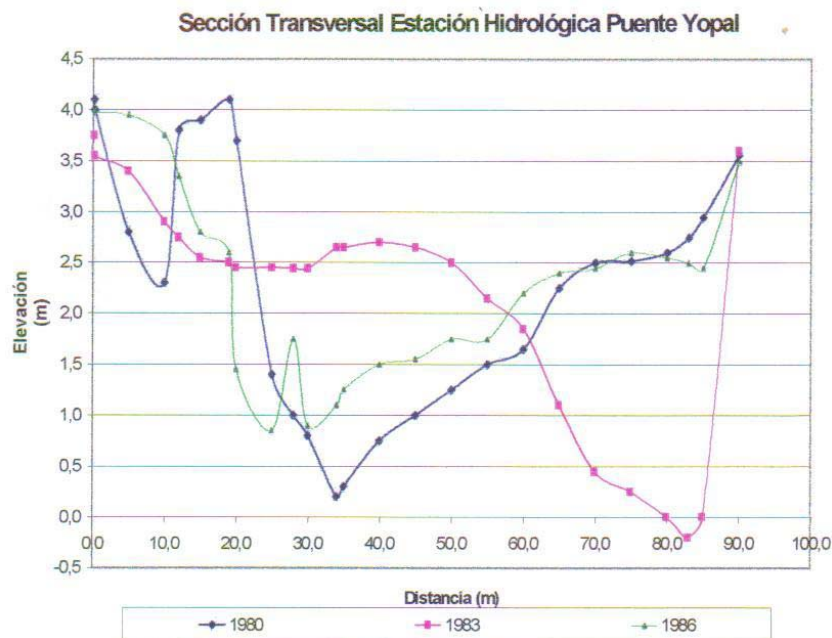


Ilustración 17. Curvas de nivel del fondo río Cravo Sur - Estación Puente Yopal

Con los caudales máximos anuales de la estación Puente Yopal adquirida en el IDEAM para el periodo 1975 a 2001, se realizó un análisis de frecuencia con ayuda del modelo HYFA (Hydrological Frequency Analysis). El modelo permite estimar los caudales que se pueden esperar para diferentes periodos de retorno y arrojó los siguientes resultados:

- Río: Cravo Sur
- Estación: Puente Yopal
- Número de datos: 24
- Periodo: 1974 – 2001
- Valor medio de los Máximos: 893.9 m³/s
- Desviación estándar: 295.21 m³/s
- Coeficiente de variación: 0.33
- Coeficiente de Sesgo o asimetría: 0.568
- Coeficiente de Curtosis: 3.28

De acuerdo a los valores estadísticos obtenidos de la serie histórica o distribución empírica para la estación Puente Yopal, se ajustó a las distribuciones teóricas (modelo matemático Normal) tres parámetros, ajustada por el método de momentos y la distribución Gumbell tipo I, ajustada por el método de máxima verosimilitud, obteniendo los siguientes valores:

Tr en años	Estación Puente Yopal Distribución Normal (m³/s)	Estación Puente Yopal Distribución Gumbell (m³/s)
2	893.92	845.56
5	1142.39	1119.48
10	1272.27	1300.84
20	1379.53	1474.81
25	1410.78	1529.99
50	1500.26	1699.99
100	1580.74	1868.74

Para el diseño de obras de protección contra inundaciones y direccionamiento del flujo en el río Cravo Sur se recomiendan los valores estimados con la distribución Normal, ya que los parámetros estadísticos se ajustan con mayor exactitud. El caudal de diseño de las obras civiles en el río Cravo Sur y correspondiente a 20 años de periodo de retorno es de 1380 m³/s. (El modelo normal desde el punto de vista teórico, requiere para su ajuste, que el coeficiente de curtosis se encuentre en un intervalo de 2.7 a 3.3 y el coeficiente de sesgo sea cercano a cero).

A diferencia de otras cuencas del piedemonte, la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur, presenta una forma alargada. Esta particularidad reduce la magnitud de las crecientes y aumenta el tiempo de concentración de la lluvia y escorrentía hacia el cauce principal. Comparativamente con la cuenca del río Unete que tiene un área de drenaje de 236 km², el río Cravo sur tiene un área de drenaje de 1101 km², la magnitud de las crecientes son muy similares debido a la forma redonda que presenta la cuenca del río Unete.

4.2 ANÁLISIS TEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL RÍO CRAVO SUR

El análisis del comportamiento morfológico del río Cravo Sur se realizó en un tramo comprendido entre el Puente la Cabuya, el Hospital de Yopal y las bocatomas del distrito de riego de Yopal con un número selecto de ocho vuelos con sus respectivas fotografías aéreas tomadas en un periodo comprendido entre 1936 y 1995 (Ver Anexo A - Fotografías Aéreas). Estos vuelos se consideran como los más representativos, por calidad de las fotos, escala y modificaciones evidentes del cauce y en especial del tramo en estudio. Las primeras fotos existentes en el IGAC datan de 1936, sin embargo se toman las de 1938 por presentar mejor resolución y no presentar variaciones sustanciales respecto a las de dos años atrás.

Para realizar un análisis más detallado se dividió todo el sector de estudio en tres sub-tramos, así:

- Primer sector: Puente La Cabuya y el inicio de la barra del Parque de La Iguana.
- Segundo sector: El inicio del Parque de La Iguana y el Hospital de Yopal.

- Tercer sector: Del Hospital de Yopal hasta las bocatomas del distrito de riego.

A continuación se presentan las características para cada uno de los vuelos correspondientes a un año en particular:

4.2.1 Vuelo B – 115 sobre 10489 – 7 de enero de 1938 – Foto No. 832 y 833 (Ver Anexo A).

Primer sector: Luego del puente el flujo se direcciona hacia la derecha y luego cambia hacia la izquierda del cauce, dando lugar a la formación de dos barras. En la primera barra el brazuelo de la izquierda es muy incipiente en este momento, tiende a desaparecer y la mayor parte del flujo pasa por el brazo de la derecha. La segunda barra es más grande que la primera y presenta dos brazuelos y se ha dividido en tres sectores. La mayor parte del caudal en este punto se direcciona por la margen izquierda de esta barra y una porción pequeña por el brazuelo de la derecha. En las dos barras hay presencia de cobertura vegetal.

Segundo sector: Es el inicio de la barra más grande del tramo en estudio y donde se encuentra en la actualidad el parque de La Iguana. El flujo se direcciona por la parte central del cauce, dejando una pequeña porción a la derecha del flujo que corresponde a lo que es hoy en día el Parque. Frente a la barra del parque se ha dividido en tres grandes brazos, dos por la parte central del lecho y uno muy pequeño recostado por la margen derecha, es decir, la mayor parte del flujo se mueve por la parte central del cauce, dejando un pequeño brazuelo o porción del caudal por la margen derecha junto al talud, el cual es golpeado a la altura de la calle 4 a la calle 5 de lo que es hoy en día la ciudad de Yopal. Luego los tres brazos se unen y golpean el talud derecho en inmediaciones del Hospital de Yopal. Este flujo corresponde a lo que se ha denominado caño No. 1, donde existen dos puentes de guadua.

Tercer sector: En el punto donde el río Cravo Sur genera en la actualidad problemas de socavación en la banca de la vía Yopal – Pore, el río se encuentra muy distante. La foto 833, es la evidencia más clara que se tiene sobre la formación del abanico de Yopal y donde se puede diferenciar con claridad las avalanchas que se acumularon sobre el área donde se ha construido hoy la ciudad de Yopal y que se generaron en la parte alta o media de la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur, años atrás de la toma de la foto.

La presencia de vegetación en las barras aguas arriba del puente La Cabuya y frente al sector donde se encuentra hoy Yopal, demuestran que este fenómeno ocurrió varios años atrás, por ahora no determinado con exactitud, debido a la falta de estudios concretos sobre este suceso, la realidad sobre el momento en que se presentó la última avalancha, no se ha establecido. Se pueden realizar obras de protección contra las inundaciones, pero contra las avalanchas solo se puede implementar un programa de monitoreo y prevención con equipos de chequeo de niveles en tiempo real y transmisión de datos, a fin de disparar alarmas instaladas dentro de la ciudad de Yopal para que los habitantes puedan salvar sus vidas y evacuar en un tiempo prudencial y predeterminado la ciudad.

4.2.2 Vuelo M – 545 sobre S – 382 – 8 de febrero de 1959 – Foto No. 6277 y 6278. (Ver Anexo A)

Primer sector: La primera barra identificada en el análisis anterior ha desaparecido y se ha formado un playón, la segunda barra aún existe pero el brazuelo de la margen izquierda

tiende a desaparecer. El río posee una tendencia rectilínea, con un suave movimiento del flujo de derecha a izquierda antes de llegar al segundo sector.

Segundo sector: Sigue la presencia de tres brazos, pero el movimiento hacia la derecha del lecho, le ha quitado área a la barra donde se encuentra en la actualidad el parque de La Iguana, debido a un proceso intenso de socavación. En este momento el sector del parque es socavado por el río con gran intensidad. Los tres brazos se unen, golpeando la margen derecha a la altura de la calle 6 y sigue ese direccionamiento junto al talud hasta la calle 9 aproximadamente. De igual manera, un brazo se ha movido hacia el talud de la margen izquierda y golpea un sector de la vía o camino (en ese momento) a Pore. Se puede establecer como el río comienza a recostarse hacia la margen derecha y va destruyendo paulatinamente la barra donde se encuentra hoy el Parque La Iguana. En este momento se ha fundado el caserío de Yopal y correspondía a un corregimiento de Manrique; cuenta con unas cuantas calles y carreras.

Tercer sector: A partir del hospital de Yopal, el río se direcciona hacia la parte central del cauce y vuelve a la margen derecha a la altura de las bocatomas los canales Matepantano y Márquez. En este sector se forma varias barras y es allí donde se concentra gran parte de los sedimentos del río.

4.2.3 Vuelo R-464 – Sobre S – 2376 de 02 de enero de 1961 – Foto 1795. (Ver Anexo A)

Primer sector: Al igual que en 1959 el río presenta un suave movimiento sinuoso de izquierda a derecha. Las barras se encuentran en proceso de desaparecer totalmente, debido a que sus brazuelos se reducen a un cauce central recto donde está el mayor caudal del río. El cauce se halla definido y tiende ser recto. Una dinámica muy similar a 1959.

Segundo sector: El río tiende hacia la margen izquierda mediante un cauce muy definido formado por dos pequeños brazuelos, tomando cada uno direcciones opuestas. El brazo con mayor caudal se direcciona hacia la parte central del lecho, golpeando el talud de la margen derecha a la altura de las calles 6 y 7, para luego virar hacia la parte central del lecho. En este año, la ciudad de Yopal cuenta con unas cuantas calles y carreras definidas.

Tercer sector: En este sector el río se direcciona totalmente hacia la parte central del río y regresa nuevamente a la margen derecha aguas abajo del sitio donde se localiza hoy en día la bocatoma del canal Márquez. Hay un pequeño brazuelo que se recuesta sobre el talud de la margen derecha donde existe hoy en día la Urbanización la Casa del río. Ya en este momento se evidenciaba el ataque paulatino del río sobre este sector, el cual acrecentaría años mas tarde.

4.2.4 Vuelo 1873 – Sobre 29621 – 02 de enero de 1979 – Foto 212. (Ver Anexo A)

Primer sector: Se encuentra nuevamente las dos barras iniciales, donde la única diferencia es que la primera barra presenta tres brazuelos, pero la mayor parte del flujo pasa por el brazo central. En la segunda barra la mayor parte del flujo se ha recostado sobre el talud de la margen izquierda, dejando dos pequeños brazuelos que se distribuyen por la margen derecha del cauce.

Segundo sector: Para esta fecha la barra del Parque La Iguana no existe como tal, el flujo se ha recostado totalmente por la base del talud de la margen derecha y el área que corresponde en la actualidad al parque de La Iguana es un gran playón. El flujo comienza a golpear con gran intensidad a la altura de los predios de la Brigada y lo que se conoce hoy en día como la Universidad Santo Tomás. En este momento histórico de la morfología del río Cravo Sur, demarca como zona del río y área inundable, toda el área que pertenece a la Brigada 16 del Ejército Nacional. Existen otros brazos por la margen izquierda del lecho, pero cuentan con muy poco flujo, aunque aparecen perfectamente definidos.

El río Cravo Sur en este momento, se ha recostado sobre el talud de la margen derecha y socava con gran intensidad a lo largo de lo que es hoy en día la ciudad de Yopal, especialmente a la altura de las calles 3 y 4. En el momento en que el río se direcciona hacia el talud de la margen derecha, desaparece en su totalidad la barra del parque La Iguana.

Tercer sector: El río se encuentra totalmente recostado sobre la margen derecha y desarrolla intensos procesos de socavación sobre el talud. Frente a la urbanización La Casa del Río existe una barra de gran tamaño y existe un brazo del río frente a este punto.

4.2.5 Vuelo C-2047 – Sobre 31379 – 20 de diciembre de 1981 – Foto No. 203 y 204. (Ver Anexo A)

Primer sector: Las dos barras identificadas tienden a desaparecer, ya que la mayor parte del flujo toma un lugar hacia el centro del cauce, aunque con la presencia de ciertos brazuelos recostados hacia las dos márgenes. Al final del tramo, el flujo se desvía suavemente hacia la margen izquierda, generando las condiciones para que se comience a estabilizar la barra del Parque de la Iguana y el flujo, así empiece el ataque de la banca de la vía a Pore.

Segundo sector: Se encuentra definida la barra del Parque La Iguana, conformada por playones, lechos de brazuelos y cobertura vegetal. El flujo se ha recostado inicialmente en el tramo hacia la margen izquierda, para luego tomar una dirección por la parte central del lecho justamente frente a la barra del Parque. El flujo golpea el talud de la margen derecha a la altura de las calles 4 y 5 y luego gira hacia la parte central del lecho. Junto al Hospital de Yopal pasa un pequeño brazuelo, con poca actividad de socavación sobre el talud.

Tercer sector: La mayor parte del flujo ha tomado una posición en la parte central del lecho del río Cravo Sur y otra porción sobre la margen izquierda. La barra ubicada frente a la urbanización la Casa del Río cuenta con cobertura vegetal y el río no ataca esta franja.

4.2.6 Vuelo C-2325 – Sobre 34483 - 6 de enero de 1988 – Foto No. 144 y 145.

Primer sector: Las dos barras descritas desde 1938 desaparecen como elementos del cauce como también los brazuelos que les rodeaban se convierten en playones. Aparece una incipiente cobertura vegetal en los alrededores de las que se pueden llamar pseudo-barras. El cauce toma una característica rectilínea y perfectamente definido.

Segundo sector: Se ha formado totalmente la barra del Parque de La Iguana. El cauce principal se direcciona por la parte central del lecho abriéndose en pequeños brazuelos. Hay un brazo que golpea el talud de la margen derecha con gran intensidad a la altura de las calles 8 y 9. Luego sigue recostado a la base del talud, uniéndose a los otros dos brazos frente al hospital de Yopal. Hay un brazuelo que sigue por la parte central del lecho paralelo al cauce mayor que va por la parte derecha del río.

Tercer sector: El río se divide en dos grandes cauces, uno que pasa por la margen izquierda y otro por donde se encuentra el mayor caudal que pasa por el centro del río. La barra ubicada frente a la urbanización La Casa del Río cuenta con cobertura vegetal y el brazuelo entre esta barra y el talud se ha ampliado, lo cual demuestra que se ha producido erosión del talud.

4.2.7 Vuelo C-2486 – Sobre 36411 – 25 de septiembre de 1992 – Foto No. 042 y 043.

Primer sector: Existe un pequeño brazuelo a la altura del oleoducto de ECOPEPETROL. Allí se construye una obra de protección en la orilla del talud de la margen izquierda y este brazuelo desaparece totalmente. El río posee una tendencia recta y estable. Las barras y brazuelos han desaparecido totalmente.

Segundo sector: La barra del parque La Iguana, está totalmente conformada y estabilizada. El flujo comienza a formar dos brazos que se abren hacia la orilla de la margen izquierda y comienzan a golpear y socavar la base de la banca de la carretera. El cauce principal sigue por la parte central y golpea con fuerza el talud de la margen derecha a la altura de las calles 7 y 8, luego sigue una tendencia recostada al igual que en 1979.

Tercer sector: La barra ubicada frente a la urbanización La Casa del Río cuenta con cobertura vegetal y el río no ataca el talud.

4.2.8 Vuelo C-2563 – Sobre 37135 – 11 de febrero de 1995 – Foto No. 03 y 04.

Primer sector: El flujo tiene una tendencia totalmente rectilínea. Las dos barras y los brazuelos han desaparecido. A derecha e izquierda por donde se abría el río ha sido invadida por una cobertura vegetal arbórea.

Segundo sector: La barra del parque se ha estabilizado totalmente. Los brazuelos y las barras se estabilizan y presentan cobertura vegetal. Los brazuelos que se encuentran dentro de la barra del parque la Iguana tienden a desaparecer y ser invadidos por la vegetación. Desde el puente La Cabuya hasta el Hospital de Yopal, el cauce del río Cravo Sur presenta una tendencia rectilínea. Frente a este parque se abre en dos brazos el río, uno de ellos golpea el talud de la margen derecha a la altura de la calle 8. Otro brazuelo gira a la izquierda hacia el talud de la margen izquierda y comienza el proceso de ataque y erosión de la banca de la vía a Pore. Este brazuelo se ampliará entre 1995 a 2000, desviará por el todo el flujo y golpeará con gran intensidad socavando la base de la carretera Yopal - Pore. El brazuelo de la izquierda toma una tendencia paralela al cauce principal.

Tercer sector: Dentro del cauce del río se comienza a evidenciar el ataque del río al talud donde se encuentra la urbanización La Casa del Río.

4.2.9 Conclusiones del análisis. De acuerdo a las características que muestran las fotografías aéreas para el período entre 1938 y 1995, se puede deducir lo siguiente:

- a. La ciudad de Yopal se construyó sobre un abanico que ha formado el río Cravo Sur, cuyo momento histórico – geológico no se ha determinado.
- b. En a foto aérea 833 correspondiente al vuelo 10489 – Sobre B – 115 de 07 de enero de 1938, se puede ver con claridad la avalancha que se ha presentado en la cuenca del río Cravo Sur y cuya magnitud ha alcanzado la zona donde actualmente se encuentra construida la ciudad de Yopal.
- c. El río Cravo sur en su morfodinámica correspondiente al tramo frente a la ciudad de Yopal ha sufrido cambios bruscos, moviéndose en términos generales de una margen a la otra de la siguiente manera:

Año	Margen por donde pasaba el río
1938	Por el centro
1959	Por la margen derecha
1961	Margen derecha e izquierda
1979	Por la margen derecha
1981	Por la margen izquierda
1988	Distribuido pero con tendencia hacia el centro
1992	Margen derecha e izquierda
1995	Por el centro

- d. En la última década se establece una tendencia del río Cravo Sur hacia la margen derecha, adquiriendo características similares a las que tenía el río en el año de 1979.
- e. El tramo más susceptible del río Cravo Sur, corresponde al sector comprendido entre el Puente la Cabuya y las bocatomas del distrito de riego, debido al cambio brusco de pendiente, la acumulación permanente de sedimentos gruesos, a la formación de numerosas barras y brazos, y en consecuencia a lo anterior, a la alta velocidad y cambio repentino de dirección del flujo.
- f. El tramo comprendido entre el Puente La Cabuya y el inicio de la barra donde se encuentra el parque La Iguana es la parte del tramo en estudio que determina los cambios en la morfología aguas abajo, es decir, todo cambio que allí se presente, marca el cambio o rumbo del río entre el inicio del parque La Iguana y el sector donde se ubican las bocatomas.
- g. La acomodación de material del río bajo el oleoducto de ECOPETROL en abril de 2003 por parte de la Empresa de Acueducto de Yopal y obras públicas de la Gobernación, generó un cambio brusco en el tramo recto del río (Puente La Cabuya y barra del parque La Iguana). Por otra parte, aceleró el proceso de entrada del río por la barra del parque tal y como se había establecido en el estudio del primer tramo. En la actualidad el río ha ingresado por el sitio donde se diseñó el Box-Coulvert del dique, formando un pequeño brazo que regresa al río frente al sector donde se localizan los hexápodos de la margen izquierda.
- h. Se requiere de mayor control y manejo técnico del río en el tramo comprendido entre el Puente La cabuya y las bocatomas del distrito. Esta particularidad se demuestra por la cantidad de material que se extrae y se mueve, como también por la alta tasa de obras que se han construido de manera independiente una de otras, sin obedecer a diseños ajustados a la dinámica histórica del río. En el tramo se encuentran: diques, jarillones, trinchos, obras de protección de taludes, excavación de material, reacomodamiento de sedimentos, etc.

- i. En la margen derecha del río se encuentra la vía Yopal – Pore – Arauca. Además del problema geotectónico del cerro aledaño, el río ha ejercido un efecto erosivo sobre la base del talud, lo cual ha generado caída de la banca y corrimiento de la vía. En este sector del río se han construido algunas obras de protección: gaviones y muros en concreto, y obras de direccionamiento del flujo como espolones con hexápodos. Las obras que mejor han funcionado han sido los hexápodos. Para las obras que se construyan en esta parte del río, su diseño debe contar con obras de direccionamiento del flujo.
- j. En estudios anteriores se recomendó retirar el material de la barra artificial colocado bajo el oleducto. Esta actividad no se realizó y generó el movimiento del flujo hacia la margen derecha, golpeando la base del talud y desestabilizando parte de la ladera por donde pasa el acueducto de la ciudad de Yopal. Con la llegada de las lluvias, se generó en el mes de mayo una ruptura de la tubería por caída del talud y parte de la banca de la vía pavimentada. Esta parte se estabilizó cuando se retiró el flujo, mediante el movimiento del material de la barra y formando un espolón, como actividad recomendada para dar inicio en la construcción del dique diseñado para proteger el parque de la Iguana.

4.3 SITUACIÓN ACTUAL Y MORFODINAMICA DEL RIO EN LOS ULTIMOS AÑOS

Con base en el plano topográfico que se levantó para el área estudiada (Ver Plano 6 – Anexo C), se puede establecer la siguiente situación actual del tramo: Puente La Cabuya – Hospital de Yopal

Teniendo en cuenta que la última foto aérea corresponde a 1995, el río Cravo Sur hasta la fecha, ha presentado algunos cambios que merecen dedicarle un espacio, a continuación se hace un análisis para cada uno de los tres sectores.

Primer sector: El cauce del río Cravo Sur entre 1995 a finales de 2003 presenta una tendencia rectilínea. Las barras que existían y los brazuelos desaparecieron. El gavión de la orilla izquierda aguas abajo del puente La Cabuya cumplió su objetivo de estabilizar el talud e impedir que el flujo socave la orilla y forme los brazuelos que existieron entre los años 1938 a 1959. Existe una barra artificial o dique con material del río en la parte central del cauce, entre el K0+425 y el K0+725. Esta obra no se ha establecido quién ordenó realizarla ni el propósito práctico, y desde el punto de vista de morfodinámica del río, no se ha podido entender, cuál sería el papel que cumpliría esta obra, (Ver foto 23 – Anexo E). En abril de 2003 se colocó una barra artificial con material del río en la parte central del cauce, trabajo realizado entre la Empresa de Acueducto de Yopal y la Secretaría de Obras de la Gobernación. Este dique comenzó a desestabilizar inicialmente el talud de la margen derecha. Aunque el propósito de colocar este material en el sector era dividir el río en dos brazos para quitarle fuerza y ayudar a mejorar la dinámica aguas abajo, los resultados fueron totalmente opuestos.

Una vez se presentaron las primeras lluvias en la cuenca del río cravo Sur y se generaron las crecientes de abril, el río junto a estas barras artificiales se direccionó contra el talud de la margen derecha desestabilizó la vía al puente La Cabuya y la línea de conducción del acueducto de Yopal.

Después de este acontecimiento se abre un brazuelo en la margen izquierda del río, unos 50 metros abajo y en el costado opuesto del sitio donde se presentó el deslizamiento del

acueducto y la vía. Este brazuelo fue uno de los primeros indicios de la inminente entrada del río por la barra donde se encuentra el Parque La Iguana y aceleró el proceso de construcción de dique de protección. En la Foto 24 del Anexo E, tomada en mayo de 2004, se muestra la entrada de agua por ese brazuelo al paso de una creciente. Ante esta situación y en aras de dar inicio a la construcción del dique en la barra del parque La Iguana, se procedió a cerrar el brazo derecho con la colocación de material grueso y sobretamaños. Esta actividad se cumplió y ayudó a la estabilización del talud y que el río se direccionara la mayor parte por la margen izquierda. En la Foto 25 se muestra el momento en que cerraba el brazuelo y se alejaba el agua de la margen derecha.

Segundo sector: Al Inicio del parque de La Iguana el río gira a la izquierda y golpea la base del talud de la banca de la vía Yopal - Pore. El río ha formado 12 barras y varios brazuelos en el tramo estudiado. El flujo se distribuye heterogéneamente. La mayor parte del flujo se fue concentrando hacia la margen izquierda. En la foto 26 se aprecia el flujo golpeando la base del talud. En este instante el río ataca el talud de la margen derecha y destruye una pequeña casa que se encontraba frente a la barra No. 2. El INVIAS decide colocar material grueso en la base del talud y desviar un poco el flujo hacia la parte central del brazo. Este sector ha sufrido modificaciones que deben ser analizadas con detenimiento:

Frente a la barra del parque La Iguana se ha formado la barra No. 1 (Ver Plano 6 – Anexo C). A su derecha hay un pequeño brazuelo que viene ampliándose, con un caudal cada día mayor y permitiendo que el cauce principal del río se corra hacia la derecha del lecho. Por otro lado esta barra viene acumulando material y ampliando su área. De la bocatoma por donde ingresa agua a los caños del parque La Iguana, se forma un brazo que luego se divide en dos brazuelos y desembocan respectivamente al comienzo y final de la barra No. 1. Estos brazuelos vienen aumentando en ancho y capacidad de transporte de flujo.

A comienzos del año 2003 después de la barra No. 1 el flujo se direccionaba totalmente entre la orilla izquierda. Durante el año de 2003 el flujo cambio de dirección y se desvió por un brazo que se formó entre la barra No. 2 y la barra del Parque de La Iguana. Ver Plano 09 – Anexo C. En la actualidad por el brazo izquierdo de la barra No, 2 pasa un 30% del caudal y por el brazo de la derecha pasa un 70% del caudal.

Se puede deducir que existe una tendencia marcada del río Cravo Sur de moverse hacia la derecha del lecho, es decir, viene buscando la entrada a la barra donde se encuentra el Parque de La Iguana. Muy seguramente ingresará por donde existe la bocatoma, se unirá a los caños No. 1 y 2 y continuará con una tendencia hacia la margen derecha, siguiendo una dirección similar a la que tenía en el año 1979.

Hacia mitad del año 2003 el brazo que pasa por la derecha de la barra No. 2 continuaba en dirección al sector donde se ubica la cabaña del Parque La Iguana, y destruyó gran parte de las casetas construidas para asados. Sin embargo en la segunda mitad del 2003, el río direccionó la mayor parte del caudal por entre las barras No. 2 y 4 y de igual manera entre las No. 3 y 5. Es decir, a partir de la barra No. 2, el río toma una tendencia hacia la parte central del lecho. Esto demuestra efectivamente como el río se mueve hacia la derecha (al inicio del parque de La Iguana) y luego a la izquierda, buscando un movimiento sinuoso y de mayor intensidad, para luego ingresar definitivamente al Parque. Este movimiento permitirá a su vez que el río se mueva nuevamente a la izquierda y golpee como en años anteriores el talud de la margen derecha a la altura de las calles 7, 8 o 9.

Donde finaliza el tramo en estudio existe una bocatoma para llevar agua al canal de El Remanso. Para ayudar a ingresar agua al canal especialmente en la temporada de bajos niveles de agua en el río Cravo Sur, se construye un jarillón en el brazo que existe entre las barras No. 9 y 11. Esta actividad debe ser controlada o en su defecto diseñar y construir una bocatoma única que distribuya agua para todo el sistema de canales de riego que existen en este sector.

Tercer sector: Una de las características más notorias de este tramo tiene que ver con la tendencia muy marcada a seguir el río por la parte central del cauce. Son pocos los años cuando el flujo se recuesta sobre la orilla derecha o izquierda del río. Esta particularidad es la que ha llevado a los dueños de los canales a construir diques y canales en medio de las barras para llevar agua a sus bocatomas desde lugares muy cercanos al hospital de Yopal, direccionando el flujo hacia la orilla derecha con el propósito de no quedar en seco sus canales.

4.4 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Teniendo en cuenta los datos de Valores Medios Mensuales de Transporte de Sedimentos suministrados por el IDEAM, correspondientes a la Estación Hidrométrica de Puente Yopal sobre el río Cravo Sur en el período comprendido entre 1981 y 1997, expresados en Kton/día, según se muestra en la Tabla 11, en la que se observa que la distribución del transporte de sedimentos tiene una tendencia unimodal, siendo el año de menor transporte el de 1988, para un valor medio de 1,30 Kton/día y el de mayor transporte medio, el año de 1983 con un valor de 14.11 Kton/día.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUA
MEDIOS	0.14	0.26	0.52	3.11	9.40	14.6	16.8	12.4	8.15	4.78	1.77	0.51	6.05
MÁXIMO	0.42	1.48	1.794	12.7	28.9	43.2	48.9	50.6	40.2	16.0	6.56	1.57	50.60
MÍNIMOS	0.03	0.02	0.01	0.21	0.89	1.21	1.22	0.89	0.78	0.31	0.14	0.05	0.02

Fuente: IDEAM.

4.5 AREAS DE RIESGO

Una de las determinantes físicas para la localización de Yopal en el año 1934, la constituyó la oferta hídrica ofrecida por el río Cravo Sur, época en que las relaciones de la población con su entorno eran armónicas. Por lo anterior, la ciudad se ubica en este cono aluvial el cual data de la época cuaternaria y se encuentra conformada por depósitos de terraza con alturas promedio de 6 metros hasta el punto donde hoy funciona el hospital regional, luego las terrazas disminuyen su altura hasta encontrar el nivel del río, con las consecuentes amenazas de desbordamiento e inundaciones.

La ocurrencia frecuente de eventos naturales tiene influencia en forma directa e indirecta en la vida, bienes o servicios del municipio. El efecto negativo depende de la intensidad, frecuencia y área afectada, como el caso de la deforestación y excesivas lluvias sobre la microcuenca La Tablona, que ha presentado frecuentes deslizamientos afectando la

infraestructura del acueducto municipal además del riesgo que corren algunos cascos urbanos por estar ubicados en una zona de avalanchas e inundaciones.

Con base en el plan de desarrollo agropecuario del municipio de Yopal del año 1994, el sector urbano se puede dividir en las siguientes zonas de riesgo:

- *Zona de alto riesgo por derrumbes y deslizamiento:* Corresponde esta zona a la parte alta de la microcuenca de la quebrada La Tablona, y a la zona norte del municipio de Yopal. Para la primera zona las causas identificadas tienen que ver con abundante precipitación, alta erodabilidad de sus suelos, relieve escarpado y tala indiscriminada de sus bosques; para la segunda zona localizada específicamente en la quebrada La Calabozza se ha identificado el riesgo del represamiento de este cauce, lo cual puede llegar a formar un gran flujo de lodo o material conformado por detritos del río Cravo Sur.
- *Zona de riesgo por avalancha:* Corresponde a los sectores ubicados en la parte media del municipio y clasificados así por los flujos torrenciales debido al cambio brusco de pendiente, como es el caso de una gran parte del casco urbano del municipio de Yopal.
- *Zona de riesgo a inundaciones:* Corresponde a las áreas ubicadas en la parte baja del municipio donde se concentran las aguas provenientes de la escorrentía de las áreas más altas del mismo. Fenómeno favorecido por las lluvias fuertes (Aguaceros acompañados de rayos y truenos) que se presentan entre el Morro y Yopal, generando represamientos, crecientes súbitas y desbordamiento en la margen derecha del río Cravo Sur frente a Yopal o la entrada de estos volúmenes de agua por los canales de riego.

En un momento aún no determinado que puede llegar a ser finales del siglo XIX o comienzos XX, allí donde se comenzaban a levantar las primeras casas en el área donde hoy se ha construido la ciudad de Yopal, se presentó una avalancha de grandes proporciones que borró totalmente lo que allí existía, debido a los vestigios que se muestran en la fotografías aéreas de los años 1936, 1937 y 1938. Aunque no se conocen exactamente las causas del fenómeno, se sabe con certeza que la avalancha provino del cañón del río Cravo Sur. En la actualidad se hace imperiosa la necesidad de datar y tratar de establecer una periodicidad de las avalanchas que se han presentado en la cuenca del río Cravo Sur y que han dado lugar a la formación del abanico de Yopal.

En la ciudad de Armero – Tolima, se había establecido una periodicidad del fenómeno de las avalanchas que bajaban por el río Lagunilla, de entre 130 y 150 años, lo cual dio a los científicos en 1985, un indicativo del grado de peligrosidad durante la actividad que comenzó a presentar el volcán Nevado El Ruiz a comienzos de 1985.

La zona ubicada en la vertiente izquierda del río Cravo Sur entre éste y la quebrada la Guamalera, sitio conocido como Filo Los Pozos Guamalera y en la vertiente derecha desde la cuchilla Cadilla hasta la quebrada La Tablona, están afectadas por fenómenos de remoción en masa. La apertura de vías, la deforestación, el desarrollo petrolero y la práctica intensiva de pastoreo, conllevan a una debilidad paulatina del terreno en una amenaza directa para la ciudad de Yopal.

Los estudios realizados determinan el área urbana de Yopal, como una zona de alto riesgo por la incidencia directa del río. Lo complejo de fenómenos de localización frente al caño del Morro, el cambio repentino de pendientes al llegar a la sabana, la geología inestable del piedemonte, los fuertes aguaceros de la parte media del río Cravo Sur y la actividad tectónica en la zona puede ser la causa de una posible avalancha en un futuro no muy lejano.

4.6 AFECTACIONES Y EMERGENCIAS OCASIONADAS POR EL RIO CRAVO SUR

Los procesos tectónicos (Remoción en masa, Deslizamientos, cárcavamiento y avalanchas) presentan un alto grado de incidencia en la cuenca alta y media (Por encima de la cota 350 m.s.n.m), dándole a la cuenca una connotación especial que amerita un estudio específico de estos dos sectores de la cuenca; al respecto se tienen informes donde se identifican varios sitios o puntos con este tipo de problema entre ellos: Las laderas de la divisoria de agua de los ríos Cravo y Payero, El Cerro de Camejoque, avalanchas en la microcuenca Q. Agua blanca, El Cañón del Río a la altura del casco urbano de Labranza Grande, taludes sobre la vía en las veredas La Vega y Guamalera.

En la cordillera es muy común encontrar deslizamientos, cárcavas y movimientos masales; en el pie de monte además de los anteriores, se da la colmatación de los cauces que favorecen las inundaciones, y en las sabanas las inundaciones por la combinación de fenómenos. El valle o sector desde la vereda Guamalera a La Manga es el área de mayor impacto.

Las laderas de las colinas circundantes al Río Cravo Sur presentan en sus estratos, un buzamiento (inclinación en caída) hacia el sur suroeste, por lo que los procesos de erosión y caída de bloques se presenta con mayor frecuencia en el talud cortado por la vía que va desde el puente la cabuya al Morro que desde el mismo puente hacia Yopal, sin embargo diversos factores de alteración ambiental están incrementando el nivel de activación de eventos por remoción en masa en ambos sectores.

En el sector de la vereda Upamena situada al margen derecho del río, se encuentran viviendo algunas familias entre el borde mismo de la Vía Marginal de la Selva y los taludes de la terraza del río, entre ellas hay varias que no han podido ser evacuadas, sin embargo no se confirmo si eran o no antiguos habitantes del sector, y otras que actual y recientemente están ocupando áreas supuestamente ya desalojadas, se han asentado en forma ilegal.

En sectores de las veredas La Vega y Guamalera situadas al margen izquierdo del río habitan algunas familias en el borde mismo de la Vía que va al Morro y los taludes de la terraza del río. Algunos manifestaron no haber recibido notificación alguna acerca de estar o no viviendo en zona de riesgo, aunque varias personas reconocieron que temen la caída de rocas y de deslizamientos.

Del análisis preliminar de las avalanchas detectadas en el abanico del río Cravo Sur con base en las fotografías aéreas correspondiente al Vuelo B-115 sobre 10489 – 7 de enero de 1938 – fotos 832 y 833, se estableció lo siguiente:

- a. Realizar un estudio morfodinámico y multitemporal del abanico de Yopal, realizando una estratigrafía del perfil del abanico para definir los eventos y establecer una

aproximación en la frecuencia y magnitud de las avalanchas con calicatas entre 3 a 5 metros de profundidad en varios sitios del abanico de Yopal.

b. De las fotos se estableció preliminarmente lo siguiente:

- Dos zonas en el abanico que corresponden a dos avalanchas diferentes.
- Las avalanchas pudieron haber ocurrido en los últimos 10 a 20 años antes de la foto (enero de 1938).
- La presencia de surcos sobre el material acumulado sobre el abanico, es generado por la escorrentía del mismo abanico o laderas cercanas, producto de las lluvias locales.
- La presencia de vegetación sobre el cauce del río Cravo Sur aguas arriba del sitio donde se ubica actualmente el puente La Cabuya, es un indicativo de que la avalancha no es reciente a esa época (año de 1938).
- Según documento de INGEOMINAS se generó un deslizamiento en Labrazangrande en mayo de 1938, sobre la quebrada Grande, aguas arriba de esta población, lo cual causó daños en este caserío y pudo haber llegado al abanico de Yopal.
- Según los documentos revisados para la elaboración del POT de Yopal, cronológicamente no se reporta para los años 1937 a 1940 la presencia de avalanchas sobre el pequeño caserío de Yopal.
- En reportes periodísticos se hace mención a este fenómeno en septiembre de 1938.
- Por esta época y en la parte superior del abanico hay sectores que han sido limpiados y preparados para potreros.
- Hay árboles que quedaron en pie, lo cual es un indicativo de que la mancha o altura de la avalancha no fue muy alta.
- El actual caño Seco sirvió de límite hacia el sector derecho del abanico e impidió que la mancha pasara sobre la margen derecha del caño.

Se debe impedir que el río ingrese a la barra del parque la Iguana y buscar un direccionamiento por la parte central del lecho. De ingresar el río al parque La Iguana las actividades requeridas para este propósito se incrementarán en términos de los costos de relleno y desviación del flujo, para implementar la construcción de un dique.

Como actividades de mejoramiento de las condiciones del cauce, se encontró que se puede proteger la barra del parque la Iguana, no de direccionamiento del flujo, sino de encauzamiento de las aguas altas, sin perjuicio de las obras construidas en el talud de la margen izquierda para proteger la banca de la vía Yopal – Pore. Además se debe dragar el lecho del río a la altura de las barras 1 y 4, para redireccionar el flujo y buscar que la mayor parte del caudal se encauce por la parte central del lecho.

Con base en las copias de las imágenes de satélite tomadas por el LANDSAT, se tiene con total claridad, varias particularidades de la cuenca del río Cravo Sur y del abanico de Yopal.

- Hay una falla tectónica en la parte media de la cuenca.
- La falla geológica se ubica en una parte de la cuenca que ha tenido en los últimos años un gran desarrollo industrial y agrícola.

- En este sector se encuentra la quebrada La Tablona, la cual aporta la mayor parte de los sedimentos que se encuentran en la actualidad en las barras y playones frente a la ciudad de Yopal. La deforestación y los deslizamientos se han incrementado en los últimos años, lo cual condiciona posible formación de avalanchas.
- Al occidente de Yopal existe el cerro de Las Antenas. En algún momento de la historia geológica de la cordillera, el río rompió el lineamiento que llevaba para llegar a la sabana, tal como lo hicieron los ríos Cusiana, Charte, Unete y Tocarí.
- En la imagen LANDSAT TM del 22 de marzo de 1988 que cubre parte de la cuenca del río Magdalena, se aprecia la avalancha del río Lagunilla en el antiguo Armero. En la imagen se aprecian abanicos de los ríos Lagunilla, Recio y Combeima. Si se compara esta imagen con la del río Cravo Sur, se aprecia con total claridad los rastros que han dejado las avalanchas. El abanico de Yopal en la imagen de satélite es el único dejado por una avalancha, ya que este rastro no se aprecia en otros ríos de la zona.
- En la parte media se aprecian zonas con pendientes muy pronunciadas en sus vertientes. En la parte alta de la cuenca, la pendiente de la vertiente es menor.

El deslizamiento y avalancha más reciente de que se tenga referencia en el río Cravo sur corresponde al informe No. 74 del Servicio Geológico Nacional, fechado en mayo de 1938 y titulado: Deslizamientos en Labranzagrande – Departamento de Boyacá. Este documento fue elaborado como informe de una visita de campo por el Ingeniero civil Eduardo Chávez Sicard, los días 25 y 27 de 1938 (no se especifica mes), donde se hace un recuento de los destrozos en Labranzagrande por un deslizamiento de tierra de grandes proporciones que taponó el cauce de la quebrada grande afluente del río Cravo Sur.

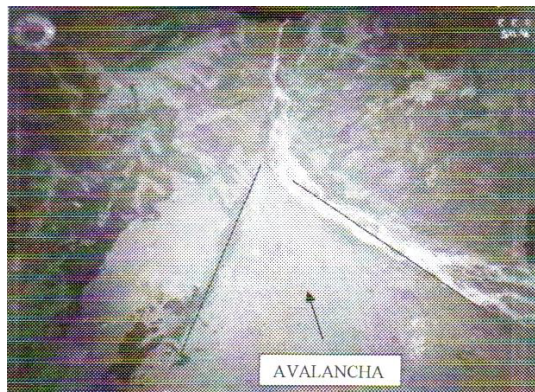


Ilustración 18. Fotografía aérea 1936-1938- Fuente IGAC

Se puede apreciar que el Cravo Sur no ha cambiado sustancialmente en su morfodinámica frente a la ciudad de Yopal y su divagación se ha enmarcado dentro del lecho del río. En la siguiente fotografía aérea de 1995, se muestra el sector del abanico del Cravo Sur donde se encuentra en la actualidad la ciudad de Yopal y comparativamente con el área que ha sido afectada en el pasado por avalanchas, corresponde aproximadamente a un 75% del área construida.

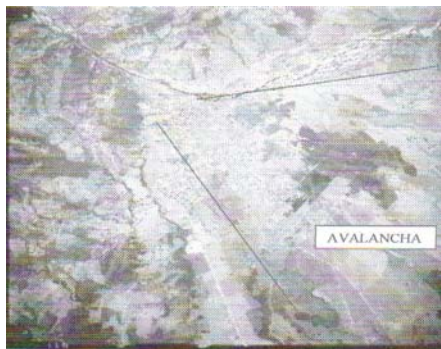


Ilustración 19. Fotografía aérea 1995 - Fuente IGAC

De presentarse un evento de similares características, muy seguramente la ciudad de Yopal quedaría en gran parte destruida. Contra una avalancha como las que se han presentado en el río Cravo Sur, no hay obra civil que pueda mitigar sus efectos. La única alternativa es la instalación de un sistema de alarma en tiempo real, que le permita conocer a la comunidad, el momento de evacuar la ciudad. La propuesta de este sistema ya fue presentado a la administración gubernamental en el año 2003 por el ingeniero Abraham Salazar. Todo se puede reconstruir o recuperar después de una catástrofe a excepción de la vida y de la integridad de las personas. La historia demuestra que la población no se prepara para inundaciones o avalanchas, se le presta mucha atención a los terremotos o sismos, que son impredecibles y los logros científicos se remiten a simples estadísticas, ya que su manifestación es espontánea. Las avalanchas pueden dar un margen de máximo una hora (en la cuenca del río Cravo Sur) para desalojar la ciudad, con la ubicación correcta de los sensores que detecten el paso de un gran volumen de agua por un sitio determinado técnicamente por un hidrólogo.

Los meses de Septiembre de 2003, y mayo - julio de 2004 fueron los más lluviosos que otros registrados o recordados en la región. La secretaria de obras, los Servicios de Emergencia, patrulleros de la Policía Nacional, la empresa de Acueducto y Alcantarillado y la Secretaria de Obras Publicas de Yopal recibieron varios informes respecto a grietas que se agrandaban, árboles que se movían, perdían su verticalidad o se desplomaban y pequeños derrumbes y caídas de rocas en ambos sectores, debiendo intervenir a veces en procura de garantizar la protección de la comunidad así mismo el INVIAS tuvo que intervenir en atención de diversos incidentes que obstruyeron la vía marginal de la selva.

Desde la apertura de la Vía los adultos mayores de Yopal relatan sucesos como la caída hace 30 años de una roca del tamaño de un Automóvil Renault 4 en inmediaciones de los que hoy es la Discoteca Oxígeno, la cual aplasto un campero cuyos pasajeros se detuvieron a descansar un momento, sin presentarse entonces víctimas. Hace 5 años otra roca de 3,5 metros de diámetro afecto la vivienda más cercana al puente La Cabuya en su acceso sur.

4.7 OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA DEL RIO CRAVO SUR PARA EL MUNICIPIO DE YOPAL

La Orinoquía cuenta con una gran riqueza hídrica, tanto superficial como subterránea; aunque no está distribuida espacial y temporalmente de forma homogénea durante todo el año. Las condiciones hidrológicas, climáticas y topográficas garantizan una buena oferta

de agua y una densa red hidrográfica. La Orinoquía recibe la humedad de los dos océanos, de la selva amazónica, que brindan una abundante precipitación, además de contar con una cadena montañosa que alcanza hasta los 4500 m.s.n.m. y donde existen tres páramos estratégicamente ubicados, que permiten que se formen un buen número de quebradas y ríos que escurren por la vertiente y el piedemonte hacia la sabana, con un rendimiento superior al del promedio anual de toda Colombia.

La demanda hídrica en el distrito de riego de Yopal se establece con base en los documentos entregados por la Corporación Autónoma de la Orinoquía – CORPORINOQUIA y el estudio Espacialización de Unidades Productivas y Adecuación de Tierras para la consolidación de distritos de desarrollo. Secretaría de Desarrollo Económico – Gobernación de Casanare, Yopal – junio de 2002.

Entre el puente de La Cabuya y las bocatomas existen cuatro extracciones de agua de gran importancia. Cerca al puente, se extrae agua para consumo humano por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Yopal (EAAY). Las otras tres extracciones corresponden a derivaciones de agua para riego.

En los dos extremos o límites del tramo comprendido entre puente de La Cabuya y el Hospital de Yopal existen dos tipos de extracción de agua de gran importancia, que deben ser objeto de análisis en el presente estudio. Cerca al puente La Cabuya se extrae agua para consumo humano y junto al hospital de Yopal se deriva agua para riego.

En la primera derivación ubicada frente a la estación de Puente Yopal (100 metros aguas arriba del puente La Cabuya) se extrae agua del río Cravo Sur para el acueducto de la ciudad de Yopal mediante dos motobombas que succionan alternadamente 125 L/s en la temporada de verano. La capacidad de dos tanques de almacenamiento es de 2500 m³, es decir una capacidad para una población de 70.000 personas las cuales residen en aproximadamente 14.000 viviendas; actualmente se ejecutan obras de ampliación de la planta para aumentar el caudal de tratamiento, debido a que la población ha aumentado de manera significativa en los últimos tres años.

En la parte oriental de la ciudad de Yopal se encuentra una gran zona dedicada a la ganadería, y agricultura. El suministro de agua hacia todos los predios se realiza mediante una compleja red de canales primarios y secundarios. Estos canales no cuentan con bocatoma o estructura hidráulica de derivación y el lecho de los mismos es en tierra. Ninguno de los canales cuenta con sistemas de medición y aunque existen algunas estructuras reguladoras (compuertas), éstas no funcionan debido a la oxidación de sus partes por falta de uso. En algunas solamente queda la estructura en concreto.

En el sector se pueden establecer tres sistemas de canales principales:

1. Canal El Remanso
2. Canal Matepatano
3. Canal del Caño Blanco

El canal del caño Blanco se deriva en tres canales: Canal De Los Márquez, Canal La Victoria, y canal Los Comuneros. Este último a su vez se divide en Comuneros A y Comuneros B.

El suministro de agua hacia todos los predios se realiza mediante una compleja red de canales primarios y secundarios. De acuerdo a comunicación entregada por CORPORINOQUIA del 26 de julio de 2004, la entidad concedió los siguientes caudales:

CANAL	CAUDAL (m ³ /s)
El Remanso	1.0
Matepantano y Márquez	7.0
Total concedido	8.0

El volumen de agua que entra a cualquiera de los canales depende de la ubicación del jarillón que se le construya y del momento en el año o régimen hidrológico del río Cravo Sur. Además, las características hidráulicas de las bocatomas no permiten condiciones de regulación de caudales de entrada al canal. Esta particularidad permite deducir que cualquier aforo que se realice en los canales depende de los niveles hidráulicos de la bocatoma y del estado hidrológico del río.

La poca uniformidad que presentan los canales debido a su construcción en tierra y la erodabilidad que presentan los taludes, hace muy difícil establecer una capacidad uniforme a lo largo del canal, las derivaciones ilegales y no contabilizadas dificultan poder establecer un balance de caudales a la entrada y salida en cada canal.

4.7.1 Canal El Remanso. El canal El Remanso es el primero en derivar agua del río Cravo Sur y su bocatoma ubicada frente al hospital de Yopal, en la foto 27 del Anexo E, se aprecia un jarillón con material del río, el cual está conformado con bolsas de arenas y gravas. Deriva aproximadamente unos 3.0 m³/s y se encuentra en el lecho del canal, material conformado por cantos hasta de 20 cm de diámetro. La capacidad real del canal no supera 1.20 m³/s, ya que puede desbordar con facilidad algunos tramos que presentan poca capacidad.

Este canal en algunos sectores tiene obras de protección del talud con muro de concreto (Ver foto 28 – Anexo E) y gaviones como se aprecia en la foto 29. El canal continúa en medio de viviendas contaminando con basuras y aguas residuales. Existen algunas alcantarillas circulares (Ver foto 30 – Anexo E) y en la intercepción con la vía pavimentada a Siribana, existe un puente vehicular de 12 metros de ancho (Ver foto 31).

4.7.2 Canal Matepantano. El canal se ubica aguas abajo del Canal el Remanso y presenta características similares a las demás bocatomas de los otros canales, llegando a tener de 10 a 12 metros de ancho y un caudal aproximado de 3 a 4 m³/s. El lecho del canal se encuentra conformado por arenas gruesas y cantos de entre 10 a 15 cm de diámetro. Parte de las aguas consideradas como de exceso salen por un vertedero, especialmente durante los meses de invierno, cuando el nivel del río Cravo Sur aumenta considerablemente. Esta agua de exceso cae al canal de Caño Blanco. Este canal contó en alguna oportunidad con una estructura reguladora, conformada por dos compuertas, de la cual solamente queda la parte estructural en concreto (Ver foto 32). En este sitio se encuentra un balneario, que es visitado por una gran cantidad de bañistas durante la temporada de verano.

La foto 33 corresponde al sitio de bocatoma o entrada del agua al canal. El canal es recto, el talud del canal en el tramo localizado dentro de las barras se ha reforzado con diques en material del río cuya altura es de aproximadamente 3.50 m. Los trabajos de desviación del agua hacia el canal comienzan frente a la urbanización La Casa del Río (Ver foto 34).

4.7.3 Canal de Caño Blanco. Este canal se encuentra junto al canal de Matepantano. De igual forma a este canal se le construye un jarillón para la entrada de agua. En alguna oportunidad se construyó un dique con material del río cuya altura alcanzó los 3 a 4 metros de altura.

En el Plano No. 9 – Anexo C, se presenta la ubicación de cada uno de los sistemas de canales.

5 . HIDRAULICA

5.1 PRINCIPALES MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LAS INUNDACIONES.

Uno de los fenómenos que más afecta a las poblaciones ubicadas cerca de los ríos y quebradas son las crecientes fuertes o inundaciones. A fin de contrarrestar el efecto que éstas ocasionan sobre la población y la infraestructura económica, se implementan medidas de control y prevención. El control de las inundaciones debe ser una parte importante en la planeación del uso de la tierra. Su falta de implementación es causa frecuente de catástrofes económicas y calamidades sociales que inciden notoriamente en el estancamiento del desarrollo urbano y regional.

Básicamente son tres los tipos de medidas identificadas para el control de inundaciones, a saber: reubicación, medidas estructurales, medidas no-estructurales.

La reubicación es una de las medidas más efectivas contra las eventualidades de origen hidrológico. Su costo es muy alto, pero en resultados de protección de vidas humanas y grado de vulnerabilidad de la infraestructura de toda una población, es el mecanismo más apropiado. Son muy pocos los casos que se han llevado a efecto en el país y tal vez uno de los más conocidos fue el realizado en el corregimiento de Juntas, municipio de Ibagué, cuando toda la población fue reubicada en el año de 1987, debido a las crecientes tan fuertes del río Combeima – municipio de Ibagué - Tolima.

Como principales medidas no - estructurales se consideran: la zonificación o planificación rural y urbana en las planicies de inundación; normas de construcción para edificaciones a prueba de inundaciones (viviendas tipo palofíticas utilizadas antiguamente en poblaciones de la costa); seguro contra daños por inundación y sistemas de pronóstico inmediato, con un mecanismo de prevención, asociado al conocimiento en la comunidad con probabilidad de ocurrencia de las inundaciones. De estas diversas medidas no estructurales, la única que ha tenido una clara aplicación en el país es la relacionada con la instalación de sistemas de pronóstico y de alarmas sobre inundaciones. La utilización de este tipo de medidas de tipo no – estructural deberá ser ampliado en el futuro ya que es el que cuenta con una mayor facilidad institucional para su implementación inmediata. Las otras medidas, especialmente aquellas como la zonificación y la zonificación y la adopción de normas de construcción de edificaciones a prueba de inundaciones, requieren de un interés comunitario que es necesario empezar a desarrollar.

Las medidas estructurales para control de las crecientes pueden ser efectivas solo de acuerdo al tamaño de la estructura que se construya para contrarrestar las inundaciones. Las medidas estructurales comprenden todas aquellas obras de ingeniería cuyo propósito es controlar físicamente las crecientes ya sea transformando el caudal o limitando los efectos de la inundación a zonas en donde los daños sean mínimos o muy reducidos. Estas medidas incluyen los embalses de regulación fluvial, los diques de confinamiento, las estructuras de protección de cauces, la modificación o rectificación de estos últimos, y la construcción de rellenos en las planicies de inundación.

La aplicación de estas medidas en el país ha estado limitada en la práctica a embalses de regulación fluvial, en los cuales el control de inundaciones es apenas uno de los propósitos y a la construcción de diques de confinamiento.

La limitante en la ejecución de las medidas estructurales tiene que ver con el alto costo de construcción, por lo cual se hace necesario adoptar mecanismos complementarios o una combinación con las medidas no estructurales, buscando lograr una adaptación de la comunidad a las condiciones naturales y sociales derivadas de la ocurrencia de las inundaciones y la participación de la población en los planes de prevención que deben desarrollarse con los Comités de Emergencia Municipal.

5.2 METODO PARA DETERMINAR LA COTA MÁXIMA DE DISEÑO

5.2.1 Tramo 1. En el estudio realizado para este tramo se estableció de una manera sencilla los procedimientos técnicos para determinar la cota de inundación de la corriente en este sector (con una o varias secciones transversales), que podría representar potencial peligro y afectar la vulnerabilidad de la población e infraestructura económica frente al fenómeno de la inundación. Para tal efecto el estudio se desarrolló de la siguiente manera:

1. Se definió la zona y los sitios susceptibles a inundación y protección contra inundaciones y la posible destrucción de la barra donde se encuentra el parque de la iguana, en la margen derecha del río Cravo Sur en un tramo entre el Puente de la Cabuya y el Hospital de Yopal.
2. Se tomaron secciones transversales cada 100 metros en un tramo que tiene una longitud de 2600 metros. Las secciones transversales A, B, C, D, E, F, G y H se realizaron con alto detalle, ubicadas frente al Parque de La Iguana.
3. Se estimaron los caudales máximos que pasaban por el tramo para diferentes períodos de retorno. Se determinó el nivel de diseño de 20 años entre las secciones A, B, C, D, E, F, G y H.
4. Se determinaron las cotas de inundación para el caudal estimado de diseño de obras en cada una de las secciones, especialmente en las secciones A, B, C, D, E, F, G y H.
5. Con base en las características hidráulicas de cada una de las secciones especiales frente a los sitios de obras, se determinó la socavación esperada para el caudal de diseño.

Entre las secciones B y C se presenta una fuerte caída en el cauce y aumento considerable en la velocidad del flujo.

Se halla la velocidad que toma el agua en cada sección en función del área y de la pendiente estimada. Esta pendiente se puede considerar constante para todo el tramo. La velocidad se halla con ayuda de la fórmula de Chezy.

Para la obtención de estas características hidráulicas se utilizó un modelo hidrológico e hidráulico llamado HYMO - 10, el cual fue desarrollado en Canadá, en la década de los años 80.

5.2.2 Tramo 2. En el estudio realizado para este tramo se estableció de una manera sencilla los procedimientos técnicos para determinar la cota de inundación de la corriente en este sector (con una o varias secciones transversales) o la de diseño de obras para 20 años de período de retorno entre el hospital de Yopal y las bocatomas de los canales de Matepantano y de Márquez. Para tal efecto el estudio se desarrollo de la siguiente manera:

1. Se definió la zona y los sitios susceptibles a inundación y protección del talud de las crecientes extraordinarias, en la margen derecha del río Cravo Sur en un tramo entre el Hospital de Yopal y las bocatomas del distrito de riego de Yopal.
2. Se estimaron los caudales máximos para 20 años de período de retorno con base en la información histórica de caudales máximos registrados en la estación Puente Yopal.
3. Se tomaron secciones transversales en los sitios donde se había definido diseñar una obra. En estos sitios se toman mínimo tres secciones.
4. Se determina el nivel correspondiente al caudal de diseño de las obras o de 20 años de período de retomo en cada una de las secciones transversales.
5. Con base en las características hidráulicas de cada una de las secciones se determinó la socavación esperada para el caudal de diseño.

Con base en la información obtenida de la topografía en cada una de las secciones transversales se generó una curva de gastos o de calibración ($Q = f(H)$).

La relación cota del fondo del río vs caudal en cada una de las secciones transversales se estima con la ayuda de procedimientos hidráulicos elementales.

Se halla la velocidad que toma el agua en cada sección en función del área y de la pendiente estimada. Esta pendiente se puede considerar constante para todo el tramo. La velocidad se halla con ayuda de la fórmula de Chezy.

5.3 SECCION TRANSVERSAL DE AFORO

En la carpeta de aforos y topografía de la estación Puente Yopal (división de hidrología - IDEAM), se encontró una gráfica de la variación de la sección transversal de aforos, ubicada frente a la estación hidrológica. En las figuras 2 y 3 (Ver Anexo D), se muestra la variación que ha tenido el fondo del cauce entre 1980 y 1987. En la figura 2 se aprecia la tendencia al comparar la sección de 1980, 1983 y 1986, donde se ve con claridad como la parte de la profundidad máxima cambió de orilla. En 1980 el sector de máxima profundidad se encontraba hacia la orilla derecha; luego en 1983 se va a la izquierda y en 1986 vuelve a la orilla derecha. Es decir, el río socava y sedimenta (se mueve transversalmente) por épocas de una orilla a la otra. Al ver la figura 3, se puede apreciar como durante los años 1985, 1986 y 1987 movimiento es muy suave y presenta una

continuidad hacia la margen derecha del río. Es decir, los cambios de profundidad se pueden dar entre períodos de 3 a 4 años.

Durante el año 2003, el sector del río de mayor flujo, cambió de dirección bajo el puente de la Cabuya. Al comienzo de ese año, este se encontraba recostado hacia la margen izquierda y durante el mes de noviembre, el flujo se recostó hacia la orilla derecha. Este fenómeno se dió muy seguramente por una barra que se formó junto a la orilla izquierda y 500 m aguas arriba del puente La cabuya (ver Foto 35 – Anexo E). Esta barra hizo que el flujo se direccionara hacia la derecha, golpeará bajo el Puente (control geológico) y luego se direccionara hacia la izquierda pasando por la parte izquierda de la barra artificial existente bajo del oleoducto de ECOPETROL (Ver foto 23 – Anexo E) y con tendencia a golpear en forma frontal contra la parte inicial de la barra del Parque de La Iguana.

5.4 CAPACIDAD HIDRÁULICA EN LAS SECCIONES TRANSVERSALES

5.4.1 Tramo 1. Con ayuda del modelo HYMO -10 para cada de las secciones transversales se estimó la curva de gastos y la curva entre el nivel del agua con su correspondiente área hidráulica. De la relación entre el caudal y el área hidráulica se deduce la velocidad del flujo. Los valores estimados permiten establecer los parámetros indispensables para el diseño definitivo de obras en cada uno de los sitios señalados.

El caudal de diseño de obras para 20 años de período de retorno en el río Cravo Sur es de *1380 m³/s*. Este caudal determina una cota o nivel de diseño específico en cada una de las secciones transversales, con base en sus parámetros hidráulicos característicos en cada una de ellas. De igual manera en cada una de las secciones transversales se permite un caudal máximo de acuerdo a la magnitud que presenta la sección. En el siguiente listado se presentan los resultados del modelo HYMO, donde se estimó el caudal máximo y su correspondiente nivel de agua permitido, o que puede pasar hidráulicamente como máximo por cada una de las secciones transversales (sección transversal llena), de acuerdo a las características morfométricas e hidráulicas establecidas en cada una de ellas, como la pendiente del cauce, el coeficiente de rugosidad, el área hidráulica de la sección y velocidad del flujo. Estos valores corresponden al cauce lleno sin desborde y que puede ser transitado por cada sección transversal sin obras civiles o movimientos de material del lecho.

Sección Transversal	Caudal permitido (m ³ /s)	Cota m.s.n.m. Nivel de agua permitido	Cota de inundación (Para 1380 m ³ /s)	Altura del Dique (m)
A	1784.37	102.32	101.79	1.79
B	1514.72	102.25	102.07	2.07
C	1737.98	102.05	101.65	1.65
D	1939.42	102.17	102.10	2.10
E	1465.59	102.22	102.15	2.15
F	1376.89	102.25	102.25	2.25
G	1447.93	102.13	101.98	1.98
H	906.45	101.97	101.97	1.97
I	877.71	101.82	101.82	1.82
J	247.64	100.00	99.89	0.00
Promedio				1.98

Según los resultados anteriores, a lo largo del borde de la barra del Parque de La Iguana donde se había determinado construir el dique se requería una estructura que cumpliera ese propósito con una altura no menor a 2.00 m, para contrarrestar la altura de la lámina de agua correspondiente a una creciente de 1380 m³/s, estimada para 20 años de período de retorno.

Para el emplazamiento del dique se deberían cumplir tareas de limpieza y nivelación del terreno. Esta labor conllevaría a quitar una parte del material que se pudiese encontrar en esta parte de la barra. La nivelación del terreno debe tener junto con la altura sugerida de 1.80 m del dique, una altura de 2.0 m respecto al borde de la lámina de agua, a la cual se asignaría 100 m. Se recomendó colocar una base de 0.20 m (20 cm) de altura en material recomendado para el dique y sobre este colocar el dentellón y el dique.

Estas son las características de cada uno de los puntos y en cada una de las secciones transversales, una vez se construya el dique (Altura sugerida del dique 1.80m):

Tabla 13. Características del dique en las secciones transversales consideradas			
Sección Transversal	Cota del sitio del dique	Altura total del dique	Margen de seguridad del dique (m)
A	100.25	102.05	0.26
B	100.39	102.19	0.12
C	100.27	102.07	0.42
D	100.42	102.22	0.12
E	100.50	102.30	0.15
F	100.55	102.35	0.10
G	100.45	102.25	0.27
H	100.35	102.15	0.18
I	100.27	102.07	0.25
J	100.15	101.95	----

El margen de seguridad se considera la lámina por debajo de la cota máxima del dique que alcanza el caudal de diseño. Es decir, en la sección transversal F la altura del dique en este punto sería de 102.35 m y el nivel del caudal de diseño (1380 m³/s) alcanzaría la cota 102.25 m o sea 0.10 m por debajo del borde máximo de la estructura.

En la sección Transversal J no se estimó la altura de la lámina de agua debido a en este punto no hay dique. El dique se extiende entre las secciones transversales A e I.

5.4.2 Tramo 2. El caudal de diseño de obras para 20 años de período de retorno en el río Cravo Sur fue estimado en 1380 m³/seg. Este caudal determinó una cota o nivel de diseño específico en cada una de las secciones transversales, el cual determinaría la altura de cada estructura en particular.

Con ayuda del modelo HYMO - 10 para cada de las secciones transversales se estimó la curva de gastos y la curva entre el nivel del agua con su correspondiente área hidráulica. Los valores estimados permitieron establecer los parámetros indispensables para el diseño de las obras en cada uno de los sitios identificados como altamente vulnerables.

Se identificaron tres sitios considerados como críticos en la margen derecha del río Cravo Sur entre el hospital de Yopal y las bocatomas de los canales Matepantano y Márquez:

- La bocatoma de entrada de agua al canal El Remanso.
- El brazuelo de la margen derecha junto a la urbanización La Arboleda
- El brazo derecho del río y el talud de la urbanización La Casa del Río.

El canal El Remanso pasa muy cerca de la pista del aeropuerto El Alcaraván, estableciendo un límite entre la ciudad de Yopal y el área física del aeropuerto, en algunas oportunidades el agua del canal ha desbordado e inundado parte de la pista y potreros aledaños al Terminal aéreo y algunos barrios de la parte este de la ciudad. En el pasado se inició la construcción por parte de la alcaldía de Yopal de un canal que controlara los niveles altos. Antes de diseñar el canal que atravesaría parte de la ciudad de Yopal se debió considerar la forma de controlar los caudales que entraría por la bocatoma del canal.

En este punto del río Cravo Sur se consideró en ese entonces, diseñar una obra que cumpliera tres funciones específicas:

- a. Proteger el sendero peatonal del parque La Iguana que bordea el talud de los predios del hospital de Yopal, mediante un gavión. Este gavión contaría con un espigón en la parte inicial para desviar el flujo hacia la parte central del río.
- b. Una bocatoma que controlaría el agua que pudiera entrar al canal y que contaría con un desarenador y controlador de material o sedimento de arrastre del río (gravas y cantos).
- c. Un dique que impediría la entrada del río a la barra No. 11 y un espigón en la parte final de esta estructura que pudiera direccionar el flujo hacia la parte central del río.

Frente a la urbanización La Arboleda el río abrió a finales del mes de junio del 2004 un brazuelo que estaba abandonado. La creciente alcanzó la altura de 0.80 m según huella detectada días después (Ver foto 36 – Anexo E). Este brazuelo podría conectar con otros brazos abandonados que se encontraban junto al talud de la margen derecha y que fueron utilizados para la construcción de viviendas. El agua ingresó al brazuelo tras la ruptura que sufrió la barra No. 9 tomando el flujo del río una dirección normal o frontal contra el brazuelo y la urbanización La Arboleda , por lo tanto se debería impedir la entrada del agua a este brazuelo mediante la construcción de una obra de alta calidad respecto a la intensidad del río. En la foto 37 se aprecia en la parte inferior derecha la parte trasera de la urbanización y que puede llegar a ser destruida e ingresar a los brazuelos abandonados. En la parte superior derecha se localiza la urbanización La Casa del Río. En los últimos años el río ha impactado contra el talud de la urbanización La Casa del Río, llevándose 10 metros aproximadamente de sus solares. (Ver fotos 38 y 39).

A la entrada del agua al brazo derecho que ha socavado el talud de la urbanización La Casa del Río se consideraba pertinente recuperar parte del talud perdido y protegerlo con una estructura que impidiera el avance del proceso de socavación. Además se recomendó la colocación de un espigón que direccionara el flujo hacia la parte central del cauce, en dirección a la orilla izquierda de la barra No. 17, ubicada frente a la urbanización La Casa del Río.

En general se recomendaron las siguientes obras:

Tipo de Obra	Sitio
Gavión – Bocatoma - Espingón	Junto al Hospital de Yopal
Dique piedra pegada	Brazuelo – Urbanización La Arboleda
Dique compactado – colchón reno	Brazuelo – Urbanización La Casa del Río
Colchón reno y relleno	Brazuelo – Urbanización La Casa del Río

Existen una serie de problemas sociales y ambientales detectados en los canales y consignados en el estudio de Espacialización de Unidades Productivas, sin embargo los más relevantes de carácter hidrológico e hidráulico que afecta su normal funcionamiento se pueden mencionar:

- Gran cantidad de sedimentos, especialmente arenas y gravilla con diámetros no superiores a los 2-3 centímetros.
- No tener bocatoma con estructura que regule la entrada de caudales.
- Taludes en tierra que son erodados con facilidad por el agua.
- Llegada de descoles que pueden ser aguas residuales o lluvias y ayudan a desestabilizar el talud de los canales.
- Construir periódicamente jarillones para lograr la entrada de agua al canal.
- Vertedero de excesos con capacidad de evacuación inferior a los caudales que son rechazados hidráulicamente por el canal. El canal de Matepantano tiene una estructura en concreto y el canal de El Remanso cuenta con una derivación de exceso rudimentaria con bolsas de arena y troncos de árboles atravesados.

5.5 TEORÍA DE SOCAVACIÓN

La socavación general del cauce para el tramo 1 fue calculada por el método propuesto por Lischtvan – Levediev. El método se basa en determinar la condición de equilibrio entre la velocidad media del río y la velocidad media que éste necesita para erosionar un material de diámetro y densidad conocido.

La condición de equilibrio se establece de la siguiente manera:

$$U_e = U_r$$

donde:

U_e = velocidad media que debe tener la corriente para erosionar el material del fondo (inicio de arrastre) en m/s.

U_r = velocidad media real de la corriente en m/s.

Se debe tener en cuenta que la fórmula anteriormente escrita, son las que se aplican para suelos granulares no cohesivos, como es el caso del material de lecho del río Cravo Sur y para diámetros del 84 % que pasa entre valores de 0.182 m y 1.0 m.

La socavación calculada para un periodo de retorno de 20 años en cada uno de los sitios de diseño de obras corresponde a los siguientes valores:

Tabla 14. Socavación calculada en las secciones transversales				
Sección Transversal	Área hidráulica m²	Ancho del Cauce (m)	Profundidad del Cauce (m)	Socavación Esperada (m).
A	306.14	96.75	4.54	2.02
B	285.00	92.40	4.17	2.12
C	201.00	85.40	4.05	3.94
D	246.50	92.90	4.60	3.23
E	248.30	91.65	4.55	3.03
F	240.99	85.50	4.56	3.07
G	242.70	77.40	4.08	2.10
H	170.76	57.40	4.38	2.84
I	167.99	58.20	4.07	2.50
J	84.07	71.00	1.89	0.08
P- Puente	276.48	75.85	4.53	1.92

Los valores obtenidos para la socavación generalizada en las transversales (de la A a la I - secciones de diseño del dique) son altos. En la figura 2 (Ver Anexo D) se puede apreciar cómo se genera una socavación en la estación hidrológica Puente Yopal - ubicada junto al Puente La Cabuya de aproximadamente 1.50 m. Los valores obtenidos de socavación para las secciones de diseño, a partir del cuadro anterior, se esperaba que se generaran en la parte central del cauce, donde se presentaba la mayor velocidad del flujo y también los mayores valores de profundidad de acuerdo a la batimetría obtenida en cada una de ellas.

Para contrarrestar el fenómeno de la socavación en los sitios antes descritos se propuso la colocación de cantos con un diámetro no inferior a los 0.50 m frente a la obra.

Por otro lado, los valores de socavación para el diseño de las obras en el tramo 2, enunciaba como método el mismo empleado para el tramo 1. No obstante, para este tramo no se reportan los valores obtenidos para las obras propuestas.

6 . GEOTECNIA

A continuación se detalla el informe realizado por el ingeniero geotecnista, después del estudio realizado previa visita al río Cravo Sur, a fin de establecer claridad sobre sus observaciones en campo y las decisiones tomadas para el manejo del río.

6.1 INTRODUCCIÓN

La Alcaldía municipal de Yopal contrató con el Ingeniero Abraham Salazar, el Estudio y Diseño de Obras de Protección e Inundaciones en el Río Cravo Sur, Tramo Puente La Cabuya-Hospital de Yopal, la Zona de Protección Ambiental Para El Parque Natural La Iguana hasta las bocatomas de los distritos de riego del río Cravo Sur, en cercanías al casco urbano del municipio de Yopal en el Departamento de Casanare.

De igual manera, el Ingeniero ABRAHAM SALAZAR encomendó al Ingeniero JOSÉ MANUEL ALVAREZ, el diagnóstico y análisis geotécnico para la estabilidad de la margen derecha del río a la altura del sector en mención, con miras a determinar las características de los materiales que conforman el subsuelo de los taludes y las obras de protección necesarias para garantizar la estabilidad de la margen del río en cercanías al municipio de Yopal, a fin de diseñar obras adecuadas para el manejo del río y sus crecientes extraordinarias.

Los resultados del proyecto pretenden brindar soluciones para recuperar las condiciones ambientales del parque Natural de La Iguana, así como de los habitantes de Yopal que viven a la orilla del río, quienes han convivido con los daños causados por la agresión del cauce.

6.2 ALCANCES

El alcance general del estudio realizado es determinar las condiciones de estabilidad de la margen derecha del río Cravo Sur a la altura del municipio de Yopal, y las obras de protección para los taludes más afectados del tramo de interés. Para dar cumplimiento al alcance general, se hizo necesario satisfacer los siguientes alcances específicos.

- Reconocimiento general de las condiciones de estabilidad de la margen derecha del río Cravo Sur entre el puente La Cabuya, el Hospital de Yopal y las bocatomas.
- Documentación y reconocimiento del ambiente geológico geomorfológico del sector afectado.
- Reconocimiento detallado de cada uno de los sitios de mayor relevancia desde el punto de vista de estabilidad de taludes.
- Programa de exploración del subsuelo por medio de trincheras y apiques que permita establecer las condiciones estratigráficas de la margen derecha y las características físicas de los materiales presentes tanto en la margen como en el fondo del cauce.

- Análisis de los mecanismos de falla por efectos erosivos y recomendaciones geotécnicas asociadas a las obras de protección.

6.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El área afectada se encuentra ubicada en la región de los llanos orientales, en cercanías a la población de Yopal sobre el río Cravo Sur. Sobresalen como puntos de referencia, el puente La Cabuya, sector donde inicia el tramo del proyecto, la tubería del Oleoducto del sector, el Parque de La Iguana, objeto principal del presente estudio, el Hospital del municipio de Yopal y el talud de la Urbanización La Casa del Río, entre otros. El municipio de Yopal, capital de Casanare se constituye en el centro económico, social y cultural más importante del Departamento, de ahí la importancia de realizar un estudio detallado y confiable de la estabilidad de la margen derecha del río Cravo Sur.

El estudio se centra entre el puente La Cabuya y el final del municipio de Yopal, donde se presentan algunas viviendas de la Urbanización La Casa del Río, las cuales sufre el ataque del río, por un pequeño brazuelo que se viene ampliando en los últimos años. A continuación se presenta una descripción general del tramo de afectación el cual proviene de un análisis de campo de tallado. Recorrido desde la margen opuesta:

A la altura de este sector, el río presenta un ancho de cauce bastante importante, divaga con una capacidad de transporte de material muy alta, lo cual puede ratificarse mediante la distinción de tamaños en la fracción gruesa, bloques de 0.50 a 0.60 cm de diámetro.

En la parte inicial del recorrido, más exactamente entre el Puente la Cabuya y la entrada al parque La Iguana, las márgenes del río presentan taludes con alturas muy bajas. La altura típica es de dos (2) metros, manifestando altos niveles de estabilidad. De igual forma se observan bloques de gran tamaño ubicados en el fondo del cauce, dejando manifiesto las grandes velocidades presentes en niveles máximos del río.

Sin embargo y como caso particular en este sector es posible apreciar un deslizamiento o sitio de gran agresión por socavación. En la actualidad se han realizado algunas obras de protección como la colocación de hexápodos cubriendo la pata del talud agredido. En épocas de caudales máximos, la corriente afecta la margen ocasionando problemas importantes de erosión y el posterior colapso de los materiales superficiales.

En los predios donde comienza el parque de La Iguana, gran parte del agua, se introduce en el área delimitada para la recuperación del citado parque, ocasionando daños en las obras propuestas y existentes consideradas de carácter contemplativo y ecológico.

El estudio hidrológico e hidráulico, propone la colocación de una bocatoma en la margen derecha del río con el fin de controlar el caudal que entra en la vega del parque. Esto a su vez, retira el agua de los taludes de la margen, situación que favorece sin lugar a dudas la estabilidad geotécnica de las laderas.

Adicionalmente, algunos metros aguas abajo se presenta la acumulación de material proveniente al parecer del dragado del río, el hecho es que este material localizado dentro de la sección hidráulica del cauce, ha provocado la influencia del agua hacia el parque La Iguana, y los problemas que hoy en día se presentan. Desde el puente La Cabuya se

aprecia un material de acumulación, que ha dividido la corriente en dos partes. Precisamente el flujo de la derecha, es el que se introduce en los predios del parque.

Con el fin de evitar las inundaciones en el área destinada para la recuperación del parque, del estudio hidráulico se deriva la necesidad de proyectar un dique conformado con material granular del sector, cuya longitud será definida entre la margen derecha del río y el material aluvial detectado en el medio del cauce.

Las condiciones de estabilidad para los taludes que se encuentran dentro del parque La Iguana, no manifiestan problemas actuales de inestabilidad, mientras que al final del tramo en estudio, hacia el sector del Hospital de Yopal, se pueden apreciar niveles de mayor afectación por la corriente del cauce.

6.4 ANÁLISIS DEL SUBSUELO

Con el fin de determinar el perfil estratigráfico del subsuelo y las características físicas de los materiales que conforman las márgenes del cauce para los taludes del tramo de interés, fue suministrada la siguiente información.

6.4.1 Exploración del subsuelo.

Se realizó un estudio de suelos y estabilidad de taludes para el muro de protección de las viviendas emplazadas en la margen. Adicionalmente para el presente estudio, se llevó a cabo la realización de un apique a cielo abierto y una trinchera con miras a interpretar los materiales existentes tanto en el fondo del cauce como en la margen del río.

Durante la ejecución de las labores de campo fueron identificados y descritos visualmente los diferentes estratos. Adicionalmente, se estableció el comportamiento del agua subsuperficial durante el periodo en el cual se adelantó la exploración.

6.4.2 Ensayos de laboratorio

Dentro de los ensayos ejecutados y suministrados se destacan los siguientes:

- *Clasificación.* Dada la composición fraccional del suelo, la clasificación de los materiales encontrados se realizó mediante el lavado sobre tamiz No. 200, límites de consistencia y granulometría por tamizado.
- *Condiciones in situ.* Fueron efectuados ensayos de compactación y densidad con el fin de establecer especialmente las características del dique proyectado.

En el Anexo F. Informe De Ensayos De Laboratorio, se presentan los resúmenes gráficos de propiedades, índices y mecánicas de la exploración del subsuelo realizada y los resultados de los ensayos de laboratorio.

7 . GEOLOGÍA

Una de las determinantes físicas para la localización de Yopal en el año 1934, la constituyó la oferta hídrica ofrecida por el río Cravo Sur, época en que las relaciones de la población con su entorno eran armónicas. Por lo anterior, la ciudad se ubica en este cono aluvial el cual data de la época cuaternaria y se encuentra conformada por depósitos de terraza con alturas promedio de 6 metros hasta el punto donde hoy funciona el hospital regional, luego las terrazas disminuyen su altura hasta encontrar el nivel del río, con las consecuentes amenazas de desbordamiento e inundaciones.

7.1 GEOLOGÍA GENERAL

Geológicamente, el área de estudio forma parte de la cuenca sedimentaria de los Llanos Orientales de Colombia, que se extiende desde el Piedemonte Andino hasta el borde del escudo Guayanés, en las estribaciones de la Cordillera Oriental.

"Cronológicamente los materiales geológicos de donde proviene el material parental de los diferentes suelos del Casanare, pertenecen al Cretáceo, Terciario y Cuaternario, generando una relación con los diferentes paisajes. Así por ejemplo, en la parte montañosa dominan los materiales del Cretáceo, en el Piedemonte los materiales del terciario y en la planicie incluyendo los valles, sedimentos del Cuaternario." (Casanare, Características Geográficas, 1998).

7.2 GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio, se presentan depósitos cuaternarios de diversos orígenes, los cuales constituyen unidades estratigráficas de fácil identificación. Las unidades litoestratigráficas cuaternarias ocupan de manera exclusiva, la unidad geomórfica de la zona, donde se han depositado gravas, arenas y lodos, todos con alto contenido de minerales pesados.

Para la delimitación de esta zona, se tuvo en cuenta la topografía disponible, utilizando como escala de trabajo 1:10.000. La secuencia estratigráfica identificada en el área es de edad Cuaternaria. En el área y en el ámbito regional se identificaron varias unidades geológicas, teniendo en cuenta criterios litológicos, geomorfológicos y estratigráficos. Éstas tienen una influencia regional sobre el sitio del proyecto y corresponden a rocas de edad Cretácica y Terciaria, que afloran hacia la parte nororiental de municipio de Yopal, ocupando las cotas más altas. En el sitio del proyecto se identificaron dos unidades geológicas que tienen incidencia directa e indirecta sobre el área de estudio.

7.2.1 Estratigrafía. A partir de la información reportada por el INGEOMINAS, en el Mapa Geológico de Colombia, correspondiente a la Plancha 193 de Yopal (1991), dentro de la zona se encuentran dos tipos de depósitos.

- Cuaternario - terrazas bajas del Llano (Qtb): Son depósitos que se localizan muy cerca de los sectores que presentan drenaje, ocupando la mayor extensión del área de estudio. Son depósitos constituidos por material areno - limoso, de tamaño y composición variada, arenas finas y arcillas grisáceas y amarillentas, altamente expansivas. En cuanto a sus características morfológicas, cabe destacar que:

- Se encuentran formando superficies planas, ligeramente inclinadas.
- Están limitadas por un reborde a manera de escarpe de muy poca altura.
- Se ubican sobre un nivel superior al cauce del río.
- Aparecen formando retazos discontinuos y angostos, más o menos paralelos al río.

Además, son depósitos de edad cuaternaria y su presencia se debe a los procesos más juveniles (dentro de la datación geológica) del ciclo sedimentológico, aproximadamente ocurridos durante el último millón de años.

- Depósitos aluviales (Qal): El régimen dinámico del río Cravo Sur y sus afluentes, ha permitido el origen de extensas barras de arena y depósitos compuestos por gravas, arenas y material limo - arcilloso, los cuales van cambiando de forma de acuerdo con la migración del cauce del río. Son depósitos constituidos por arenas, gravas y lodos.

Este tipo de depósitos ha sido generado por la actividad reciente del río y constituyen las áreas susceptibles de inundación, lo que se conoce como llanuras aluviales. Es característico de estos depósitos la baja consolidación y la renovabilidad estacional debido a la dinámica hídrica superficial; además, estos depósitos constituyen áreas aledañas al cauce del río, siendo la actividad erosiva de éstos, la causante de reconfiguración constante de estos depósitos durante los eventos sucesivos de erosión - sedimentación.

7.2.2 Tectónica. De acuerdo con la información del documento preliminar del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de El Yopal (1999), en los paisajes de montaña y Piedemonte se presentan una serie de fallas geológicas en sentido suroeste a noreste, entre las cuales están:

- **Falla de Guaicáramo.** Ubicada al noroeste entre los ríos Charte y Cravo Sur; su plano de falla se inclina al oeste provocando fenómenos de levantamiento, plegamiento y fracturamiento. Esta falla coloca la zona de montaña de El Yopal, en el mapa sísmico de Colombia, como de riesgo alto. Afecta a veredas como: Los Cagüis, Charte Alto, Rincón del Soldado, Volcaneras, Perico, Guayaquito y el sector de los nacimientos de la Quebrada La Tablona.

- **Falla de Támara.** Definida como de cabalgamiento de gran ángulo, cruza la zona desde el Río Charte (sur-oeste), hasta el Río Payero (noreste). Cabe anotar que esta falla, que en el pasado reciente presentó actividad, afectando las veredas de la parte alta de los corregimientos del Charte y Mata de Limón. Los Cagüis, Milagros, Brisas del Cravo, San Cristóbal la vega, Naranjitos y Villa Del Carmen, entre otras.

- **Falla de Yopal.** Presenta una dirección sur-oeste a nor-este a una distancia aproximada de cuatro kilómetros del casco urbano; se ubica en el sector de la Cuchilla de Palo Bajito y su plano de falla se inclina hacia el oeste; también en el pasado reciente presentó actividad, afectando sectores aledaños en forma paralela a la carretera de la

marginal de la selva, entre los que se cuentan: El Playón, Guayaque, Araguaney, Chaparrera, Laguna y los Aceites.

A estas fallas y su actividad se les deben los fenómenos de deslizamientos y avalanchas comunes en las zonas de piedemonte.

7.3 GEOLOGÍA DEL SECTOR

Las condiciones geológicas del sitio del proyecto fueron extraídas mediante información existente perteneciente a INGEOMINAS, al IGAC, así como con ayuda de fotografías aéreas.

Dentro del entorno geológico de la región, y en detalle, de la conformación del cauce, se destaca la presencia de terrazas aluviales de carácter reciente cuyas características se relacionan a continuación:

- *Terraza Aluvial Reciente (TAR)*: Está constituido por material de cantos rodados proveniente del arrastre de la corriente, y ha sido originado por los cambios en el nivel base de erosión por donde la corriente tiende a encañonarse. Se encuentra ubicada en la parte del piedemonte de las llanuras de la cordillera oriental y más exactamente sobre el fondo de los cauces.
- *Depósitos de Coluvión (DC)*: Hacia el piedemonte de las colinas de la cordillera oriental se destacan formaciones del cuaternario denominadas DC, que se caracterizan por ser materiales heterométricos originados por fenómenos de remoción y erosión, que forman relieves ondulados con pendientes mayores de 12% hacia la base de los escarpes rocosos.

Las dos áreas de ladera que conforman la garganta por la que transcurre el Río Cravo Sur en el Sector del Puente la Cabuya contienen los siguientes factores de riesgo geológico:

- Presencia de Lutitas en el Material constituyente, el cual es altamente susceptible a las influencias climatológicas para ser meteorizable (deleznable) presentando efectos de plastificación por excesos en la saturación de humedad proveniente de las fuertes lluvias, así como de rigidización y micro fracturamiento por cambio de temperaturas semi extremas propias de la región.
- Remoción de la cobertura vegetal en varias de las zonas de ladera y cresta de las pendientes, lo que desprotege al suelo mineral de los factores climáticos.
- Fisuramientos y agrietamientos mayores que irrumpen en cuña, diagonal y transversalmente a través de los estratos que conforman estas formaciones, lo que permite el ingreso de aguas en épocas invernales y facilitan los procesos de expansión y contracción de las mismas, aumentando los procesos de fraccionamiento de las laderas. Lo anterior se evidencia por la ocurrencia de un deslizamiento que afectó parte de la calzada de la Vía Marginal de la Selva antes de llegar al Puente la Cabuya, la infiltración de aguas, trabajo un estrato del terreno haciendo deslizar una porción del barranco donde se asienta la vía, hacia el río.

- Las secciones de ladera que se ven debilitadas por los anteriores factores, se están erosionando, lo que a su vez, retira más terreno de soporte a rocas y bloques de terreno, varios de los cuales son de considerables dimensiones y quedan en posición de basculamiento.
- Por su conformación varios sectores de ladera en torno al Río Cravo Sur, que están viendo su fragilidad incrementada por las inadecuadas intervenciones antrópicas así como por el impacto de los factores climáticos, lo cual eleva su susceptibilidad a la reconfiguración (alteración de paisaje) de las mismas por posibles movimientos telúricos, recordando que esta zona de Yopal está clasificada como de riesgo sísmico intermedio por el INGEOMINAS y la Comisión Técnica Nacional del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
- Estos factores están presentes en toda la zona de la garganta, el cerro buena vista y las laderas que limitan la cuenca del Río Cravo Sur, en especial las aledañas a los taludes cortados para las vías Marginal de la selva y La cabuya - el Morro.

7.4 PERFIL ESTRATIGRAFICO PROMEDIO

Teniendo en cuenta tanto el programa de investigación del subsuelo descrito, como los ensayos de laboratorio, es posible concluir que el subsuelo en el sitio del proyecto, está compuesto como se describe a continuación:

- Desde la superficie actual del terreno y hasta la máxima profundidad de exploración (5.70m), se encuentra un depósito aluvial conformado por gravas, cantos y bloques, inmersos en una matriz areno limosa de color café y humedad baja, que clasifica en el Sistema Unificado de Suelos (USC) como GW, GW-GM y SM. Presenta valores de humedad natural variables entre 3 y 11%. En la trinchera No. 2 a una profundidad de 5.70 m, se detecta un estrato de limos arcillosos, de color café, con presencia de arenas y algo de gravas, de humedad baja que clasifica en el Sistema Unificado de Suelos (USC) como ML.

7.5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Las anteriores apreciaciones técnicas permitieron elaborar una zonificación geotécnica por estabilidad, descrita a continuación.

7.5.1 Zona Geotécnica No. 1. Ente el puente La Cabuya y el inicio al parque La Iguana. Corresponde a la parte inicial del tramo. Este sector muestra condiciones adecuadas de estabilidad. Se encuentra vegetación continua y densa. Los taludes de la margen ostentan alturas aproximadas de 1 a 1.5 m. En la foto 40 se muestra los márgenes que conforman la Zona geotécnica 1, donde se presentan zonas estables, con taludes de baja altura y vegetación abundante.

Aproximadamente a una distancia de 60 o 70 m hacia abajo se aprecia un talud de geometría similar, sin embargo a diferencia de los demás taludes del sector, se observa un fuerte acorazamiento consistente en cantos de gran tamaño, que brinda suficiente estabilidad; estos materiales dispuestos en la margen, se asocian a una estructura natural

y de protección. La vegetación continúa siendo arbustiva de media altura pero de gran densidad.

A lo largo del tramo, se ha notado la presencia diversa de materiales: rocas sedimentarias, cantos, y bloques subangulares entre otros que alcanzan tamaños de entre 1,0 m y 1,2 m, correspondiente a sector de vega aluvial, pero cubierta de vegetación.

En el sitio donde se encuentra el paso aéreo de la tubería del oleoducto, la conformación de las márgenes y los niveles de estabilidad son similares. Desde este punto es posible apreciar la intervención antrópica debido a la presencia de depósito de material dentro de la sección hidráulica del río, lo cual genera como se mencionó anteriormente dos flujos bien definidos, que a su vez desarrolla los daños visibles aguas abajo en el área del parque. Ver foto 23 Anexo E.

A medida que avanza la longitud del recorrido por la margen, la altura de los taludes se va haciendo gradualmente mayor, sin dejar de lado las aceptables condiciones de estabilidad.

Posteriormente y a unos 100 m de longitud se encuentra un sector especial de condiciones muy locales, que exhibe problemas de agresión, el cual evoluciona en caídas y desprendimientos de material. En este sitio, la altura promedio del talud es cercana a los 8m. La conformación litológica está dada en superficie por suelos limo-arenosos en los 4m superiores, a los cuales subyace el depósito aluvial de la cuenca. La longitud en la que se observan estos daños es del orden de 30m.

Vale la pena resaltar, que sobre la corona del corte, en cercanías de la vía existen algunos destapes de agua, mangueras, que generan escurrimiento del flujo de manera indebida, ocasionando problemas de erosión, que puede evolucionar en fenómenos de socavación en la parte baja del talud y por consecuente inducir daños por estabilidad. Ver foto 41 Anexo E.

Luego de atravesar este sitio de condiciones geotécnicas menos favorables, los taludes continúan con una altura de 2m, emplazados en la vega aluvial del sitio y con condiciones similares de vegetación, humedad, estabilidad etc.

7.5.2 Zona Geotécnica No. 2. Márgenes del parque La Iguana a Hospital de Yopal.

Corresponde a la vega aluvial y a los predios del parque La Iguana. En este tramo, la vegetación se hace notoriamente menos densa, más despoblada, debido a la agresión intensa del cauce en épocas de fuertes inviernos.

Se aprecian suelos limosos de baja plasticidad en superficie. Adicionalmente a los suelos residuales presentes se observan algunos indicios de coluvión y de talud en la superficie. Por debajo de estos materiales aparecen los depósitos aluviales del río, de gran extensión. La vegetación es de baja altura, con presencia abundante de pastos. Dentro del parque La Iguana se observan algunas obras como canchas, kioscos con alto deterioro.

Los taludes que delimitan el parque con la población pueden llegar a tener 8m de altura, de los cuales los últimos 4m son prácticamente verticales. En estos sitios, el material

encontrado corresponde a depósitos aluviales que tienen gradación combinada, presencia de gravas, finos y una matriz netamente arenosa, con bajos niveles de cohesión.

Los taludes que dan contra el casco urbano del municipio son vulnerables a la afectación por erosión, debido también a flujos de aguas servidas que transitan indebidamente por el terreno. Sobre estos taludes existen cortes verticales de 4m de altura. Actualmente, estas laderas se encuentran estables, sin embargo, no se descarta el inicio de procesos de degradación del medio por los flujos indebidos ya mencionados, razón por la cual se recomienda disponer de obras de protección y conservación de revegetalización.

Aproximadamente 150m adelante por la margen citada, se presentan sectores de acumulación de basuras, labor que deberá ser controlada con miras a garantizar la estabilidad del sector. De igual manera es necesario garantizar que no se van a presentar descoles indebidos de agua, ya que este fenómeno ocasiona el lavado de la matriz arenosa del talud (Ver foto 42).

Otros sectores puntuales ostentan cortes casi verticales, especialmente en el sitio donde se encuentra la construcción de un parqueadero y algunos costados de una vivienda. La estructura presente no exhibe daños estructurales por deslizamientos, sin embargo, se aprecian leves corrimientos que permiten intuir procesos muy leves de remoción de material, entre otros factores por socavación.

Más adelante se aprecia un corte casi vertical de aproximadamente 6 a 7 m, conformado por un muro en ciclópeo, encima del cual se encuentra la parte posterior de la vivienda que deja de manifiesto buen comportamiento geotécnico y de estabilidad. Se aprecia adicionalmente un muro en piedra pegada sobre el sector, el cual también muestra un adecuado comportamiento.

En esta zona y aguas abajo del parque, se observa una obra de protección y conducción para manejar las aguas lluvias que dista a la corona del cauce aproximadamente 5m. Se ha construido un canal en tierra, el cual ha servido para transportar las aguas lluvias. Sin embargo, debido a que el canal es abierto, libre de protección, podría conllevar problemas de erosión.

Los taludes de la zona se consideran similares y sus características más relevantes son:

- Están conformados por materiales de depósito aluvial.
- Verticales en las partes altas.
- Alturas promedios de 7m.
- Poca vegetación, es decir, el material está expuesto en superficie.

7.5.3 Zona Geotécnica No. 3. Hospital de Yopal hasta las Bocatomas. Se caracteriza esta zona por presentar alturas típicas de 4m para sus taludes. La disposición de las laderas es similar a la de la zona anterior, sin embargo, ahora la parte vertical del corte tiene 1.5m y ausencia importante de vegetación.

En la zona, se destaca la presencia de un canal llamado “El Remanso”. Este sitio posee características geométricas similares a los de la zona; sin embargo, sus taludes se han reducido en altura llegando a una distancia de 3m. Las condiciones litológicas son muy parecidas a las encontradas a lo largo de la margen.

Hacia el final del tramo del estudio se observa nuevamente la intención del agua de ingresar hacia el talud. En dicho sitio se han desviado las aguas mediante una combinación de obras como la colocación de hexápodos más la proyección de un jarillón de altura aproximada de 2.5m desde el nivel del agua.

En el sector los taludes tienen una conformación con material un poco más fino, y bloques de menor tamaño. La pendiente actual natural de los cortes es 1H:1V aproximadamente.

Se resalta el escape de flujo por debajo de jarillón, en cantidades importantes. En la foto 43 se aprecia la cantidad de agua que pasa por debajo del dique. En la foto 44 se presenta una vista del dique hacia aguas abajo. En la foto 45 se aprecia lo que quedó del dique al paso de una creciente a finales del mes de mayo el cual fue protegido por el espolón de hexápodos ubicado 30m aguas arriba.

Hacia el último tramo, se aprecian algunas viviendas que han sufrido daños por erosión en los predios y en los lotes de zona verde correspondientes a las casas. Los lotes de estas casas son bastante amplios, y es posible apreciar cómo la afectación del agua ha ocasionado poco a poco la pérdida del terreno. El frente de los lotes ha retrocedido entre 10 y 15m, llegando a presentarse algunas casas en el borde de la coronas de los taludes (ver foto 46).

Con base en la información aerofotográfica y en los comentarios de la población, se ha sabido que el material que se perdió en frente de estas viviendas, fue un evento de 15 días; es decir, 20m en 15 días.

El material de los taludes soporta cortes verticales sin mayor amenaza. Desde el punto de vista de resistencia al corte, los taludes no manifiestan serios inconvenientes. Se aprecian cortes expuestos de 4m, con suelos netamente de origen aluvial, de tamaño máximo cercano a los 40 cm, redondeados, en una matriz arenosa fina unida con gravas.

7.6 CONCLUSIONES DEL COMPONENTE GEOTÉCNICO

Con base en los resultados obtenidos, tanto del programa de exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio, como de las observaciones de campo, y las apreciaciones adelantadas, se emiten las siguientes conclusiones y recomendaciones generales de estabilidad y protección de taludes:

7.6.1 Condiciones Geológicas y Estratigráficas del Sector. Dentro del entorno geológico de la región, y en detalle, de la conformación del cauce, se destaca la presencia de terrazas aluviales constituidas por material de cantos rodados proveniente del arrastre de la corriente.

El subsuelo en los diferentes sitios del proyecto está compuesto por intercalaciones de limos arenosos y limos de color marrón en superficie con espesores menores de 1m a lo cual subyacen depósitos de terraza aluvial de cantos semiredondeados de diámetros variables hasta de 0.6m inmersos en una matriz arenosa de color habano amarillento.

7.6.2 Obras de protección para los taludes de la margen. Con el fin de mitigar los fenómenos agresivos presentes en los taludes de la margen del río Cravo Sur, se recomendó adelantar las obras que se emiten a continuación:

- Teniendo presente que principalmente los taludes a proteger son los que se encuentran dentro del parque La Iguana, es posible adelantar labores de revegetación por medio de pastos, cespedones y arbustos nativos de la región. Es importante destacar, que las laderas mencionadas estarán alejadas del cauce una vez se hayan contemplado las obras hidráulicas que eviten la inundación del parque.
- Con el objeto de garantizar la menor degradación acelerada de los taludes, especialmente en el casco urbano del municipio, es estrictamente necesario controlar las aguas servidas que provienen de las viviendas emplazadas en el sector.
- De igual manera es necesario controlar y prevenir el arrojado de basuras en los taludes del sector, debido a que estas labores van gestando procesos complejos de inestabilidad con el tiempo.
- En el talud que da contra el parqueadero citado anteriormente, es posible llevar a cabo labores de revegetación o de protección con concreto lanzado, con el fin de proteger el corte existente por debajo del parqueadero.
- Con el fin de mitigar los niveles de socavación determinados en el estudio hidrológico e hidráulico, sobre la parte inferior de la margen de mayor altura localizada en la Zona Geotécnica No. 1, en donde se han presentado algunos desprendimientos de material, se recomendó disponer de bloques gruesos semiredondeados a angulares de tamaño hasta el 1,0m (en lo posible) colocados estratégicamente de tal forma que se impida al flujo generar procesos degradativos fuertes que conlleven el daño progresivo de los taludes.

7.7 LIMITACIONES

Todos los análisis, conclusiones y recomendaciones están basados en los resultados del programa de investigación del subsuelo. Si durante la etapa constructiva se aprecian condiciones diferentes a las plasmadas en este informe, se debe dar oportuno aviso con el fin de introducir los correctivos necesarios.

La caracterización estratigráfica se basa fundamentalmente en observaciones de campo y en la extrapolación de información puntual del subsuelo, proveniente de la exploración. No se descarta la presencia de condiciones puntuales especiales no manifiestas en la superficie que puedan generar con el tiempo modificaciones locales en las condiciones geotécnicas de cada sector.

La definición estratigráfica contempla las condiciones de entorno actuales y la variación de estas condiciones en rangos normales. Si estas condiciones se ven modificadas en forma severa por acción antrópica o condiciones especiales naturales como grandes avenidas y cambios considerables en la dinámica fluvial, la estabilidad podría variar, generando variaciones en las condiciones geotécnicas, imposibles de contemplar bajo los alcances del presente estudio.

7.8 INFORME SOBRE LA VISITA DE CAMPO

En la zona de estudio se realizaron varias visitas técnicas de campo, donde se tomaron un buen número de fotos.

Como resultado de visitas de campo realizadas el 21 y 22 de Octubre del 2003 se presentan algunos resultados iniciales del reconocimiento de campo e indicaciones para adelantar el programa de exploración del subsuelo con miras a adelantar los estudios geotécnicos, de estabilidad de taludes y de fundaciones para las obras necesarias de protección y control de erosión para mitigar los fenómenos agresores que comprometen en la actualidad la estabilidad tanto del parque de La Iguana como de algunas viviendas hacia aguas abajo del municipio.

7.8.1 Labores adelantadas en las visitas

- *Reconocimiento general desde la margen opuesta.* Recorrido realizado por la margen izquierda del río Cravo Sur visualizando la margen afectada desde el inicio del proyecto hasta la zona inestable y de agresión en cercanías a las viviendas afectadas.
- *Reconocimiento visual desde puntos lejanos:* ubicación de las partes altas de la cuenca para detallar la dinámica del cauce y comparar la situación actual con fotografías tomadas anteriormente.
- *Reconocimiento detallado paso a paso:* recorrido minucioso de la margen definiendo estaciones de análisis puntual en los sitios afectados por la erosión fluvial en crecientes importantes del río. Entre estos sitios se destacan:
 - a) El deslizamiento ubicado justo antes de ingresar a los predios del parque La Iguana.
 - b) El sector del parque natural La Iguana, y el acceso del flujo aguas arriba.
 - c) Algunos sectores que manifiestan agresión en los taludes de la margen a lo largo del tramo del proyecto.
 - d) Sitios críticos de inestabilidad en cercanías a predios de viviendas localizadas hacia el sector del hospital del municipio.

7.8.2 Programa de exploración del subsuelo. Una vez definidos los sitios críticos por inestabilidad de taludes y fenómenos agresores, se plantea a continuación un programa de exploración del subsuelo necesario para adelantar los diseños de cimentaciones, protección de laderas y correcciones de deslizamientos, para garantizar la permanencia de las obras hidráulicas proyectadas y para mitigar los eventos inestables que afectan la margen del río.

Como labores de investigación del subsuelo se propuso la ejecución de:

Para el tramo longitudinal a lo largo de la margen derecha del río

- Tres (3) trincheras

- Ensayos de clasificación: límites de consistencia, gradación, humedad natural, peso unitario, densidades etc.

Para la zona de protección del jarillón en cercanías al Parque natural de La Iguana

- Un (1) apique a cielo abierto en la corona del talud.
- Ensayos de clasificación: límites de consistencia, gradación, humedad natural, peso unitario, densidades etc.
- Recuperación de un bulto de material granular por debajo de 1m de apique.
- Ejecución de un ensayo de próctor sobre el material de bulto.

En el momento de la ejecución de las trincheras propuestas, se hace necesario llevar a cabo el destape de la ladera hasta un metro por debajo del final actual de la margen con miras a detectar posibles cambios estratigráficos en el talud afectado.

Como resultado del programa de exploración de campo, y de ensayo de laboratorio, los análisis tendrían dentro de los resultados:

- a) Identificación y análisis estratigráfico de la margen de interés. Elaboración del modelo estratigráfico para los análisis de estabilidad necesarios.
- b) Elaboración de un plano de zonificación por grado de riesgo de la margen afectada en la longitud estimada para el proyecto.
- c) A partir de la zonificación y teniendo como herramienta los modelos estratigráficos y parámetros de resistencia de los depósitos del sector, se podría adelantar los diseños de cimentación y de estabilidad externa para las obras de protección de la margen.

8 . INVENTARIO DE OBRAS

8.1 INVENTARIO DE OBRAS EXISTENTES

Cuando el río Cravo Sur sale del piedemonte y llega a la sabana, se presentan las siguientes particularidades: poca pendiente, forma un abanico, morfología de tipo trezado, alta tasa de sedimentos constituidos fundamentalmente por gravas y cantos, elevada velocidad del flujo. Estas características combinadas generarán cambios permanentes en el direccionamiento del flujo y erosión fuerte en sus taludes. Por tal motivo, se han construido varias obras civiles de protección en el tramo comprendido entre el puente La Cabuya y el Hospital de Yopal. A continuación se enumeran cada una de estas obras y su objetivo.

1. Un puente vehicular de 80 metros de largo aproximadamente. Esta obra se construyó sobre el sitio más estable, ya que sus taludes no han sufrido modificaciones considerables durante los años 1936 y 2003, analizados de manera temporal del tramo en estudio con fotografías aéreas. (Ver foto 1 – Anexo E)
2. Un oleoducto que transporta crudo mediante un paso elevado y ubicado en el K0+475. Esta estructura ha sufrido algunos daños al paso de crecientes fuertes y se ha derramado el crudo afectando las comunidades aguas abajo. Su mantenimiento está bajo la responsabilidad de las empresas que transportan el líquido (Ver foto 23 – Anexo E)
3. Un gavión de protección en malla y material grueso del río ubicado sobre la margen izquierda, entre el K0+200 y el K0+400 aproximadamente. Esta obra se construyó para impedir que el río divagara hacia el talud de la orilla izquierda y formara las barras que existieron en este sector entre los años 1936 y 1959.
4. Una barra artificial o dique en la parte central del cauce entre el K0+425 y el K0+725. No se pudo establecer quien ejecutó esta obra, ni sus propósitos. Desde el punto de vista de morfodinámica del río, no se ha podido entender cuál sería el papel que se pretendía con esta obra. Se aconseja por efecto sobre la obra de protección que se requiere construir en la barra del parque La Iguana, retirar este material y acarrearlo o llevarlo a la margen izquierda. Esta barra no se le consideró dentro de la numeración de las barras del plano 10 tramo 1, por tener un carácter netamente artificial.
5. Una bocatoma con un jarillón, en material del lecho del río para permitir la entrada de agua a los caños que se encuentran en la parte interior del parque La Iguana, especialmente durante la temporada seca o de verano. El ancho de este canal es de aproximadamente dos metros (Ver foto 47 – Anexo E)
6. Un gavión en concreto en la base del talud de la margen izquierda, con el objeto de proteger la banca de la carretera Yopal – Pore. Hoy en día de esta obra solo quedan algunos rezagos, ya que la intensidad de la corriente es muy alta y la golpea además de manera frontal, lo cual ocasionó su destrucción. Al igual que los hexápodos los cuales no fueron amarrados entre sí, tal y como se aprecia en la foto 48.
7. Un gavión en malla y con material seleccionado del río ubicado sobre el talud de la margen izquierda, con el objeto de proteger la banca de la carretera Yopal – Pore que se ha visto afectada en los últimos años por el golpe frontal del flujo del río, lo cual ha ocasionado la pérdida del ancho del vía en algunos tramos. Ver foto 49 y 50 - Anexo E

8. Espolones con hexápodos para direccional el flujo hacia la parte central del cauce. Esta obra cumplió su objetivo y llegó a influir en el proceso de aceleración de direccionamiento de la mayor parte del flujo por el brazo entre las barras 2 y la del parque La Iguana (Ver foto 51)
9. Una hilera de hexápodos a lo largo de la línea de la base del talud de la margen izquierda del río Cravo Sur, para ayudar a estabilizar la banca de la vía Yopal – Pore. (Ver foto 52)
10. Puentes en guadua para el paso por los caños Nos. 1 y 2 dentro de la barra del parque La Iguana. A los puentes les ha sido quemado la parte de protección del sol y de lluvia.(Ver foto 53 y 54)
11. Caminos peatonales en concreto, piedra y arena –tierra, para el desarrollo de la diversión pasiva. (Ver foto 55)
12. En el talud de la margen derecha del río donde se encuentran las casas de Yopal, se han construido obras de protección del talud, una de esas obras corresponde a los drenajes del sistema de aguas lluvias de la ciudad de Yopal. (Ver foto 56)
13. Obras de protección del talud de la margen derecha con materiales de distintas características: En concreto y piedra en concreto. En piedra incrustada y algo de cemento. (Ver foto 57, 58 59)
14. Canales en piedra – concreto y en tierra construidos dentro de las barras del parque La Iguana, para evacuar las aguas lluvias del sistema de drenaje de la ciudad de Yopal. (Ver foto 60 y 61)
15. Diques con material del río construidos para proteger la barra del parque La Iguana, (Ver foto 62) y en la barra No. 12 para proteger las bocatomas de los canales de riego y redireccionar el flujo. En la barra No. 9 hay rastros de la existencia de un dique que posiblemente fue destruido por el paso de las crecientes.
16. Tres escaleras construidas para llegar al parque de La Iguana, dos ellas en piedra- concreto como la de foto 63y en cemento una que comunica con la calle 4.
- 17 En la margen derecha se construyó un gavión en concreto y en malla con material seleccionado del río, proteger el talud de de agua a la bocatoma del canal de riego de Matepantano,
18. Para permitir la entrada de agua al canal de Matepantano se construye temporalmente con material del río, un jarillón y da entrada de agua en un canal de 3 metros de ancho aproximadamente. Estas obras se realizan durante la temporada de estiaje. (Ver foto 64).
19. Fuera de los caminos para la diversión pasiva y demarcados con un borde en concreto, se han colocado sillas para el descanso y se ha desarrollado un programa de reforestación con especies nativas, que aunque no corresponden a obras civiles, son trabajos de gran importancia y que deben ser protegidos y conservados como un patrimonio de los Yopaleños. (Ver foto 65)

De igual manera se han construido varias obras civiles de protección en el tramo 2 comprendido entre el hospital de Yopal y las bocatomas del distrito de riego de Yopal. A continuación se enumeran cada una de estas obras y su objetivo.

1. Un jarillón con material del río, con el objeto de permitir la entrada de agua al canal de El Remanso. El canal tiene un ancho de aproximadamente siete metros. El material forma un dique con material suelto, el cual es acomodado especialmente durante la temporada de estiaje. Esta obra se localiza frente al hospital de Yopal a la entrada del canal. (Ver foto 66 – Anexo E).

2. En la margen derecha, junto al talud donde terminan los predios del Hospital de Yopal, se construyó un gavión, para proteger el talud a la entrada del canal El Remanso, (Ver foto 67). El gavión está formado por una malla en alambre gravas con diámetros no mayores a los 0.20 m.
3. En la margen izquierda se construyó un gavión en concreto para proteger el talud frente a la barra No 3. Esta obra buscaba seguramente proteger un sector de la vía Pore. (Ver foto 68)
4. Existen varios hexápodos de 2.20 metros de altura, los cuales fueron colocados en la margen derecha del río, 100 metros aguas abajo del punto de entrada de agua al canal de El Remanso, con el objeto de proteger la margen derecha del río. (Ver foto 69)
5. Otros hexápodos se colocaron dentro del cauce del río formando un espolón a fin de direccionar el río hacia la parte central. Existen tres espolones distanciados unos 50 metros uno del otro. (Ver foto 70)
6. En el cauce del río se han construido diques con material suelto del río a fin de desviar el río hacia la parte central. (Ver fotos 71 y 72). Este tipo de obras debido a la alta torrencialidad del río no son muy durables y ofrecen poca resistencia al paso de las crecientes.
7. A la entrada de los canales Matepantano y Márquez hay estructuras de control del flujo, donde solamente quedan la estructura en cemento, ya que las compuertas han sido retiradas. (Ver fotos 73 y 74)
8. En el Plano No.9 (Ver Anexo C) se muestra como se ha construido un canal recto que lleva el agua a la bocatoma del canal de Matepantano. En la foto 75 (toma aérea) se muestra el canal recto que se construyó por parte de los dueños del canal de Matepantano para llevar agua a su bocatoma. En la foto 76 se aprecia con claridad la altura de los diques construidos con material del río con una altura que varía entre dos a tres metros. El ancho del canal es de aproximadamente seis metros.
9. De igual manera para llevar agua a la bocatoma del canal de Márquez, se coloca una jarillón entre las barras No. 20 y No. 21. En la foto 77 se muestra este tipo de movimiento de material y la forma como se acomoda dentro del cauce del río.
10. Junto a la entrada del canal de Matepantano se construyó una estructura para permitir la salida de caudales de excesos y retornar el agua sobrante al río Cravo Sur. (Ver foto 78)

8.2 INVENTARIO DE OBRAS PROPUESTAS

Las obras propuestas corresponden a las consideradas en el tramo comprendido entre el puente La Cabuya y el Hospital de Yopal. Se ha considerado los efectos que puede tener el flujo aguas abajo del parque de La Iguana, especialmente a la altura del talud de la margen derecha donde el río generó problemas graves de socavación en la primera semana del mes de agosto de 2003. Otro aspecto que se ha tenido en cuenta es el caudal

que ingresa por las bocatomas de los canales de riego, esperando no dejar en seco los sectores a la entrada de los canales.

Una vez realizado el correspondiente análisis de las fotografías aéreas y la tendencia del río Cravo Sur en los últimos 75 años, como también las necesidades de protección de la barra donde se encuentra el Parque de La Iguana, se definieron como prioritarias las siguientes obras:

1. Un dique de protección diseñado para una creciente de 20 años de período de retorno, que impida el ingreso del agua al interior del parque y comunique de manera natural con los caños No 1 y 2, ya que sería la forma como desviaría el flujo hacia el interior del Parque. La obra que se propuso es muy similar al dique diseñado para proteger la bocatoma del acueducto de Aguazul - Casanare. En las foto 79 y 80, se muestra el tipo de obra y algunas de sus características: forma del dique, colchón reno, cantos, geotextil.
2. Labores de manejo del cauce mediante la excavación y relleno de ciertos sectores definidos en el Plano 09 – Anexo C. Esta actividad sería complemento del dique a fin de direccionar el flujo hacia la parte central del lecho. Estos trabajos serían realizados por maquinaria especializada tal como se aprecia en las fotos 81 y 82.

8.2.1 Obras de protección para el tramo 1. A continuación se presenta una descripción del tipo de obras que fueron propuestas para implementar en el tramo de estudio.

8.2.1.1 Características generales del Dique. Dentro de las características más importantes para las obras propuestas en el sitio del dique se destacan las que se relacionan a continuación:

1. Conformación de un dique de 375 metros de largo al inicio de la barra donde se encuentra actualmente el Parque de La Iguana. En las fotos 83 y -84 del Anexo E, se muestran los puntos de inicio y finalización del dique. Cuenta con una altura máxima de 1.80 m con respecto a la corona de la margen actual, debería emplazarse a una distancia variable entre 1 y 4,5 metros con respecto a la orilla o borde del agua, una pendiente 2H:1V y un dentellón con una altura de 0.50 m para alcanzar un factor de seguridad al deslizamiento calculado. En la foto 85 se muestra el tramo de la barra donde se emplazaría el dique.
2. Bajo el dique se construiría un pontón de un metro de ancho. Este comunicaría con un canal en la parte posterior del dique (parte de atrás) que tendría un ancho de 2 (dos) metros equivalentes al ancho aproximado del cauce y bocatoma por donde actualmente entra agua a los caños del parque La Iguana durante la temporada seca o de verano. En la foto 86 se muestra el canal y bocatoma de entrada de agua al parque. En las fotos 87 y 88 se muestra un prototipo de pontón y tubos que se podrían colocar bajo el dique para dejar pasar el agua al canal en piedra concreto.
3. Con el fin de garantizar mayor resistencia al corte para los diques y para la pata de los taludes protegidos, se recomendó realizar elementos como dentellones y gaviones de un cuerpo elaborados en geotextil de separación y material aluvial grueso de diámetro promedio de 0.15m para los primeros en malla galvanizada con bloques de similares características para los gaviones. El dimensionamiento de cada uno de estos elementos se relaciona en el Plano No.08 - Anexo C sobre el detalle de las obras proyectadas de

cada sector. El dique se debería amarrar o unir al talud en el punto de inicio de la obra. (Ver foto 89). En la foto 90 se aprecia el tamaño del material para colocar dentro del colchón reno y la colocación y tejido del geotextil.

4. Los colchones reno propuestos serían elaborados en el sitio de las obras de igual forma como se construye un gavión. El amarre entre colchones consiste en la colocación de varas de hierro que van hincadas al cuerpo del terraplén y enganchan a la malla de la estructura. Para el sector de la bocatoma, se irán construyendo a medida que se coloque la tubería o el pontón y que se compacte el material del cuerpo del dique. (Ver foto 91), donde se muestra la forma de amarrar o tejer las cajas del colchón reno.

5. La compactación de los diques debería centrar el cuidado en la proyección de los tres metros, la cual debería realizarse con Benitín o en pisonos manuales en de 0,20m aproximadamente, teniendo cuidado en garantizar la integridad de las tuberías. La compactación debería llevarse al 95% de próctor modificado el cual deberá realizarse sobre el material arenoso. Así mismo, para los diques de más de un metro de altura, la compactación se realizaría mediante equipos de rana en capas de 0.20 m. (Ver foto 92).

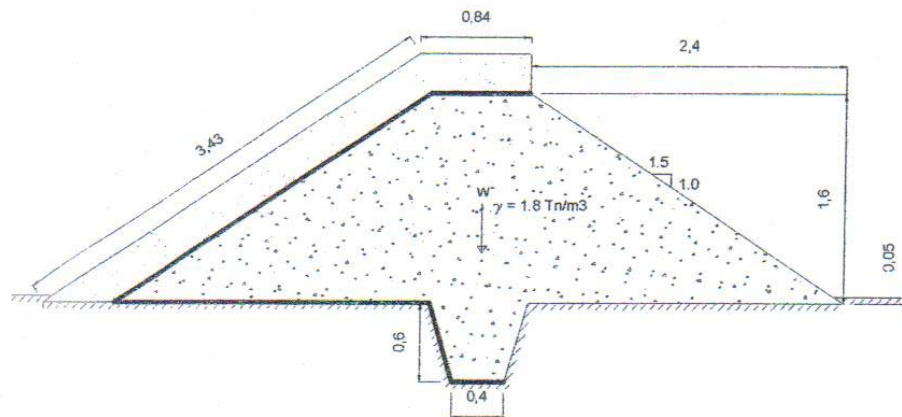
6. El material para la conformación de las obras de control de inundación, provendría del lecho del cauce del río donde se encuentran bloques de tamaño variable hasta de 1.0 metro de diámetro, los cuales se acomodarían en la base del dique para ayudar a proteger de la socavación de la corriente, (Ver foto 93).

7. El material para los diques menores de las coronas de los taludes tendidos, provendrá del corte de las laderas actualmente erosionadas. El proceso de compactación será similar al de los taludes menores de altura de 1.0 metro utilizando equipos manuales. (Ver foto 93).

8. La gradación para los diques propuestos en el cauce, debería tener como principal, tanto en el contacto entre el material del dique y el colchón reno propuesto, como en el talud tendido y el colchón, un geotextil de separación para impedir el lavado de los suelos más superficiales y su degradación progresiva. (Ver foto 94).

9. Con el fin de mitigar los niveles de socavación determinados en el estudio hidrológico e hidráulico, sobre la parte inferior de cada obra proyectada, exceptuando las ubicadas encima de las márgenes actuales, se recomendó disponer de bloques gruesos semiredondeados a angulares de tamaño hasta de 1,0 m colocados estratégicamente de tal forma que se impidiera al flujo generar procesos degradativos fuertes que conlleven el daño de las obras construidas. (Ver foto 95)

10. Para dar mayor estabilidad al colchón reno sobre el talud de las estructuras, se propuso colocar un anclaje metálico. Para tal efecto se puede usar varilla de acero de media pulgada de 0.30 m de longitud y con un doblaje en uno de sus extremos de 5 centímetros para amarrar de la malla del colchón reno. (Ver foto 94).



8.2.1.2 Bocatoma en el dique. En el sitio de obras se encontraba un canal que derivaba un caudal hacia los caños No. 1 y 2 que corrían internamente por la barra del Parque de la Iguana. Para garantizar la continuidad de este suministro, luego instrucción de las obras de protección, se requería el diseño de una bocatoma para permitir el paso del agua a través del dique y que hiciera entrega en un canal revestido que evite la erosión de la base de éste.

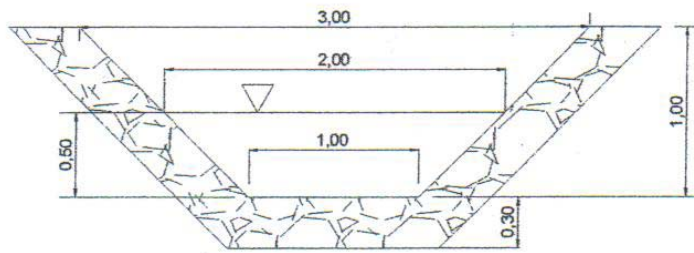
Se plantean tres alternativas:

- 1- Compuerta metálica
- 2- Tubería de paso tipo alcantarilla
- 3- Box Coulvert

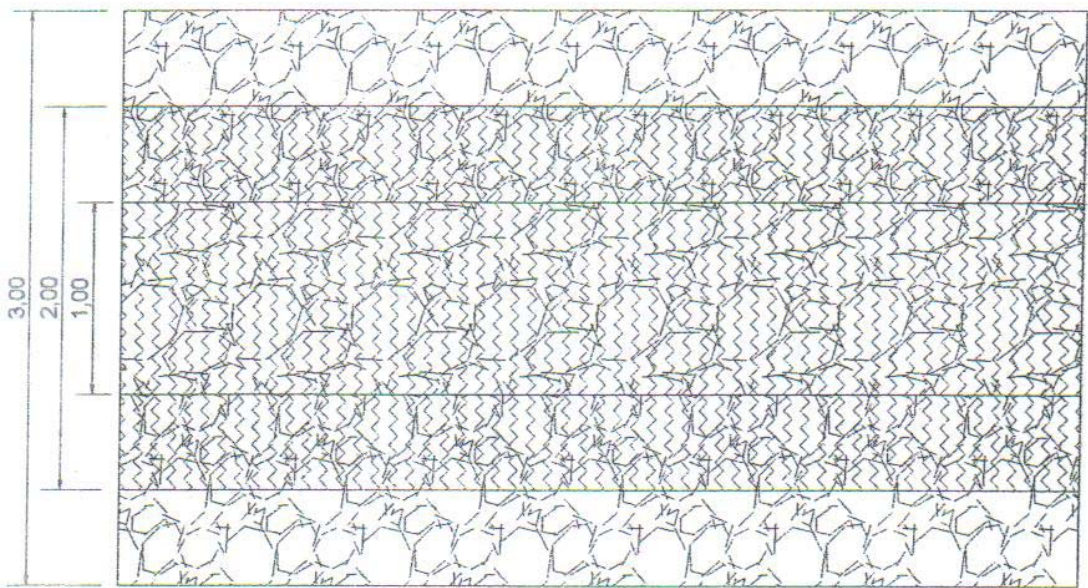
La primera opción se descartó por el costo y la complejidad de instalación. Además, la ubicación de la bocatoma y por lo tanto de la compuerta dificultaría su apertura y cerrado preciso y oportuno, ya que se requería de una persona responsable del control y mantenimiento la estructura. La tercera opción era un box coulvert o canal en forma de cajón rectangular con paredes y tapa de concreto, ésta última sosteniendo el peso del dique ubicado sobre ella. (Ver foto 88).

Se diseñaron las dos alternativas factibles: conducto circular y box coulvert. Analizadas las dos opciones, se determinó que la solución más apropiada, era la construcción de un Box Coulvert, ya que para niveles bajos del río, el caudal derivado por una bocatoma de sección circular sería demasiado pequeño. El ancho del Box se determinó de 1m, el cual se consideró suficiente para derivar el caudal requerido para los caños que se encuentran dentro del parque de la Iguana.

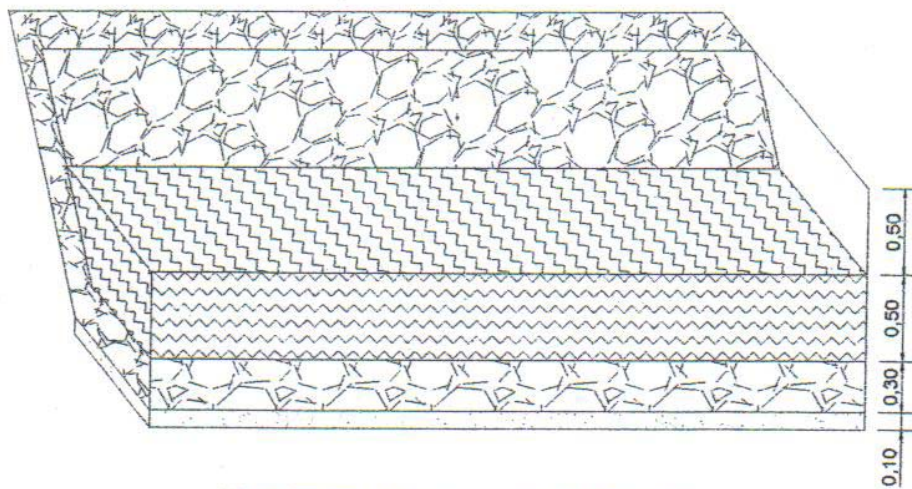
8.2.1.3 Canal en Piedra – Cemento. Esta obra es un canal de sección transversal trapezoidal, construido en piedra cemento. El espesor de las paredes y del fondo es de 0,3m y está conformado por una mezcla de mortero 1:4, con material rocoso seleccionado con tamaño entre 10-20cm (4" - 8"). La pendiente de las paredes es 1:1. Para el caudal de diseño la profundidad del flujo es de 0.5m, dejando un borde libre de 0.5 m que garantiza la ausencia de reboses.



Corte sección transversal



Vista en planta de un segmento del canal



Vista lateral de un segmento del canal

La estructura colocada dentro del cauce no causa impacto visual, ya que sus materiales proceden del lecho del mismo río y no contaminan al transeúnte. Los bloques de mayor tamaño se colocan en la pata del dique. Bajo el colchón reno se coloca el geotextil.

8.2.2 Obras De Protección Para El Tramo 2. Las obras propuestas correspondieron a las condiciones de dinámica y morfología del río Cravo Sur al mes de agosto de 2004 y para el tramo comprendido entre el Hospital de Yopal y las bocatomas de los canales de riego de Yopal: Matepantano y Márquez. Se incluyó también la recuperación del talud de la margen derecha del río donde se encuentra la urbanización La Casa del Río y que generó graves problemas de socavación en la primera semana del mes de agosto de 2003.

Debido a los movimientos de material en el lecho del río durante el verano por parte de los usuarios de canales de riego, se consideró pertinente recomendar un tipo de estructura para lo que sería una bocatoma única y que repartiría el caudal necesario a cada uno de los tres sistemas de canales que existen en la zona: El Remanso, Matepantano y Márquez. Esta última estructura se considera de gran importancia para solucionar el manejo a veces inadecuado del río y garantizaría a los usuarios del agua un volumen permanente disminuyendo costos en mantenimiento y operación de las bocatomas y los canales.

Una vez realizado el correspondiente análisis de las fotografías aéreas y la topografía del río Cravo Sur realizada en los meses de octubre (primer tramo) y agosto (segundo tramo), se estableció como prioritario el diseño de obras que corresponderían a las siguientes características:

- Una obra de protección del talud de la margen derecha.
- Obras de direccionamiento de flujo: Espolones, espigones y diques.
- Una obra de captación de agua o bocatoma con canales de distribución.
- Manejo del cauce del río (excavación y reacomodamiento de material).

En primera instancia se establecieron alternativas de obras previamente analizadas con la interventoría. Las actividades y obras en el río se consideraron a corto y a mediano plazo. Las obras o actividades a corto plazo se deberían realizar de manera inmediata y eran de tipo preventivo las cuales no ofrecían garantía hacia un período de vida útil superior a un año; mientras que las obras y actividades a mediano plazo se deberían construir y realizar en el verano siguiente: meses de diciembre - 2004 a mediados de abril - 2005 y se garantizarían mediante diseños establecidos para 20 años de período de retorno.

8.2.2.1 Alternativas De Obras Propuestas. Con base en la vulnerabilidad a inundaciones y ataque del río al talud de la margen derecha por los cambios que en los meses anteriores a las fechas indicadas ha presentado en su morfología, se consideró pertinente analizarlo como un solo tramo desde el puente La Cabuya hasta las bocatomas de los distritos del riego del río.

Existen varios puntos identificados como vulnerables a las crecientes del río Cravo Sur. En el estudio del primer tramo se diseñó un dique para impedir el paso del río a través de la barra donde se encuentra el parque de La Iguana y se establecieron unas actividades de manejo del cauce mediante el proceso de adecuación del cauce excavando material y reacomodando en otros sectores que necesitan protección.

Entre las actividades que se programaron para ser ejecutadas en el período de verano del 2004 para el primer tramo puente La Cabuya - Hospital de Yopal fueron las siguientes:

- Un dique en la parte superior de la barra que forma hoy en día el Parque de La Iguana. Este dique tiene una longitud de 375m y una altura de 1.60m.
- En este dique se diseñó una alcantarilla o box, con el objeto de permitir la entrada de agua a los dos arroyos o caños que existen dentro del parque La Iguana y no quitar el atractivo paisajístico que le da el agua y la función de los puentes en guadua allí construidos.
- Entre el Puente La Cabuya y el Hospital de Yopal se identificaron 11 barras o mal llamadas islas. Se consideró pertinente remover material de las barras No. 1, 2, 4 y 9, a fin de direccionar el flujo hacia la parte central del lecho, tal como se ilustra en el Plano No. 09 – Anexo C.
- Se recomendaron unas zonas para excavar el material y donde reacomodarlo. Ver Plano No. 09 – Anexo C.

Estas actividades no se realizaron y el dique se comenzó a construir en agosto de 2004. Por los cambios sufridos fue necesario mover la posición del eje del dique hacia unos 50m adentro de la barra del parque de La Iguana, debido a que el río intentó entrar, llevándose el playón que allí existía. De construirse el dique en la línea diseñada, la estructura quedaría dentro de un brazo que comienza a abrir el río.

8.2.2.2 Alternativas de obras a corto plazo. El 01 de agosto de 2004 se presentó una creciente de gran intensidad en el río Cravo Sur. En la estación Puente Yopal el nivel del agua cambió de 1.10m a 4.10m en tan solo ocho horas. Esta creciente destruyó parte del talud de la margen izquierda del río y se llevó una pequeña vivienda que se encontraba cerca al sitio donde el INVIAS había colocado una barrera de hexápodos. Durante los siguientes cinco días el río atacó con gran intensidad el talud de la margen derecha a la altura de la Urbanización La Casa del Río. En tan solo una semana el río Cravo Sur socavó aproximadamente 3.5m de talud en horizontal, tal como se muestra en la foto No.96 del Anexo E, cómo la tubería en PVC de color anaranjado utilizada para llevar las aguas lluvias al río quedaba al descubierto y caía sobre el cauce del mismo. En la foto No. 97 tomada el 05 de agosto se aprecia como las casas estaban al borde del talud.

El viernes 06 de agosto se tomó la decisión de colocar sobretamaños en la base del talud para desviar el flujo del talud y contrarrestar la fuerza del flujo. Esta medida de mitigación impidió que las casas se desestabilizaran. En la foto No. 98 y 99, se muestra la forma cómo se colocó el material y la forma como se alejó el río de la base del talud. Tan pronto bajó el nivel del río se acomodó material de una barra que se había formado frente al talud de la urbanización y se colocaron tres espolones con hexápodos para ayudar a reforzar la estabilidad del material e impedir que al paso de nuevas crecientes el flujo llegara al talud, debido a la proximidad de las viviendas al borde del talud. (Ver foto No. 100)

De igual manera se realizó un trabajo para desviar el flujo hacia la parte central del río y quitar fuerza al caudal que ingresaba por el brazo de la derecha y pasaba junto al talud donde se encuentra la urbanización La Casa del Río. El material retirado de este sector se acomodó formando un pequeño espolón el cual se reforzó con hexápodos para darle mayor estabilidad. En las fotos No. 101 y 102 se muestran estas actividades.

8.2.2.3 Alternativas de obras a mediano plazo. Hay obras que se consideraron como alternativas para el segundo tramo y en sitios especiales considerados como vulnerables a las crecientes del río Cravo Sur. Estas obras se analizaron con la interventoría y se establecieron las obras definitivas que formaban parte del mecanismo de protección contra inundaciones y ataque del río al talud de la margen derecha. Las obras definitivas diseñadas para ser construidas fueron las siguientes:

- *Obra No. 1:* Un gavión para proteger el talud del hospital a la derecha de una estructura de captación de agua o bocatoma que puede ser una compuerta y un dique en gavión con recubrimiento en placas de concreto terminando en un espigón en piedra pegada para direccionar el flujo hacia la parte central del río. Esta obra se localizó junto al Hospital de Yopal. La estructura de captación se llevaba a nivel de prediseño.
- *Obra No. 2:* Un dique en piedra pegada para impedir el ingreso del río al brazuelo y a la Urbanización La Arboleda. El dique terminaría en forma de espigón para ayudar a direccionar el flujo hacia el centro del cauce del río.
- *Obra No. 3:* Un dique compactado y con un colchón reno que impidiera la entrada del río al brazo derecho y a la Urbanización La Casa del Río. Esta estructura termina en un espigón en piedra pegada.
- *Obra No. 4:* Una estructura de protección del talud con relleno de material y colocación de un colchón reno en el talud de la Urbanización La Casa del Río.

Las tres primeras obras tienen una particularidad en común: La colocación de un espigón en piedra pegada para direccionar el río hacia la parte central, de tal forma de que al llegar el río a la altura de la boca del brazo que comunica con la Urbanización La Casa del Río éste se encuentre con la mayor parte del flujo moviéndose por el centro del lecho y que por el brazo derecho ingrese una pequeña porción del flujo para no dejar en seco el brazo derecho que pasa frente a la urbanización. Estas tres obras se diseñaron y se ubicaron en tal forma que el flujo desviado por un espigón es recibido por el siguiente y llevado paulatinamente hacia la parte central del río, desviando el chorro más grande totalmente hacia la parte central de él. La ubicación de cada una de las obras No. 2 y No. 3 se hace de forma tal, que si llegase a fallar una, el flujo de todas maneras es recibido por la siguiente y así impedir su ingreso hacia la orilla derecha. Con base en los cambios sufridos por el río durante el mes de agosto a esta altura, se debería ubicar otro dique con espigón ya que era muy probable que el río ingrese por la parte final del brazuelo de la urbanización La Arboleda hacia predios de Los Mangos y que podrían comunicar con el talud donde inician las casas que conforman la urbanización La Casa del Río.

8.3 OBRAS DISEÑADAS

A continuación se presenta una descripción y marco teórico de cada una de las estructuras diseñadas.

8.3.1 Obra No. 1. Prediseño de una Estructura de Captación de agua y Canales de distribución. Esta obra se compone de tres partes:

1. Gaviones de protección del talud antes de la obra de captación a su derecha.

2. Bocatoma tipo compuerta, desarenador y vertedero de excesos.
3. Gavión recubierto con placas de concreto y un espigón al final de éste que permita el direccionamiento del flujo.

8.3.1.1 El Gavión. El gavión de protección del talud u orilla en un tramo localizado antes del sitio donde se prediseñaría una bocatoma. Esta obra se encuentra dentro del parque de la Iguana y frente al hospital de Yopal. El gavión es un recipiente de forma paralelepípedo por lo general, de malla de alambre galvanizado y llena de cantos de roca. El alambre utilizado por lo general en los gaviones puede ser dulce o galvanizado. Los principales problemas de estos alambres son la corrosión y la abrasión. La corrosión se presenta por lo general en gaviones que se encuentran permanentemente en contacto con las aguas negras, debido a la alta concentración de sustancias químicas corrosivas. Después de haberse producido la corrosión de la malla se presenta el desalojo del material de llenado de los gaviones. El vacío generado en los gaviones inferiores o de la base de la obra, origina el asentamiento de la estructura que puede llevar al colapso de la misma, aunque en algunas oportunidades se debe a la socavación en la base del gavión. Otro de los problemas de desalojo de los cantos o las gravas, es generado por un mal amarre. Esos problemas se pueden apreciar en la foto No. 103. El alambre solamente galvanizado en gaviones se emplea solamente en obras no expuestas al agua o en aguas claras y limpias.

El PVC aísla totalmente de la humedad y resiste en forma apreciable la corrosión. Al aplicar el PVC los manuales de uso por lo general disminuyen el diámetro del alambre galvanizado en virtud de la resistencia adicional que provee la cobertura plástica así: calibre diez galvanizado se reemplaza por calibre doce en PVC.

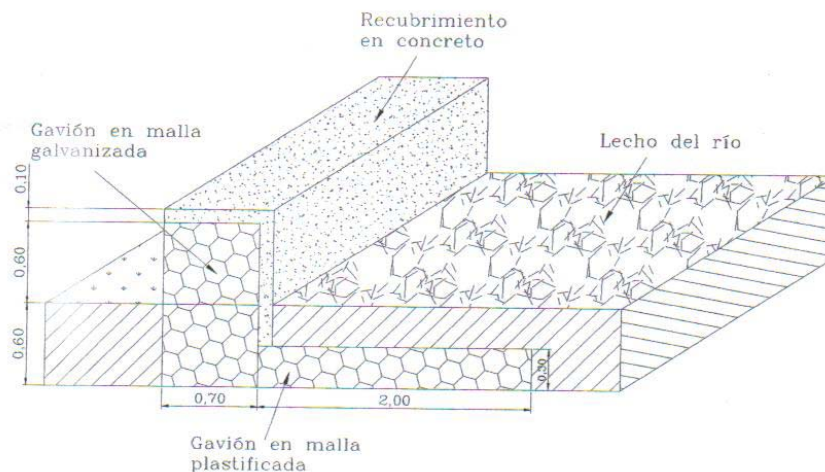


Ilustración 20. Gavión de protección – Estructura 1.

El gavión va recubierto con una placa en concreto para dar mayor protección y evitar que se destruya el alambre y se genere desalojo del material que se encuentra en su interior. Esto se hace debido a la gran afluencia de público en este sector del parque La Iguana para tomar el baño en el río. Al inicio del gavión y buscando direccionar un poco el flujo hacia la parte central, ya que el brazo derecho forma una pequeña curva y golpea al

sector del talud donde va la obra, se propuso y se diseñó un pequeño espolón en gavión e igualmente recubierto con placa en concreto.

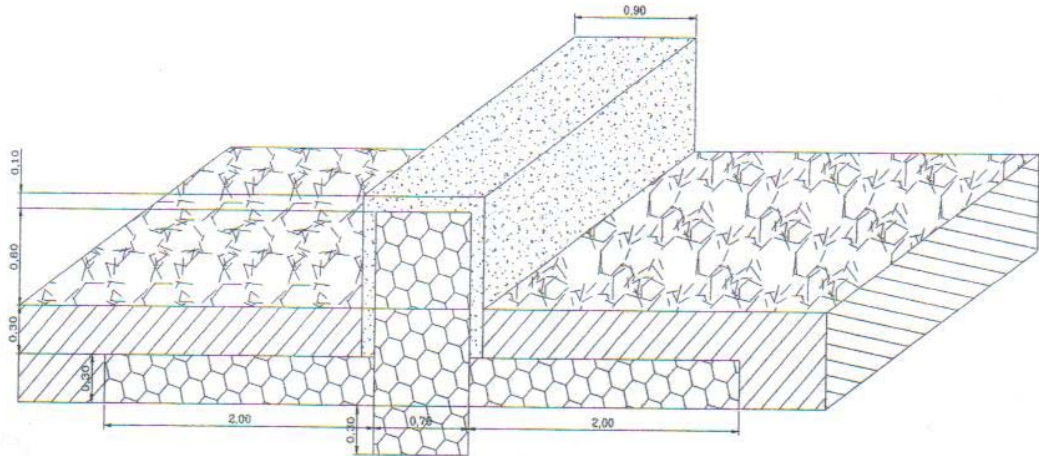


Ilustración 21. Gavión de protección – Estructura 2.

8.3.1.2 Obra de Captación. Las obras de captación generalmente son estructuras diseñadas y construidas para derivar la cantidad necesaria de agua a unidades de flujo, pre-tratamiento y transporte a la planta de tratamiento o directamente a los canales de riego. Las estructuras de captación están sometidas al efecto de las variaciones de flujo de la corriente o fuente hídrica y a su efecto destructor, lo mismo que a diferentes niveles de agua en la temporada de verano que es cuando más se requiere del recurso agua. En general se acostumbra a construir bocatomas para derivar agua, y éstas pueden ser laterales o de fondo especialmente para conducciones por gravedad o bombeo. Las aguas superficiales generalmente se captan en lugares donde acarrearán una cantidad apreciable de sólidos en suspensión, generando problemas en la operación de los sistemas de conducción. La remoción de los sedimentos se hace en unidades de pre-sedimentación o desarenadores. Estas estructuras están ubicadas cerca de la bocatoma o compuerta. Para medir la cantidad de agua derivada se utilizan vertederos triangulares o rectangulares o canaletas Parshall. La toma de la información es realizada por operarios de la bocatoma o de las compuertas o con registradores automáticos.

Se recomendó ubicar la estructura de derivación en tramos rectos o en la parte exterior de una curva. El sitio seleccionado junto al hospital de Yopal se encuentra en un brazuelo donde el río forma una pequeña curva, presentando las condiciones más favorables para su ubicación, respecto a los otros lugares donde se encuentran las de los canales Matepantano y Márquez, además este punto es el único que ofrece poder derivar por gravedad y llevar agua a los demás sistemas de canales

8.3.1.3 Compuertas. Sirven para regular la entrada de agua a un sistema de canales de distribución. La posición de la compuerta y la manera de medir la altura es la forma de calcular la descarga. En ríos de cauce muy amplio como el Cravo Sur frente a Yopal, en el cual la corriente en épocas de verano cambia de lecho (típico de ríos de llanura), al proyectar obras en este tipo de ríos se corre el riesgo que la estructura derivadora quede en seco. En el caso del sistema de canales en el río Cravo Sur se requería de una obra

aguas arriba del sitio seleccionado para la ubicación de las compuertas que asegurara la permanencia de un caudal mínimo y acorde que los volúmenes concesionados por CORPORINOQUÍA. De acuerdo a las características que presentaba el canal de entrada al sistema El Remanso, se recomendó una estructura conformada por una compuerta similar a la que se muestra en la foto panorámica anexa en la Ilustración 2. En la foto No. 104 (Ver Anexo E), se muestra el lugar donde se deberían construir las compuertas y que comunicaría con el canal de conducción donde se construiría el canal en piedra pegada. Esta estructura presenta las siguientes características hidráulicas, presentadas en la siguiente ilustración:

Sección transversal de la bocatoma

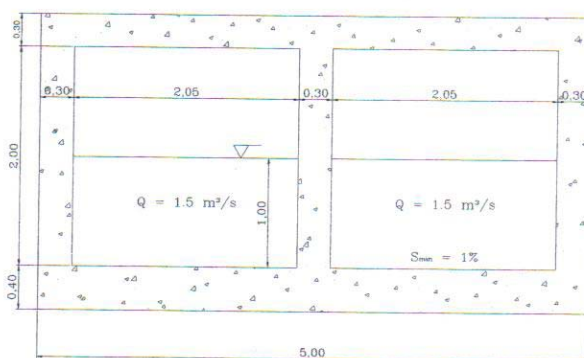
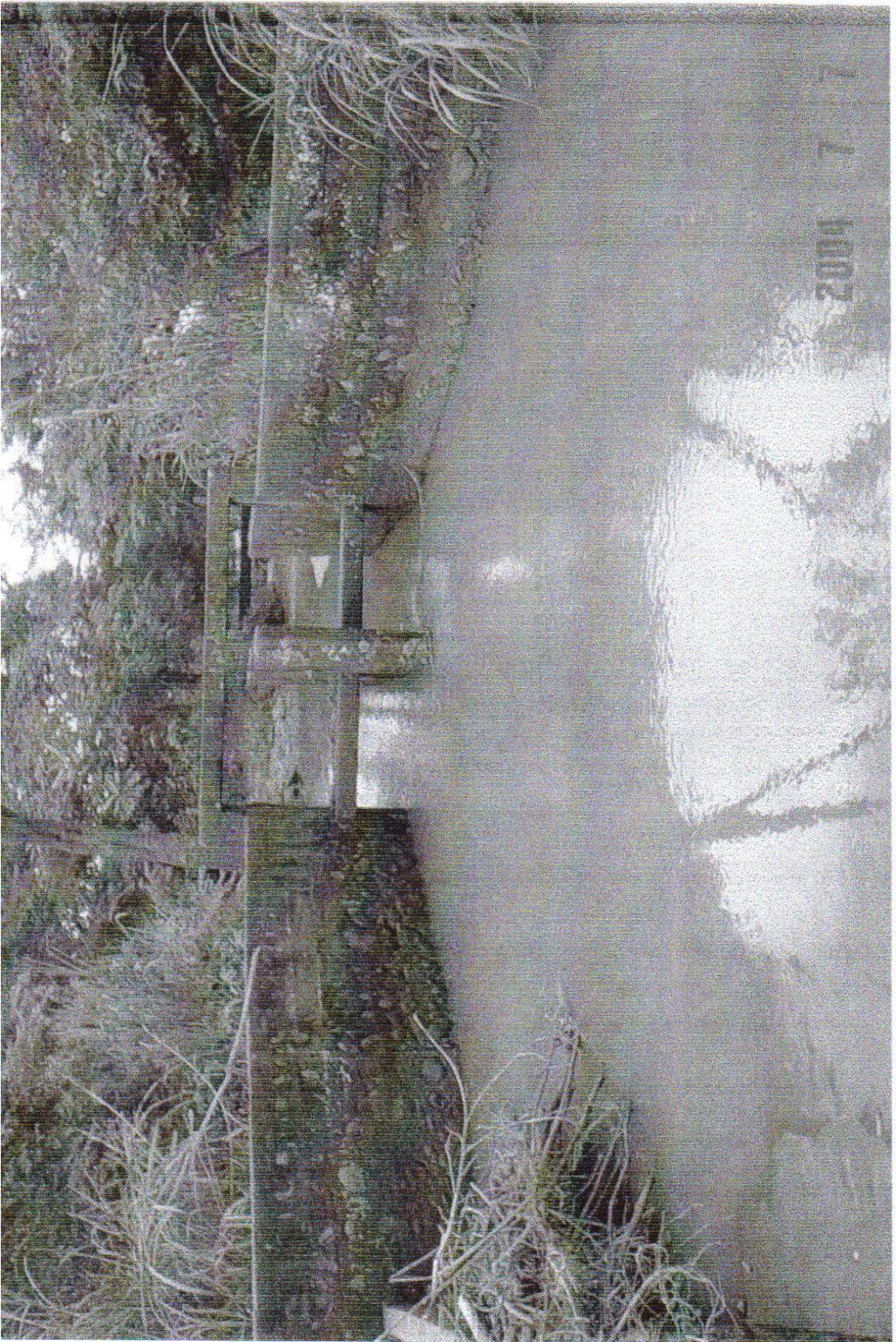


Ilustración 22. Sección transversal de la bocatoma.



8.3.1.4 Canal en Piedra – Cemento. Para el sistema de conducción se propuso un canal en piedra pegada a fin de disminuir las pérdidas por infiltración. Se consideró que un canal en tierra como los que existían en los sistemas de canales de Yopal, podría llegar a tener pérdidas de agua cercanas al 35 %.

Con la cantidad de material en gravas y arenas con que cuenta el río Cravo Sur, se puede construir toda una red de distribución en piedra pegada. La obra que se propuso era un canal de sección transversal trapezoidal, construido en piedra - cemento. El espesor de las paredes y del fondo era de 0.3m y estaba conformado por una mezcla de mortero 1:4, con material rocoso seleccionado con tamaño entre 10-20cm (4" - 8"). La pendiente de las paredes es 1:1. Para el caudal de diseño la profundidad del flujo es de 0.5m, dejando un borde libre de 0.5m que garantizaba la ausencia de reboses.

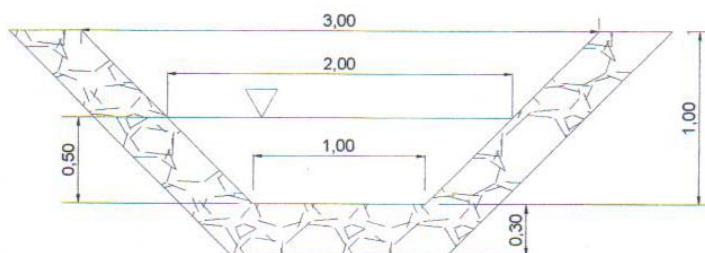


Ilustración 23. Corte de Sección transversal.

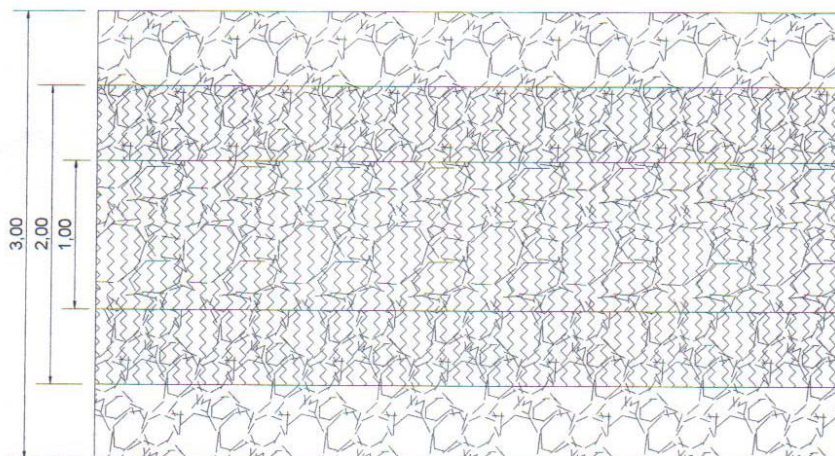


Ilustración 24. Vista en planta de un segmento del canal.

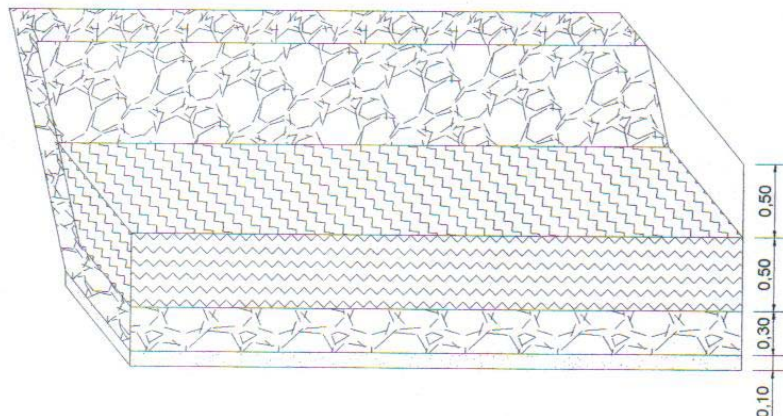


Ilustración 25. Vista lateral de un segmento del canal.

En la foto No.105 se muestra un tipo de canal en piedra pegada de similares características al que se diseñó para la obra No. 2. El canal tendría una capacidad de 3 m³/s y llegaría hasta la vía pavimentada a Siribana. En esta intercepción se colocaría una estructura que repartiría el agua en 1.0 m³/s por el canal El remanso y 2.0 m³/seg que continuarían por la margen izquierda de la vía hacia el punto donde se intercepta ésta con el canal de Matepantano. Allí se colocaría una segunda estructura que dividía el caudal en 1.0 m³/s para éste canal y 1.0 m³/seg que continuaría por la orilla izquierda de la vía hasta encontrar el canal de Márquez. Esta distribución entregaría (1.0 m³/seg) un metro cúbico por segundo a cada uno de los tres canales (Márquez, Matepantano y El Remanso) construidos en piedra pegada, evitando pérdidas por infiltración y robos de agua de los usuarios piratas.

8.3.2 Obra No. 2. Dique en Piedra - Cemento. Por la torrencialidad y el posible impacto de una porción importante del río en el sitio donde se diseñaría la obra al tratar de entrar por el brazuelo de la orilla derecha donde se encuentra la urbanización La Arboleda, se requería de una estructura de gran estabilidad al paso de las crecientes del río Cravo Sur.

8.3.2.1 Dique. La obra era un dique de 1.8 m de alto y 85 m de largo, construido en piedra-cemento. En su parte inferior presentaba una base en concreto de 2000 psi, la cual se encontraba anclada al terreno natural mediante llaves prismáticas de 20X20X50 cm de alto, elaboradas en concreto reforzado y colocadas cada 5m a todo lo largo de la obra.

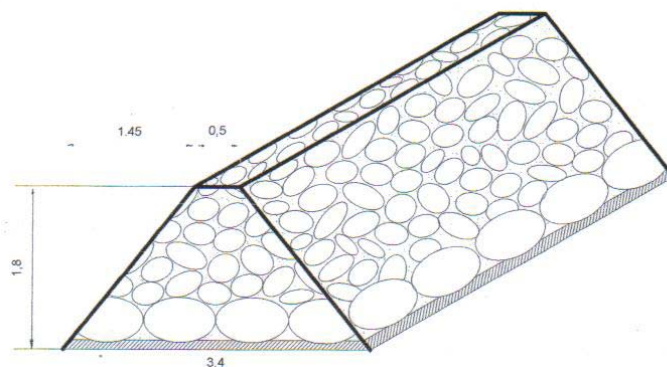


Ilustración 26. Diseño del dique en piedra - cemento.

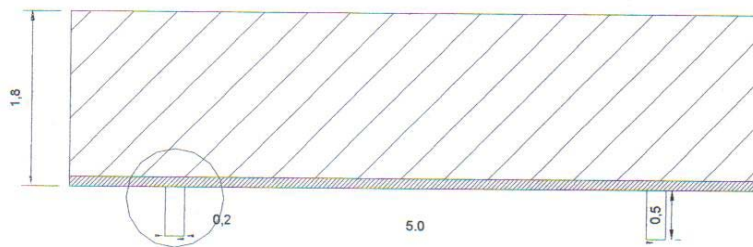


Ilustración 27. Vista frontal del dique.

En la foto No.106 se muestra una estructura en piedra pegada similar a la obra propuesta.

Al final del dique, es decir la parte ubicada aguas abajo, se diseñó un espigón de similares características en piedra pegada, que quedaría dentro del flujo y su función sería la de comenzar a direccionar el agua hacia el centro del lecho. Este espigón de igual manera se diseñó para el gavión que sigue al prediseño de la compuerta.

8.3.2.2 Espigones. El objeto del espigón es desviar la corriente del río alejándola de la orilla. Un espigón consta de cuatro elementos:

1. La punta del espigón, la cual constituye el punto crítico para su socavación por la concentración de corriente y velocidad del agua en este punto.
2. La cresta: Puede ascender hacia la orilla o ser horizontal además, puede ser sumergida o levantada con respecto al nivel del agua de diseño. Si la cresta es desbordable debe proveerse de un sistema de protección contra la socavación en el lado aguas abajo.
3. Anclaje: El anclaje depende de la situación real del sitio ante la posibilidad de que el agua pase por detrás del espigón.
4. Cimiento: Es factor que determina la durabilidad del espigón. El cimiento a su vez está constituido por la fundación propiamente dicha y de un tapete o colchón como protección contra la socavación.

Los espigones se emplean para protección de las riberas de los ríos en el caso del golpe de la corriente contra el talud y el direccionamiento del flujo hacia la parte central.

Para contrarrestar la socavación se colocaría una hilera de hexápodos en la parte donde el agua golpea a la estructura y sobretamaños en la parte opuesta a donde desborda cuando se presenten crecientes extraordinarias que sobrepasen la altura de la obra con una lámina muy pequeña.

8.3.3 Obra No. 3. Dique y Espigón. Esta actividad fue complemento del dique a fin de direccionar el flujo hacia la parte central del lecho.

8.3.3.1 Dique de Protección. A continuación se presenta un detalle del tipo de obras que se pretendería diseñar en el tramo de estudio. Los valores son preliminares en cuanto a cálculos de fuerzas, altura de los diques y características del colchón reno.

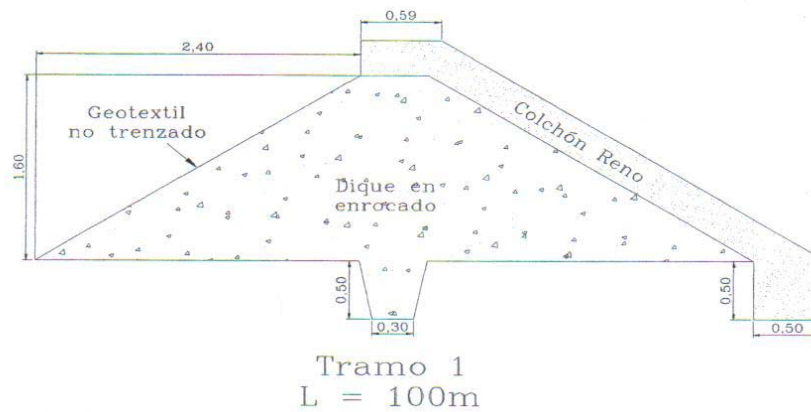


Ilustración 28. Obras de protección contra inundación.

La estructura no causa impacto visual ya que los materiales utilizados para la construcción proceden del mismo río. Los bloques de mayor tamaño se colocan en la pata del dique.



8.3.3.

8.3.3.2 Características Generales del Dique. Dentro de las características más importantes para el dique se destacan las que se relacionan a continuación:

1. Conformación de un dique de 100 metros y un espigón de 25 metros dentro del río, con una altura máxima de 1.60 m con respecto a la corona de la margen actual, debería emplazarse a una distancia variable entre 1 y 10 metros con respecto a la orilla o borde del agua, una pendiente 2H: 1V y un dentellón con una altura de 0.50 m para alcanzar un factor de seguridad al deslizamiento calculado. En las fotos No.107 y 108 se muestra el sitio donde se emplazaría el dique con vista aguas arriba y aguas abajo.

2. Con el fin de garantizar mayor resistencia al corte para los diques y para la pata de los taludes protegidos, se recomendó realizar elementos como dentellones y gaviones de un cuerpo elaborados en geotextil de separación y material aluvial grueso de diámetro promedio de 0.15 m para los primeros y en malla galvanizada con bloques de similares características para los gaviones.

3. Los colchones reno propuestos serían elaborados en el sitio de las obras de igual forma como se venía construyendo el gavión. El amarre entre colchones consiste en la colocación de varas de hierro que van hincadas al cuerpo del terraplén y enganchan a la malla de la estructura. Para el sector de la bocatoma, se irían construyendo a medida que se coloque la tubería o el pontón y que se compacte el material del cuerpo del dique.

4. La compactación debería llevarse al 95% de próctor modificado el cual deberá realizarse sobre el material arenoso con arcilla y gravilla no superior a los 0.05 m. Así mismo, para los diques de más de un metro de altura, la compactación se realizaría mediante equipos de rana en capas de 0.20 m.

5. El material para la conformación de las obras de control de inundación, provendría del lecho del cauce del río donde se encuentran bloques de tamaño variable hasta de 1.0 metro de diámetro, los cuales se acomodarían en la base del dique para ayudar a proteger de la socavación de la corriente.

6. La gradación para los diques propuestos en el cauce, debería tener como principal, tanto en el contacto entre el material del dique y el colchón reno propuesto, como en el talud tendido y el colchón, un geotextil de separación con el propósito de impedir el lavado de los suelos más superficiales y su degradación progresiva.

7. Con el fin de mitigar los niveles de socavación determinados en el estudio hidrológico e hidráulico, sobre la parte inferior de cada obra proyectada, exceptuando las ubicadas encima de las márgenes actuales, se recomendó disponer de bloques gruesos semiredondeados a angulares de tamaño hasta de 1,0 m colocados estratégicamente de tal forma que se impidiera al flujo generar procesos degradativos fuertes que conlleven el daño de las obras construidas.

8. Para dar mayor estabilidad al colchón reno sobre el talud de las estructuras, se propuso colocar un anclaje metálico. Para tal efecto se puede usar varilla de acero de media pulgada de 0.30 m de longitud y con un doblado en uno de sus extremos de 5 centímetros para amarrar de la malla del colchón reno. (Ver foto No.109). En la foto el anclaje no tiene el extremo superior doblado para asegurar el colchón reno. Se debe doblar en forma de " U " para dar mayor estabilidad.

9. En la parte final del dique de protección se anclaría un espigón para direccionar el flujo. En la siguiente figura se muestra el tipo de obra y algunas de las características:

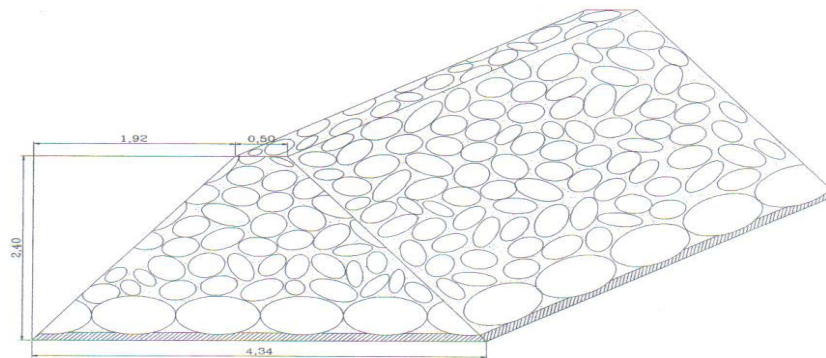


Ilustración 29. Estructura del dique para el tramo 2.

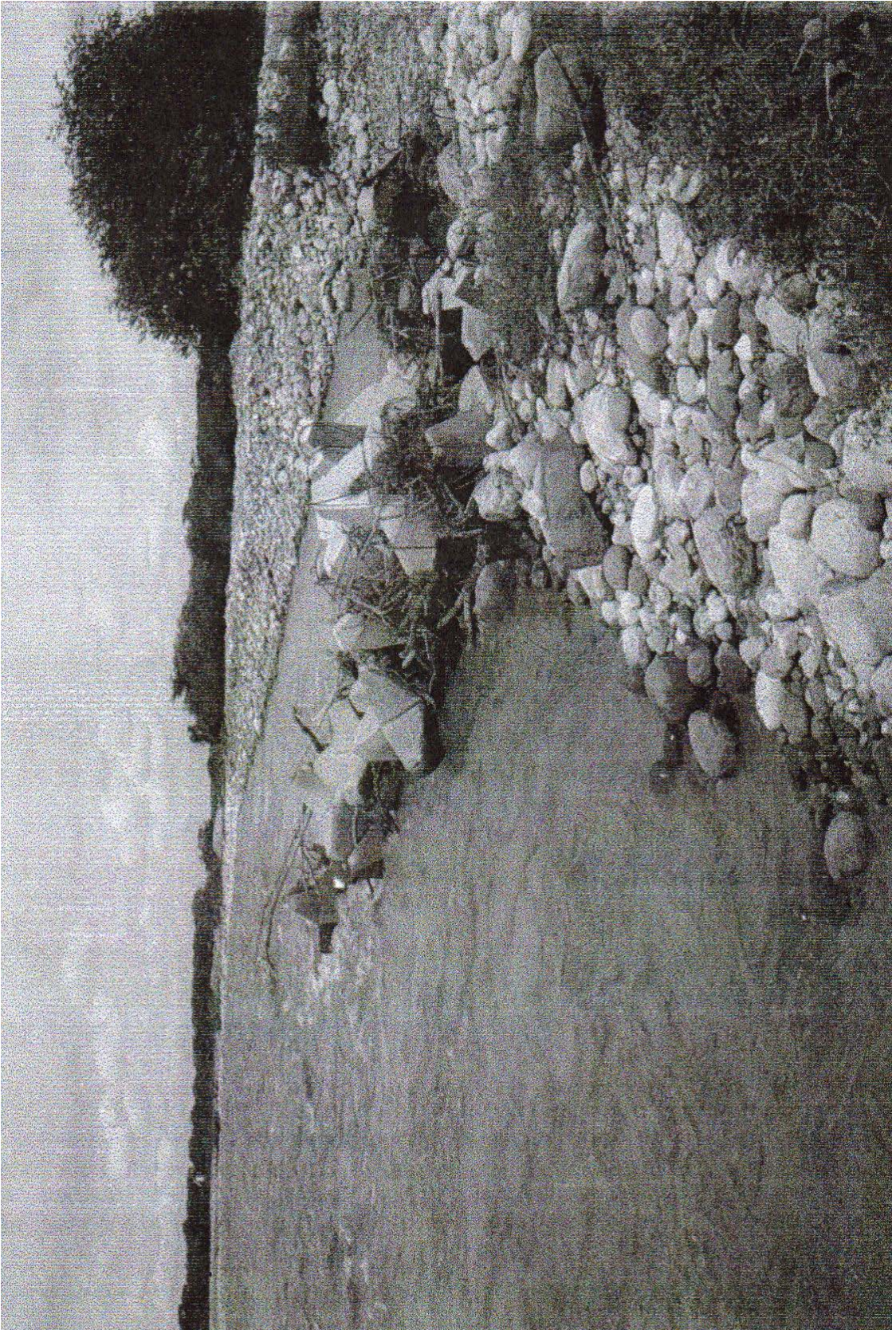
8.3.4 Obra No. 4. Protección del Talud en la urbanización La Casa del Río. Este tramo sobre la margen derecha del río se presenta en cercanías de la urbanización La Casa del Río, el talud se hace vertical y en algunos casos con presencia de oquedades por efectos de la agresión de fondo y lateral en este punto del cauce. Con base en las propiedades geotécnicas y geológicas del subsuelo en los sectores a intervenir, se llevó a cabo el análisis geotécnico de cada una de ellas, mediante una evaluación de estabilidad.

Con base en las consideraciones y necesidades hidráulicas e hidrológicas, se definió un tipo específico de obra que consiste en el tratamiento de taludes actualmente erosionados con altos niveles de daño y un dique en la boca del brazo cuyas especificaciones corresponden a la obra No. 3.

La obra de protección del talud genera amortiguamiento de crecientes y empujes hidrostáticos ante grandes avenidas para así evitar la degradación de los suelos y las viviendas ubicadas en las zonas planas de las zonas aledañas al cauce, actualmente a menos de un metro de distancia del borde. Esta obra consiste principalmente en la colocación y preparación de material extraído del fondo del río, debidamente compactado y llevado a una altura e inclinación necesarias para contrarrestar los niveles máximos y la estabilidad de la obra respectivamente.

Por su parte, el tratamiento de taludes ante la presencia de elevados niveles de erosión se fundamenta en el descanso de los cortes actuales casi verticales a una pendiente segura que permita el tránsito dócil del agua y que reduzca la energía de contacto con el material expuesto.

Una vez obtenidos los perfiles estratigráficos promedios del subsuelo de cada sector y las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que los conforman, fueron analizados los diferentes aspectos del factor geotécnico para la vida útil de la obra. Entre otros, se analizó el factor de seguridad al deslizamiento ante la presencia del empuje hidrostático sobre la parte expuesta de los diques, mediante equilibrio de fuerzas actuantes y estabilizantes.



8.4 OBRAS COMPLEMENTARIAS

8.4.1 Trabajos Complementarios en el Río tramo 1

Estas actividades están relacionadas con la preservación del dique y el direccionamiento del flujo en las barras y en los sitios seleccionados para la excavación y aporte de material necesario para la construcción del dique. Aunque estos trabajos traen consigo unos costos adicionales a las obras propuestas, pretender establecer un diseño preciso de acomodamiento de material o de explotación de material, a veces resulta difícil de realizar, debido a que corresponde a trabajos que requieren de una visión experimentada por un experto en campo del proceso como se debe ir ejecutando las actividades, de acuerdo a las condiciones concretas del bloque explotado y de los mismos cambios que va presentando el río, entre la presentación de la propuesta y la situación real de la forma de la barra, y una vez se hayan presentado crecientes, que de una u otra manera modifican las condiciones del sitio a explotar.

8.4.2 Trabajos Complementarios en el Río Cravo Sur

Los trabajos de movimiento de material o cambio en la disposición de las barras dentro del cauce del río, corresponde a actividades que van de la mano con la construcción de las obras civiles de protección de taludes y la de redireccionamiento del flujo.

Para el primer tramo entre el puente La Cabuya y el hospital de Yopal se propuso en su momento un trabajo de excavación y reacomodamiento de material durante la temporada de verano, sin embargo estas actividades no se realizaron. Durante los primeros meses de la temporada de invierno - 2004 se realizaron actividades de movimiento de material tendientes a redireccionar el flujo, pero dos elementos importantes se desconocieron: la fuerza del flujo y la probable dirección de las líneas de corriente, que hacen que algunas de estas actividades no cumplan su objetivo. Mover material en el río Cravo Sur durante el paso de las crecientes es poco recomendable, se debe esperar a que el nivel del río baje y tratar mediante asesoría especializada de mover material en sitios específicos que lleven finalmente el flujo o parte de él hacia la parte central de río.

En el Plano No. 09 (Ver Anexo C) se muestra la planta en detalle del cauce del río Cravo Sur Desde el puente La Cabuya hasta las bocatomas de los canales de Matepantano y Márquez. En el plano se aprecia la distribución de las 25 barras consideradas como relativamente estables. Una vez construidas las obras civiles se deben realizar los trabajos de movimiento de material en el cauce. Aunque los trabajos de movimiento de material es más costoso que las mismas obras, se procura mover no por costos, sino por dinámica natural del río, ayudarlo a reacomodar su flujo y direccionarlo hacia la parte central, alejándolo de la margen derecha.

Se han establecido medidas generales y en particular trabajos para manejar algunos sectores basados en la dinámica que presenta el río durante la temporada invernal del 2004 y con el propósito fundamental de mitigar la acción del río contra la margen derecha del río y ayudar al río a su reacomodamiento.

9 . GEOMORFOLOGÍA

La zona en estudio, corresponde a planicies aluviales formadas sobre llanuras mal drenadas, compuestas por sedimentos depositados por las corrientes que rigen la dinámica hídrica de la zona.

En este sector, las corrientes hídricas, generan ríos meandriformes y explayamientos, por lo que se genera acumulación de material debido a la pérdida de capacidad de carga, trayendo consigo sedimentos finos (arenas, limos y arcillas). En consecuencia, los cauces que venían encajonados y profundos, se transforman en lechos amplios y de poca profundidad, favoreciendo la ocurrencia de fenómenos como desbordamientos, inundaciones y cambios de curso, especialmente en época invernal.

La litología característica de cada una de las unidades presentes en el área de estudio y los efectos de los agentes atmosféricos, entre otros aspectos de importancia, han modelado el paisaje dando como resultado tres unidades, las que presentan características y comportamientos similares a los agentes expuestos anteriormente. Los cauces de los ríos son entre meandriformes y sinuosos y a estas alturas de la cuenca las corrientes presentan de moderada a baja energía, lo que hace que los depósitos dejados sean de escaso tamaño.

9.1 PAISAJES CARACTERÍSTICOS DE LA ZONA

La evolución geomorfológica de la región de Casanare se remonta al Plioceno, periodo en el cual hubo un acentuado proceso erosivo en la Cordillera Oriental Colombiana, acompañado de fuertes levantamientos y plegamientos. Este material desprendido por el proceso erosivo fue transportado y posteriormente depositado en la región del Casanare.

La pérdida del material y su correspondiente depositación originó una superficie seguida de otra de depositación o acumulación, las cuales al parecer marcaron el inicio de la evolución geomorfológica de esta región. Posteriormente la acción modeladora de diferentes agentes dio como resultado los distintos paisajes que hoy se observan.

9.1.1 Paisaje de planicie (P). Se presenta cuando los ríos pierden su capacidad de carga y llevan sedimentos finos en suspensión, únicamente, presentando cursos con lechos amplios y de menor profundidad. En estas partes de las cuencas de los ríos se originan estructuras geomorfológicas de origen fluvial como albardones, cubetas y napes.

Albardones. Son diques naturales, alargados y estrechos que se deben al efecto acumulativo de repentinas pérdidas de transporte, cuando el río desborda sus márgenes marcando posiciones anteriores al mismo.

Cubetas. Son terrenos de topografía cóncava en forma de batea, que ocupan posiciones bajas de las zonas aluviales; presentan forma ovalada totalmente cerrada truncada o estrangulada aguas abajo por contrapendiente.

Napes. Terrenos de topografía plana en una extensión amplia y con poca pendiente.

Meandros abandonados. Restos de antiguos cauces del río, los cuales quedan abandonados al cortarse un meandro.

Paleocorrientes. Son antiguos lugares por los cuales en alguna época el río cruzaba, pero que por razones de la dinámica hídrica de la zona el mismo ha cambiado de curso.

9.1.2 Paisaje de Valle (V). Son superficies alargadas, angostas de fondo plano y labradas por la incisión de los ríos en su trabajo de transporte de material. Este tipo de relieve lo presenta el Río Cravo Sur en sectores en los cuales el régimen hídrico cambia de trezado a meandriforme, ocasionando cambios en la hidrotopografía del cauce; esto debido a que en estos sectores se encuentra el límite de cambio de la cuenca de la Baja -Media a la Baja – Baja.

9.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA

Con base en los datos estratigráficos, pendientes y datos de campo, se diferenciaron tres (3) unidades geomorfológicas:

9.2.1 Unidad llanura aluvial. Esta unidad se extiende por cada una de las franjas adyacentes al río, con dirección NO - SE y se encuentra representada por barras de arena, abanicos y depósitos de arenas limos y arcillas, ligados a la migración lateral histórica de curso de los ríos. Esta área geomorfológicamente se define como zona de alta susceptibilidad a inundación, por la condición de inclinación preferencial del terreno que se acentúa sobre la margen derecha.

Edafológicamente y dadas las condiciones del ambiente de depósito en el que se originó esta unidad geomorfológica, se ha venido aprovechando en actividades agropecuarias de pastos y hacia algunos sectores bosques marginales de cauce en regular estado; los suelos presentan una moderada concentración de nutrientes orgánicos.

9.2.2 Unidad depósitos diluviales. Ubicada cerca de los sectores drenados por el río Cravo Sur y Tocaría, inclinada suavemente hacia el sureste. Reciben el nombre también de llanuras de aluviones antiguos, siendo este tipo de depósito semejante a los aluviones depositados en las llanuras fluviales, siendo su grado de madurez y endurecimiento mayor. Dan lugar a superficies planas, generalmente horizontales o poco inclinadas.

9.2.3 Unidad terrazas. La unidad de Terrazas, se caracteriza porque la topografía presente es suave, con pendientes inferiores al 6%; a diferencia de la anterior ocupa cotas más altas, el drenaje es subdendritico y de baja densidad. En esta unidad se desarrollan los procesos erosivos más significativos, la vegetación es rastrera y en un alto porcentaje ha sido reemplazada por pastos para ganadería, presentándose esporádicos cultivos de maíz, yuca y plátano.

9.3 TAXONOMÍA DE SUELOS

La taxonomía de suelos empleada en los estudios es la misma que el IGAC implementó y ajustó para su utilización a nivel Nacional, y corresponde a la Escuela Norteamericana consignada en el Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), comúnmente denominada 7^a aproximación.

Este es un sistema multicategorico que ordena, selecciona, cuantifica y agrupa los suelos con base en sus características morfológicas, fisicoquímicas y mineralógicas, mediante la utilización de criterios genéticos hasta el nivel de subgrupo y pragmáticos en las categorías de familia y serie; constituyendo en consecuencia, la pieza clave para conocer los suelos tanto en su origen y procesos formadores, como para aplicar este conocimiento multidisciplinariamente.

Aunque en el Departamento de Casanare los suelos se encuentran caracterizados dentro de los Ordenes Inceptisoles y Entisoles, el municipio de Yopal posee suelos normalmente caracterizados dentro de los sub-ordenes Tropepts y Aquepts. Éstos son suelos minerales de bajo grado evolutivo y que se encuentran condicionados por uno o varios factores: topografía, material parental, clima, acción humana, entre otros. En estos suelos operan todos los procesos formadores; no obstante, su impacto es bajo para causar diferenciaciones genéticas marcadas; por ejemplo, no se alcanza la acumulación diluvial para constituir un horizonte argílico o el grado requerido para conformar un horizonte melánico.

A continuación se describe sus principales características, y su ubicación está dada indistintamente de acuerdo con la unidad morfológica a la cual pertenece la zona.

9.3.1 Orden Inceptisol. Consisten en suelos jóvenes, que generalmente presentan contraste entre los horizontes A y B en color, estructura y textura. Ocurren en todos los tipos de clima y condición de humedad y pueden variar su pH desde ácidos (desaturados), hasta alcalinos (Saturados).

Sub-orden Aquepts: Ubicados en la planicie aluvial, valles y algunos sectores mal drenados del piedemonte. Sus condiciones de fertilidad están limitadas.

9.3.2 Orden Entisoles. Suelos minerales de baja evolución, pero con horizontes genéticos y humedad accesible a los cultivos; estos suelos en su mayoría poseen vegetación natural, sin embargo en algunos sectores se ha talado para conformar potreros en la actividad ganadera.

Sub-orden Actuents: Ocupa áreas de glacia y valle, las cuales permanecen anegadas parte del año.

10 . COMPONENTE BIÓTICO

10.1 VEGETACION

Como característica general, la vegetación natural del área de estudio ha sido alterada, al punto que desaparecieron las especies correspondientes a la zona, dejando en su lugar una baja cobertura representada por áreas de bosques de galería localizadas en las márgenes de los ríos y especies de pastos naturales y plantados como *Brachiaria*. Además, se observan algunas áreas cultivadas de manera artesanal y solo para abastecimiento familiar; también algunos relictos de bosque secundario utilizado como sombrío en la actividad ganadera.

Tabla 15. Principales especies reportadas en la zona.			
NOMBRE	NOMBRE	NOMBRE	NOMBRE CIENTÍFICO
Abejón	<i>Astronium graveolens</i>	Cucharo	<i>Weigeltia</i> sp
Algarrobo	<i>Hymenea courbaril</i>	Cuero de sapo	<i>Goupia glabra</i>
Amarillo	<i>Nectandra</i> sp.	Dormilón	<i>Peritaclethra macrobola</i>
Anime	<i>Protium</i> sp	Escobillo	<i>Xylopia</i> sp.
Arrayán	<i>Minuartia</i> sp.	Escobo	<i>Xylopia</i> sp
Barbagallo	<i>Warscewiczia coccínea</i>	Flor blanco	<i>Tabebuia</i> sp.
Bototo	<i>Cochosopermun</i>	Gaque	<i>Clusia</i> sp.
Cacique	<i>Calophillum</i> sp.	Grado	<i>Cronton</i> sp
Cafeto	<i>Trichanthera gigantea</i>	Granadillo	<i>Terminalia</i> sp.
Caimo	<i>Pouteria</i> sp.	Guacharaco	<i>Cupania</i> sp.
Cañofistulo	<i>Dicornya</i> sp	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Candalay	<i>Hyeronima</i> sp.	Guáimaro	<i>Pouteria</i> sp.
Canelo	<i>Ocotea</i> sp.	Gualanday	<i>Jaracanda lasyogina</i>
Carne vaca	<i>Virola</i> sp.	Guamo	<i>Inga</i> sp.
Cedro	<i>Cedrela adorata</i>	Guarín	<i>Guarea</i> sp
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	Guásimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Cenizo	<i>Marauthes</i> sp	Guayacán	<i>Eperua</i> sp.
Chicharrón	<i>Liconia</i> sp	Hachón	<i>Xylopia</i> sp
Chirimoyo	<i>Rollinia</i> sp.	Higuerón	<i>Ficus globrata</i>
Cordoncillo	<i>Piper</i> sp.	Hobo	<i>Spondias mombin</i>
Hojarasco	<i>Isertia</i> sp	Madroño	<i>Reedia madroño</i>
Huesito	<i>Isertia</i> sp.	Majagua	<i>Thespesia populnea</i>
Hueso	<i>Sloanea multiflora</i>	Majagu	<i>Trema micrantha</i>
Laurel	<i>Ocatea</i> sp.	Manchoso	<i>Vismia</i> sp.
Lechoso	<i>Olmedia</i> sp.	Manzanillo	<i>Toxicodentron</i> sp.
ümoncillo	<i>Pagara</i> sp.	Mapazo	<i>Virola</i> sp
Llorón	<i>Miconia</i> sp.	Matapalo	<i>Ficus</i> sp.
Naranjillo	<i>Tovomita</i> sp.	Samuro	<i>Pentagonia</i> sp.

<i>Naumo</i>	<i>Pseudosamane</i>	<i>Sangregao</i>	<i>Swartzia sp.</i>
<i>Palosanto</i>	<i>Triplaris americana</i>	<i>Sangro</i>	<i>Vismia sp.</i>
<i>Pategallina</i>	<i>Didimopana</i>	<i>Simaruba</i>	<i>Simarouba amara</i>
<i>Pavito</i>	<i>Jacaranda copa/a</i>	<i>Tabaquillo</i>	<i>Clathrotropis sp.</i>
<i>Piedrito</i>	<i>Licania sp.</i>	<i>Tara</i>	<i>Simarouba amenaza</i>
<i>Platanote</i>	<i>Himatanthus articulata</i>	<i>Taray</i>	<i>Plhatymiscium</i>
<i>Puntelanzo</i>	<i>Vismia sp.</i>	<i>Tinto sabanero</i>	<i>Styloceras sp</i>
<i>Quincedías</i>	<i>Tapirira guianensis</i>	<i>Trompillo</i>	<i>Guarea sp.</i>
<i>Quincho</i>	<i>Polla/esta krugii</i>	<i>Tuno</i>	<i>Miconia sp.</i>
<i>Yarumo</i>	<i>Cecropia sp.</i>	<i>Vara santa</i>	<i>Triplaris americana</i>
<i>Yopo</i>	<i>Piptadenia</i>	<i>Carablanca</i>	<i>Aegiphylia sp</i>

FUENTE: POT YOPAL

10.2 ZONAS DE VIDA

Basándose en la metodología propuesta por Holdridge donde se tienen en cuenta los parámetros de Temperatura Promedio (°C), Precipitación Promedio Anual (mm.), altura sobre el nivel del mar (msnm.) y el paisaje, para Yopal se presenta la siguiente zona de vida:

- **Bosque Húmedo Tropical (bh-T):** Se encuentra en áreas con altitudes menores de 1000 metros, tiene una biotemperatura mayor de 24°C y un promedio de precipitaciones mensuales de 2000 a 4000 mm. La mayor parte de la vegetación nativa ha sido truncada por acción antrópica, en consecuencia coexisten formaciones herbáceas y arbustivas.

Existen algunos cordones de vegetación boscosa denominada bosque de galería, distribuida a lo largo de ríos y caños.

10.3 COBERTURA VEGETAL Y USO ACTUAL DEL SUELO

La cobertura actual del suelo para esta región de Casanare, es de pastos artificiales y vegetación de porte bajo. Los tipos de cobertura encontrados en áreas próximas a la zona de interés, fueron:

10.3.1 Bosque de Galería. Se distribuye en forma de corredores a lo largo de los drenajes. Son unidades favorecidas por la formación de valles aluviales y por las condiciones freáticas que permiten el establecimiento de una cobertura vegetal boscosa a lado y lado de los caños. Las principales especies arbóreas que se reportan en esta unidad son: Anime, Hobo, Platanote, en combinación con Palmas Araco, Cumare y Mil pesos.

10.3.2 Sabana. Esta formación conforma inmensas llanuras cubiertas por una vegetación baja de gramíneas con algunos arbustos esparcidos, interrumpida de trecho en trecho por bosques de galería que bordean las vías de drenaje; así, se pueden clasificar en sabanas altas secas y sabanas bajas, sujetas a encharcamientos e inundaciones y que se encuentran por debajo de los 300 msnm.

10.3.3 Matas de Monte. Se encuentran dentro de la sabana natural. Aparecen en forma dispersa en pequeñas matas de monte con especies generalmente de 1 a 4 metros de altura. Las principales especies que componen esta asociación son: Palma de Corozo, Ceiba, Marare, Palma de cubarro, Matapalo, Guarataro, Laurel, Arrayán, Abejón, Mapaso, Trompillo, Guamo, Cedro, Cañafistulo y otras de menor importancia.

10.3.4 Pastos Naturales, mejorados y cultivos. Se ubican en los suelos más desarrollados, sobre antiguos abanicos aluviales. La actividad ganadera es de tipo extensiva, se realiza sobre praderas naturales alternadas en mayor porcentaje con praderas manejadas. En algunos sectores se desarrollan cultivos de arroz, del tipo seco y anegado.

10.4 FAUNA

La zona de estudio, al igual que la mayor parte del municipio, presenta una fauna silvestre escasa, debido a la escasa disponibilidad de hábitats para su desarrollo; en este sentido el agotamiento de la vegetación natural conlleva a la pérdida de las especies que en algún momento pudieron encontrarse.

10.4.1 Mamíferos. Debido a aspectos culturales respecto a la actividad de caza, se ha disminuido la cantidad de especies menores presentes en la zona; sin embargo, recientes programas como zocriaderos y talleres con enfoque ambientalista han disminuido esta actividad y fortalecido el crecimiento natural de algunas especies como chigüiro, armadillo y venado, entre otras.

Tabla 16. Especies de mamíferos reportadas en la zona.	
NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTÍFICO
Chigüiro	(<i>Hydrochaeris hydrochaeris</i>)
Picure	(<i>Dasyprocta fuliginosa</i>)
Danta	(<i>Tapirus terrestris</i>)
Saino	(<i>Tayasu tajacu</i>)
Venado sabanero	(<i>Odocoileus virginianus</i>)
Zorro	(<i>Cerdocyon thous</i>)
Armadillo	(<i>Dasypus novemcintus</i>)
Ardilla	(<i>Sceiurus granatensis</i>)
Murciélago	(<i>Chiroptero sp</i>)
Mico tití	(<i>Saimirí sciureus</i>)

FUENTE: POT YOPAL.

10.4.2 Aves. Las especies de aves observadas en la región han sufrido una grave disminución a causa de la continua ampliación de la frontera agrícola, provocando migraciones forzadas y hasta extinción de especies; otro factor determinante en la disminución de las especies de la zona, es la caza realizada de manera furtiva por algunos de los moradores de la región.

Tabla 17. Especies de aves reportadas en la zona.	
NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTÍFICO
Gallineto de monte	(Nothocereus sp.)
Garza parda	(Elanos lecurus)
Carpintero	(Picunnis pomulus)
Perico	(Porqués conspicilratus)
Alcaraván	
Guacharacas	

FUENTE: POT YOPAL.

10.4.3 Reptiles. La familia de los reptiles ha presentado mayor adaptabilidad a las condiciones definidas por la actividad humana para la zona en estudio; sin embargo, el volumen de individuos por especie ha disminuido considerablemente, a causa de cultivos intensivos como el arroz y actividades como las quemas y rocerías.

Tabla 18. Especies de reptiles reportadas en la zona.	
NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTÍFICO
Boa Guío Sabanero	Boa Constríctor)
Mapanare	(Butrups sp)
Camaleón	(Gchileno denticulata)
Iguana	
Galápago llanero	(Podocnemis vogli)
Terecay	(Podocnemis unifilis)
Tortuga charapa	(Podocnrmis expansa)
Tortuga mata mata	(Chelus fimbriatus)
Morrocós	(Geochelone carbonaria)
Cuatro narices	
Coral	

FUENTE: POT YOPAL

10.4.4 Ictiofauna. El Departamento de Casanare cuenta con una riqueza considerable en cuanto a fauna acuática se trata; sin embargo, el deterioro de las cuencas, la deforestación y la falta de planeación en el manejo de residuos sólidos y líquidos que por lo general llegan a las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento previo, han ocasionado disminución de individuos por especie. Además, la pesca con mallas de ojo pequeño, no permite el desarrollo natural de las especies, provocando un desequilibrio importante dentro del hábitat.

Tabla 19. Especies de ictiofauna reportadas en la zona.	
NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTÍFICO
Bagre	(Sorobium lima)
Caribe	(Serrasalmus sp.)
Pavón	(Eurypigagelios sp.)
Valentón	(Brachyplistoma sp)
Cachama	(Colossona sp)

FUENTE: POT YOPAL

11 . ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS Y CULTURALES

11.1 ASPECTOS SOCIALES

11.1.1 Demografía. Desde el año de 1985, la capital del departamento de Casanare, ha incrementado su población notoriamente; es así como en el periodo comprendido entre los años de 1985 a 1993, Yopal incrementa su población en casi un 90%. El censo del Daño de 1993, le daba una población de 49.072 habitantes. Los motivos de este crecimiento poblacional, desde luego, son diversos, pero principalmente se deben al poblamiento expansivo originado por la migración de habitantes de los núcleos urbanos fronterizos con el Departamento. De igual manera, población campesina ubicada en zonas limítrofes se han venido desplazando buscando fundamentalmente mejores condiciones de vida.

Las migraciones se aceleran a partir de la explotación de hidrocarburos (a partir de 1995) y las estadísticas señalan que sólo el 10% de estas corrientes corresponden a sectores con ingresos, es decir, que llegaron a invertir; o a profesionales que llegaron a instalarse en las distintas áreas del engranaje petrolero; en las empresas de consultoría; en las oficinas de asesoramiento o de información. En fin, en aquellos espacios que iba generando la propia dinámica petrolera para los núcleos profesionales y técnicos aludidos.

11.1.2 Densidad Poblacional. El 60% de las familias registradas por el Sisbén, habitan en unidades con carencias estructurales, aptas para un programa de mejoramiento; el 70% (13.887) del total de las familias sisbenizadas no tiene casa propia y el 60.23% de las familias viven en alto grado de hacinamiento.

Las 62.860 personas sisbenizadas, conforman 19.746 familias a razón de cuatro personas por familia y ocupan un total de 18255 viviendas, de las cuales el 80% (8.993), son viviendas tipo "cuartos" en el sector urbano y 20% (2.336), en el sector rural. En cuanto a tenencia de vivienda, en el sector urbano el 69% de las familias no tienen casa propia y en el rural el 31% no la posee.

11.1.3 Infraestructura de Servicios

- **Salud:** La infraestructura municipal está conformada por: un Hospital Regional (competencia del departamento), ocho centros de salud del área urbana, 20 puestos de salud rurales. A su vez, el municipio de Yopal cuenta con 20 puestos de salud en el área rural, diez de los cuales son administrados por el Hospital Regional, tales como: San Antonio, la Chaparrera, Tilodirán, Morichal, Rincón del Moriche, Tacarimena, Triunfo, el Morro y la Manga y los diez restantes dependen de la alcaldía municipal tales como: Socococho, Mata de Limón, la Libertad, Cagui Esperanza, el Venado, el Rincón del soldado, Quebrada seca, Punto Nuevo, la Arenosa y Cagui Charte.

- **Educación:** La población en edad escolar en el Municipio de Yopal con base en el censo DANE de 1993, proyectado a 1999, es de 27.331 habitantes, de los cuales, el 72.2% corresponde al área urbana; el 30.8% de esta población se encuentra fuera del sistema educativo, considerando a quienes están entre los 3 y 17 años de edad escolar. Así mismo, en el área rural el 49.8% de la población en edad escolar está fuera del sistema educativo.

En la cabecera Municipal de Yopal se cuenta con 31 establecimientos educativos, que cubren desde el nivel preescolar hasta la media vocacional.

Según los datos reportados en el Plan de ordenamiento Territorial para el municipio de Yopal, de las 27.332 personas en edad escolar, están siendo atendidas en el ámbito preescolar el 33%, que comparada con la tasa del departamento, es del 21.36%. En básica primaria es del 88%; en básica secundaria es del 80% y en media vocacional es del 66%.

En cuanto a los servicios básicos se tiene:

- **Acueducto:** La ciudad de Yopal durante los últimos años ha tenido serios problemas con el abastecimiento de agua potable para sus habitantes. A principios de la década, la infraestructura estaba tan deficiente para la prestación del servicio, que el suministro se realizaba por contadas horas al día y no todos los días.

A pesar de que se han realizado grandes inversiones en los últimos años, la prestación del servicio aún no es adecuada, la cobertura es de un 90% del casco urbano y se continúa prestando en forma sectorizada. En las zonas rurales no existe acueducto y el agua es tomada de jagüeyes y aljibes particulares.

- **Alcantarillado:** El municipio de Yopal cuenta con "PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO", el cual se encuentra construido en un 90% de su diseño inicial. Dicho estudio fue realizado antes del boom petrolero y teniendo presente el antiguo perímetro sanitario. Las áreas comprendidas entre los sectores nororientales y suroccidentales del casco urbano, no poseen alcantarillado sanitario, manejando sus aguas residuales mediante pozos sépticos. Para el tratamiento de las aguas residuales, se cuenta con cuatro lagunas, dos Anaeróbicas y dos facultativas, ubicadas a cinco kilómetros del casco urbano vía a Morichal. El mayor problema que presenta el actual alcantarillado sanitario es el mal manejo de las aguas lluvias que lo alimentan sin estar diseñado para tal fin; tal es el caso que en precipitaciones altas, llega a las lagunas de oxidación un caudal aproximado de 350 L/s, teniendo el sistema una capacidad de 50 L/s.
- **Recolección de Basuras:** El servicio de Recolección de basuras, se presta con regularidad en el municipio y se encuentra dividido por zonas. En las zonas rurales los desperdicios sólidos son manejados individualmente por cada familia, disponiéndolos en excavaciones realizadas para tal fin o quemándolos.

- **Energía:** En la actualidad el servicio de energía eléctrica es manejado por la Electrificadora de Boyacá directamente, el cual se encuentra en proceso de transferencia a una empresa regional denominada Empresa de Energía del Casanare - ENERCA. Cuenta con una sub-estación en la ciudad de Yopal, de donde se distribuyen las redes a la mayoría de los barrios; sin embargo, existe todavía sitios dentro del casco urbano a los que no ha llegado el servicio. Debido a fallas técnicas, el servicio de energía eléctrica es deficiente y son muy comunes los cortes o las caídas de voltaje en su totalidad o parcialmente. Gran parte del casco urbano no posee alumbrado público, siendo uno de los factores determinantes de la inseguridad de la ciudad. Las zonas rurales no presentan servicio de energía eléctrica aunque ya existe un diseño definido para llevar energía a estos sectores.
- **Gas Domiciliario:** El suministro de gas domiciliario es relativamente nuevo en la ciudad de Yopal. A partir del año de 1994 se inició la instalación de las diferentes redes de distribución en los barrios del sur-orienté de la ciudad. En la actualidad, el gas domiciliario utilizado en el municipio de Yopal, es el producido por los pozos de Morichal, ubicados en la vereda de la Unión, y transportado por el gasoducto de Morichal - Yopal, el cual está a cargo de Ecogas y el operador es la empresa MPL. En el área rural no se cuenta con este servicio.

11.2 ASPECTOS ECONÓMICOS

Hasta los años ochenta se puede decir que el Municipio de Yopal mantuvo un proceso de desarrollo sostenido y constante, el cual al iniciar los noventa se acentúa, debido al hallazgo de reservas petroleras en el Departamento de Casanare. Tales reservas y su posterior explotación han afectado el desarrollo del Municipio, básicamente por las repetidas corrientes migratorias provenientes principalmente de población de bajo nivel socioeconómico y mano de obra no calificada, causadas como consecuencia de las expectativas generadas por la industria petrolera, especialmente en lo relacionado con el empleo en las regiones donde se instala.

Este fenómeno se presentó no solamente en el Municipio de Yopal, sino también se da en los demás municipios donde existe explotación de petróleo; las expectativas económicas tanto de la población migrante como del interior mismo del departamento, se centran principalmente en las oportunidades que pueda brindar la industria petrolera. Igualmente, las regalías petroleras que recibe la Administración Departamental han venido fortaleciendo el presupuesto seccional, recurso que a la vez se ha venido reinvertiendo en obras de infraestructura y de servicios, lo cual dinamiza otros renglones de la economía, principalmente el comercio y la construcción.

Adicionalmente, al ser Yopal el principal centro urbano de la región, en éste confluyen todo tipo de actividades económicas, transacciones comerciales y de comunicación, hecho que incide en el fortalecimiento de la ciudad como uno de los principales polos de desarrollo de la región.

12 . DIAGNOSTICO GENERAL DEL ESTUDIO

12.1 SOBRE EL ESTADO DEL ARTE

12.1.1 Características de las investigaciones, estudios y trabajos que en su conjunto lo conforman. Haciendo un análisis conjunto a partir de la lectura de los temas que comprenden las investigaciones, estudios y trabajos que han servido como fuente de información base para la elaboración del presente trabajo, y que en síntesis representan el estado del arte sobre el tema de la amenaza y el riesgo que significa el paso del río Cravo Sur por la ciudad de Yopal, se tiene que ellos presentan las siguientes características:

- Su cantidad es mínima para el nivel de importancia y el grado de impacto que asocia el tema.
- Para los objetivos y alcances que se persiguen con el presente trabajo, la pertinencia y representatividad temática de ellos resultan parciales, en el sentido que, si bien es cierto, emplea información común a los dos que es válida para los propósitos del presente trabajo, pero aún así, su enfoque y alcance no coinciden plenamente.
- La información obtenida es adecuada, en la medida en que ha permitido hacer análisis y evaluaciones sobre el comportamiento del río en un horizonte de corto plazo, lo que ha hecho posible emprender acciones efectivas y prontas para mitigar y contrarrestar su acción destructiva.
- Desde el punto de vista temático, no existe articulación entre ellos y su grado de complementariedad es mínimo. Lo anterior explicado por la imposibilidad que significaría intentar describir el problema de manera global, con base en la unión y conjunción de los resultados a los que cada uno de estos estudios pretende llegar, desde la formulación de su título.
- La disponibilidad y el acceso de consulta de este material plantea algunas dificultades, ya que se trata de documentos bajo administración de la Oficina Asesora para la Prevención y Atención de Emergencias y Desastres que es la entidad del Gobierno Departamental competente para manejar este tema, y no existen replicas de los mismos en otras instituciones en las que la consulta y el acceso a ellos por parte de cualquier persona se pueda hacer de manera más libre y sin las restricciones que supone la ubicación de información pública en despachos gubernamentales.

12.2 LO QUE REFLEJA EL ESTADO DEL ARTE

12.2.1 En Relación Con El Conocimiento Del Problema. Es un tema que ha sido abordado con una profundidad mediana por decir lo menos, a partir de un número

reducido de trabajos los cuales han sido más producto de la contratación de consultorías y asesorías sobre aspectos puntuales derivados de situaciones coyunturales apremiantes ocasionadas por el comportamiento del río en un periodo de tiempo dado. No se observa diversidad y concurrencia en los autores de estos trabajos, y por el contrario lo que hay es la prevalencia de una línea de investigación, que convierten las tesis generadas a partir de ella, en posiciones incontrastables con otras teorías. Al tener un espectro de conocimiento tan limitado y concentrado, cualquier hallazgo nuevo que surja usando como base los fundamentos y contenidos en esos trabajos existentes, no son más que una reedición y representación de conocimiento, con un aporte técnico y científico bajo.

12.2.2 En Relación Con La Gestión Del Problema. Por parte de las instancias de gobierno responsables del tema se tiene que:

- El problema no es tenido como un punto importante dentro de las agendas de acción pública de los gobiernos municipales y departamentales vinculados con él.
- El riesgo de inundación por el desbordamiento del río sobre aquellas áreas urbanas susceptibles de sufrir algún daño por ese hecho, no es percibido como una amenaza que pueda llegar a generar impactos considerables en el mediano y ni siquiera en el corto plazo. Primero por la relativamente poca información sobre antecedentes históricos que sobre fenómenos de esta naturaleza han llegado a afectar a la ciudad y a la región. Segundo porque, aun cuando en el pasado reciente se han presentado situaciones de emergencia de este tipo, estas han sido de bajo impacto y no han alcanzado niveles de destrucción y afectación considerables, además porque dichas afectaciones han recaído en sectores de población reducidos. Y tercero, porque el hecho de haber convivido la ciudad siempre teniendo de vecino al río, ha logrado que las autoridades y la comunidad en general, por lo menos la que está por fuera del área de influencia inmediata, vean lejana la posibilidad de un ataque, precisamente de un elemento que siempre les ha servido como proveedor de servicios ambientales.
- Llama también la atención de sobremanera, la ausencia de voluntad política, descuido y hasta desinterés institucional que las autoridades han mostrado, para enfrentar el problema de manera proactiva, estructural, profunda, organizada y seria. Atender este problema, se lograría con acciones técnicas y de investigación que conduzcan a ampliar el conocimiento sobre la amenaza, y a través de instrumentos de gestión pública de tipo urbanístico, y de cultura ciudadana. Dentro de las de tipo urbanístico, es evidente la falta de implementación de medidas y mecanismos operativos para retirar y reubicar los asentamientos humanos que hoy ocupan áreas que por efectos de la realidad ya han sido identificadas como de inundación por el río. De igual manera, y por la proliferación de actividades urbanísticas en la zona, se puede inferir la ausencia de medidas algo más estructurales que apunten a crear, reforzar y actualizar mecanismos de control en el uso y ocupación del suelo, de tal suerte que se fijen parámetros de restricción para controlar el establecimiento y desarrollo de nuevos asentamientos.
- Respecto a los mecanismos de promoción y participación ciudadana, no se observa que exista una plataforma dispuesta desde la institucionalidad de los órganos de gobierno que contribuya a generar espacios colectivos donde se difunda, discuta y de ser posible se concerten estrategias de acción y alternativas de solución a esta problemática. La apatía y adormecimiento peligroso de la

ciudadanía con respecto al problema, es un indicio fuerte de la falta de promoción y apoyo a esquemas de organización comunitaria por parte de los órganos de gobierno local y departamental con el fin de preparar la respuesta de la ciudad frente a una emergencia de esta naturaleza.

- Se supone que así como se ha podido establecer una relación entre lo prolífico de los estudios y la acción gubernamental a través de la puesta en marcha de instrumentos de gestión del problema, en esa misma medida se pueda establecer una relación con la capacidad de respuesta con la que hoy se cuenta por parte de los órganos gubernamentales, para por lo menos atender una situación de emergencia de estas características. En el campo organizacional e institucional la falta de armonía y articulación entre instituciones impiden la acción coordinada, conjunta y colaborativa. En el campo de planeación y gestión, no se tiene una política estructurada para la prevención y atención de emergencias, lo cual conlleva a que no se haga una suficiente y adecuada asignación de recursos presupuestales para ese rubro. Y en el campo técnico y operativo, tal y como lo demuestra este estado del arte, se procede de manera reactiva e impulsiva.

Por parte de la ciudadanía se tiene que:

- Aun cuando no es posible visualizar a partir del estado del arte, la línea de acción y la participación de la ciudadanía en general con el problema, si es posible extraer la forma de respuesta que han tenido aquellas comunidades que se localizan en aquellas áreas de afectación directa e inmediata, por efecto de situaciones moderadas de emergencia. Y de allí se puede concluir que se trata de una conducta reactiva, dependiente, limitada de recursos y exclusiva de pequeños grupos poblacionales de interés, consistente en la ejecución de acciones aisladas, ocasionales, antitécnicas e improvisadas. Por fuera de esa área de influencia, la ciudadanía en general exhibe una nula participación en todos los sentidos, desde lo técnico, lo político hasta lo que tiene que ver con la misma gestión del problema, a través de sus organizaciones de base.

12.3 LO QUE PLANTEA A FUTURO EL ESTADO DEL ARTE

El presente documento plantea la necesidad de ampliar y profundizar las acciones de conocimiento del problema, básicamente a través de cuatro canales:

1. La complementación con otros trabajos de investigación de un nivel o complejidad mayor a los existentes.
2. La actualización y validación de los contenidos y de los resultados de los trabajos existentes.
3. La creación y adopción de esquemas de trabajo interinstitucionales de cooperación y articulación, en la que tengan participación todos los agentes públicos y particulares que de una u otra forma tienen que ver con el tema.
4. El establecimiento y ejecución de estrategias y acciones de sensibilización ciudadana y comunitaria sobre la amenaza y sus mecanismos para prevenirla, mitigarla, controlarla y enfrentarla.

12.4 DIAGNOSTICO TECNICO A PARTIR DEL ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION PRESENTADA EN LOS TRABAJOS QUE CONFORMAN EL ESTADO DEL ARTE.

12.4.1 Calidad De La Información. Esta calidad viene dada primordialmente por el tipo de fuente usada en aquellos trabajos que conforman el estado del arte. Dentro de ellas se encuentran fuentes primarias y fuentes secundarias. Las fuentes primarias o directas, brindan una cobertura geográfica suficiente para el área de estudio, lo cual permite obtener información representativa, realizar un análisis completo y llegar a resultados aceptablemente confiables, en consonancia con el propósito que persigue el estudio del que se trate. Además, la variedad en los tipos de los equipos empleados para capturar la información es aceptable, en la medida en que permite el registro de una clase significativa de variables. Sin embargo ellos tienen una configuración tecnológica que los convierte en equipos obsoletos e imprecisos y que ocasiona que los registros alcancen grados de incertidumbre que ponen en entredicho la validez de los resultados. Aunado a lo anterior, está el hecho de la operación y manejo de estos dispositivos, ya que ésta se realiza de manera irregular en términos de tiempo, lo que impide la continuidad y una buena periodicidad en los procesos de captura y recuperación de la información.

Otro tipo de fuente primaria empleada, es la que tiene que ver con el trabajo de campo. Se trata de una modalidad realizada de manera limitada y sectorizada que no ha cubierto toda el área relacionada con el alcance de los estudios. Ella ha consistido más en actividades de inspección visual e instrumental básica por parte de profesionales especializados, con el fin de hacer un reconocimiento general de las condiciones de estabilidad, para analizar los cambios en la dinámica fluvial y localizar obras de protección, de los tramos bajo estudio incluidos en las investigaciones que comprenden este estado del arte. En otras oportunidades, han consistido en visitas producto de la ocurrencia de situaciones de emergencia de cierta magnitud, con el propósito de evaluar en tiempo real el hecho y documentar el evento.

En cuanto a las fuentes secundarias o indirectas, estas provienen para el grueso de la información, de agencias y organismos gubernamentales vinculados con el tema. Se trata de información principalmente de tipo estadística, histórica y cartográfica. En el caso de la información estadística de tipo histórico se tratan de datos no muy actuales, pero que resultan valiosos para hacer proyecciones, observar tendencias, describir comportamientos y llegar a premisas concluyentes. Además que involucra un número de variables climatológicas adecuadas para realizar análisis integrales, interdependientes y completos. No obstante lo anterior, para el caso de algunos parámetros meteorológicos, es difícil establecer su variación espacial, ya que los registros no son consistentes en relación con el mismo equipo. Sumado a lo anterior, hay que señalar que existe un elemento distorsionador que afecta la calidad de la información, y que reside en una falla estructural de la institución encargada del manejo de la información meteorológica en el país. Y ella tiene que ver con el proceso de captura instrumental que consiste en que los valores diarios de caudal no existen a nivel de registros máximos y mínimos, ya que estos solamente se archivan en el banco de datos del IDEAM, únicamente para los caudales medios. En otras palabras, en las estaciones hidrológicas de nuestro país solamente existen registros diarios de los caudales medios y para los registros de caudales máximos y mínimos, estos solamente se almacenan como valores instantáneos mensuales.

De otra parte, y en lo que respecta a la información cartográfica, se puede decir que esta permite identificar y analizar los movimientos relativos a la dinámica fluvial, identificar de manera aproximada su actividad geomorfológica, y hacer interpretaciones comparativas temporales en ese sentido. También permite hacer pronósticos preliminares, sobre la posibilidad de ocurrencia de fenómenos naturales cuya acción o evolución está ligada a condiciones de retorno periódicas, en conjunto con el análisis e interpretación de otro tipo de informaciones.

En otros casos, la información secundaria consiste en información proveniente de estudios y documentos poco relacionados con el tema y más bien tangenciales, pero que integran datos de interés para el propósito de los diferentes estudios que integran el estado del arte.

12.5 SOBRE EL ALCANCE DE LOS ESTUDIOS.

Ninguno tiene como propósito central el análisis y estudio de los factores de amenaza y riesgo, que en cierto momento puede resultar determinante para que se presente un evento de inundación por desbordamiento del río Cravo Sur. Si bien es cierto, dentro de esos estudios se toma en consideración información de tipo hidrológica, meteorológica y cartográfica como base para realizar análisis en torno al comportamiento hidráulico del río y su impacto en las condiciones actuales de estabilidad de los taludes de sus márgenes, ello está más enfocado en usarlos como datos de entrada para el diseño de obras de protección de esas franjas, y menos para evaluar la situación de amenaza por desbordamiento del río, que a partir de ellos se puede configurar. Ello resulta tan cierto, como que ninguno de estos estudios ha ido más allá de recomendar y diseñar obras de protección, dejando por fuera del espectro de análisis la ocurrencia de un evento derivado del ataque del río hasta el punto que termine en una situación de desastre. Esto causa por lo menos sorpresa, máxime cuando en los estudios es recurrente y se deja por sentado que de llegarse a presentar ese evento, las obras diseñadas colapsarían inevitablemente, toda vez que frente a un evento de estas proporciones no existe obra física que lo pueda contrarrestar. Habiéndose detectado esa amenaza, preocupa que por lo menos no se haya considerado un trabajo de investigación más a fondo y juicioso al respecto.

12.6 SOBRE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN LOS TRABAJOS, INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS QUE CONFORMAN EL ESTADO DEL ARTE.

12.6.1 Climatología. La situación de localización geográfica e hidrográfica de la región de la Orinoquía en general y del municipio de Yopal en particular, determina un clima y una distribución de la pluviosidad en la cuenca, que coadyuvan y potencializa la amenaza que representa el río Cravo Sur de ocasionar situaciones de emergencia por eventos de inundación sobre el área bajo estudio.

12.6.2 Hidrología Y Dinámica Fluvial. La densa red hidrográfica de la cuenca del río Cravo Sur, es un factor determinante de los flujos superficiales y subsuperficiales que alimentan el cauce del río, y por ende se constituye en un aspecto que fortalece su connotación de amenaza. Sin embargo por las condiciones fisiográficas de su cuenca, las crecientes se pueden generar también por la precipitación de un solo sector o de la lluvia que cae homogéneamente en toda su área, lo cual puede ser fácilmente confirmado a

partir de la tendencia monomodal de los caudales que a su vez coincide con la tendencia en el régimen de las precipitaciones. A pesar de que se tiene identificado, que el sector del Morro es en donde se registran los eventos lluviosos de mayor intensidad no se han realizado estudios específicos ni se ha monitoreado esa zona con el objeto de conocer el grado de incidencia que ese hecho tendría en la eventual formación de una creciente de magnitud considerable sobre el cauce principal, y que podría llegar a afectar a la ciudad.

Otro aspecto que contribuye a identificar al río como una amenaza, es el que tiene que ver con la baja capacidad de regulación natural que tiene su cuenca, que como consecuencia hace que las condiciones de las crecientes y disminución de caudal fluctúen de manera extrema. Lo anterior viene explicado por los flujos de escorrentía que en un buen porcentaje son afluentes de detención, que sumados a los superficiales terminan alimentando el cauce principal e incrementando de manera significativa sus caudales, sin que durante ese ciclo se presente zonas de almacenamiento natural o artificial.

La dinámica fluvial que tiene el río en el tramo comprendido entre el Puente La Cabuya y el sector en donde se encuentran las bocatomas, refleja fielmente el modelado de su comportamiento fluvial desde la parte alta de su cuenca hasta su desembocadura en el río Meta, y es una prueba de la gran actividad geomorfológica que siempre conserva el río en su paso por la ciudad. Esa dinámica viene caracterizada por el movimiento trezado de sus aguas, el redireccionamiento alternado y periódico de su flujo que divaga de orilla a orilla en lapsos de tiempo de entre 3 y 4 años, y durante el cual este ataca con mucha agresividad los taludes de sus márgenes. Lo anterior lleva a concluir que la dinámica fluvial del río Cravo Sur, en el área bajo estudio obedece a un patrón de comportamiento periódico e histórico regular.

Si bien es cierto, la dinámica del río conlleva un ataque por igual sobre sus dos márgenes, es necesario que las obras de protección y redireccionamiento que en el futuro se propongan construir, contemplen un análisis en conjunto de la situación sobre las dos márgenes, para que su ubicación no signifique el incremento de la acción destructiva del río sobre una de ellas como consecuencia de la protección de la otra. Máxime cuando sobre ellas se localizan estructuras y bienes que deben ser resguardadas como son las viviendas y la vía, por lo menos mientras se adoptan medidas estructurales de fondo para solucionar el problema.

De otro lado, definitivamente se tiene que reconsiderar la permanencia del parque de la Iguana en el sitio que actualmente ocupa, porque como se puede deducir de la dinámica que tiene el río en ese trayecto, ese ha sido un punto que ha padecido de tiempo atrás los ataques permanentes de sus aguas y a sufrido afectaciones serias, a pesar de la cantidad de obras que para protegerlo se han ejecutado.

12.6.3 Hidráulica. La capacidad hidráulica de transporte del río en el tramo bajo estudio, así como el tipo de material que sus aguas arrastran, incrementan las áreas conformadas por depósitos aluviales aumentando con ello los estratos de las terrazas aluviales ya constituidas, que son características del suelo sobre el cual está asentado hoy la ciudad de Yopal.

La presencia de estructuras de captación ubicadas a todo lo largo del tramo bajo estudio, por las precarias condiciones técnicas de funcionamiento, en algunos casos por la interceptación y desviación clandestina que realizan de las aguas, y por la falta de control de las autoridades competentes, son aspectos que no permiten evaluar y establecer la

capacidad hidráulica del río con el propósito de modelar y predecir el tránsito de una creciente extraordinaria, y estimar los daños que se pudieran llegar a presentar por sus efectos.

El cambio en la sección hidráulica del río en el tramo que comprende el área de estudio, debido a la transición geomorfológica de una topografía de piedemonte a una de sabana, ocasionan la pérdida en su capacidad de carga y su explayamiento, y es un hecho que favorece la ocurrencia de fenómenos de inundaciones y cambios de curso especialmente en la época invernal.

12.6.4 Geotecnia. La geología inestable del área de piedemonte por donde discurre el cauce principal del río en la parte alta y media de su cuenca, unido a la actividad tectónica en la zona (fenómenos de remoción en masa, deslizamientos, carcavamientos, y avalanchas), podría desatar un proceso de taponamiento y como consecuencia de ello producirse el represamiento del río, lo que a la postre derivaría en un flujo en avalancha hacia aguas abajo en dirección a la ciudad de Yopal.

Los suelos del área bajo estudio corresponden a planicies aluviales formados sobre llanuras mal drenadas, compuestas por depósitos sedimentarios de baja consolidación y renovabilidad estacional. La actividad erosiva que el río ejerce sobre esos depósitos, ocasiona una reconfiguración constante de ellas y las convierte en áreas susceptibles de inundación.

La condición de estabilidad atendiendo criterios geotécnicos y geológicos, que resulta más crítica frente a la afectación por la corriente del cauce, se presenta en los taludes del tramo comprendido entre el hospital de Yopal y las bocatomas del distrito de riego, que es precisamente donde se ubican los asentamientos humanos más grandes.

12.6.5 Geomorfología. Los cambios geomorfológicos que se dan cuando el río Cravo Sur, sale del piedemonte y llega a la sabana debido al modelado de la zona montañosa y el inicio del valle aluvial que son muy propios de su gran actividad morfométrica, vienen definidos por las siguientes condiciones: Una disminución drástica de la pendiente, la formación de abanicos y conos de deyección, el trenzamiento de su cauce y el incremento en la tasa del material de arrastre. Al combinarse estas condiciones, se generan cambios permanentes en el direccionamiento de su flujo que incrementan el poder erosivo del río sobre los taludes de sus márgenes en la zona de sabana.

Es normal de la gran actividad geomorfológica del río en el sector comprendido entre el Puente La Cabuya y el Hospital de Yopal, los desplazamientos que su cauce realiza de izquierda a derecha a todo lo largo de su recorrido. Se trata de un proceso alternado de sedimentación y socavación, que se lleva a cabo de manera intercalada entre orillas de manera periódica en espacios de tiempo que pueden durar hasta 4 años.

La forma alargada de la cuenca del río Cravo Sur, es un factor determinante que contribuye a mitigar y reducir la magnitud de las crecientes, en la medida en que aumenta el tiempo de concentración de la escorrentía hacia el cauce principal, bien sea que ella se produzca de manera superficial o subterránea.

12.6.6 Componente biótico. La alteración que ha sufrido la vegetación natural y nativa en el área bajo estudio, ha ocasionado la desaparición de las especies correspondientes a

la zona, dejando en su lugar una baja cobertura, lo que incrementa el grado de vulnerabilidad de los márgenes frente al poder erosivo del río sobre esos taludes.

12.6.7 Antecedentes Históricos De La Problemática. A partir del análisis e interpretación que se hace de la información cartográfica, y de los resultados que con base en ese trabajo se consignan en los estudios que integran el estado del arte, se puede tener como un indicio serio las conclusiones que allí se dejan consignadas. Es así como resulta preocupante y debe ser motivo de toda la atención, la manera recurrente y reiterativa de la que se habla en torno a la probabilidad de que una avalancha por causa del río, llegue a ocurrir y provoque una afectación de consecuencias incalculables. De otro lado, no se puede perder de vista, que a esas conclusiones se llega después de hacer una comparación con imágenes y material fotográfico previo correspondiente a avalanchas que ya sucedieron en otros lugares del país, y que por lo menos desde esa óptica guardan rasgos similares con el material fotográfico empleado para este caso. Lo que acrecienta aun más la incertidumbre, es que aun cuando por las imágenes se puede advertir con algo de seguridad la ocurrencia de un fenómeno de esta naturaleza, científicamente no se ha podido determinar cuál sería su periodo de retorno. Finalmente, el asunto no es de poca monta, cuando en el estudio se subraya que de presentarse una avalancha como las que muestran las fotografías, cerca de un 75% del área que hoy ocupa la ciudad sería arrasada, y entonces ese simple hecho ya amerita y debería haber motivado una respuesta mayor a la que en la actualidad han dado los órganos de gobierno y la ciudadanía en general.

12.6.8 Acciones Y Medidas De Prevención, Pronóstico, Mitigación Y Atención, Desplegadas. No existe por parte de las autoridades, control en la ocupación del suelo localizado en las áreas que históricamente y durante eventos extremos de desbordamiento del río han sido inundadas, situación esta que configura un alto grado de vulnerabilidad de las personas y bienes allí asentados de cara a la ocurrencia de un evento considerable de este tipo. Tal es así, que se siguen desarrollando actividades urbanísticas en esas áreas, aún sabiendo las consecuencias y situaciones de emergencia que en el paso han tenido que afrontar quienes de tiempo atrás viven allá.

Las medidas y acciones desplegadas que con ese propósito se han adoptado, han consistido en su gran mayoría en la construcción de obras físicas para la protección de los márgenes del cauce, para el redireccionamiento del flujo hacia el centro y para la disipación de energía. Sin embargo, contra una amenaza como las que históricamente se han presentado en el río Cravo Sur, no es posible diseñar y construir una obra física que la pueda contener, o en el peor de los casos mitigar sus efectos. Se podría tratar de un evento de unas proporciones tan grandes y con un poder de afectación tal, que las únicas medidas para preservar y proteger la vida y bienes de las poblaciones potencialmente en peligro, sería la reubicación definitiva o ante una situación de emergencia diseñar y poner en marcha un plan de evacuación.

12.6.9 Obras Construidas Existentes. La manera sectorizada y dispersa como se han ejecutado las obras, si bien ha servido para proteger transitoriamente los tramos de los márgenes en esos sitios, como era de esperarse han alterado las condiciones hidráulicas y de dinámica fluvial del río, lo cual ha provocado que este ataque con más fuerza aquellos tramos de margen que no han sido objeto de obras de protección. Ello pone de presente la necesidad de abordar el problema de erosión fluvial de una manera integral y que abarque toda el área bajo estudio, y así evitar que la solución en un punto signifique el agravamiento del problema en otro punto.

Se han ejecutado obras que termina siendo transitorias por su baja durabilidad y capacidad de resistencia al flujo de la corriente, lo que no ofrece una solución de fondo al problema de la erosión fluvial y con el tiempo lo que ocasionara será la reducción de la sección hidráulica del río, por efecto de la ocupación que ellas hacen de su cauce.

El desmantelamiento que han sufrido algunas de las estructuras construidas, principalmente las de captación de algunos de los canales que componen el distrito de riego, inducen cambios importantes en el régimen hidráulico del río y por ende puede determinar y coadyuvar en fenómenos de inundaciones aguas arribas de ese punto.

Las obras que se han ejecutado dentro del cauce y que tienen que ver principalmente con movimiento local, acarreo y reacomodamiento de material del fondo del cauce, con el objetivo de conformar artificialmente barras y hacer la apertura de brazos, son actividades que se han llevado a cabo sin consultar diseños técnicos debidamente sustentados, y no obedecen a un plan estructurado para disipar energía a través del redireccionamiento de las líneas de corriente. Esto en últimas, termina convirtiendo esos trabajos en algo inocuo, injustificado e inútil. además porque muchas de ellas se han ejecutado en plena época invernal y ello a parte de incrementar los costos en comparación de si se hicieran en verano, dificulta los trabajos y acelera el deterioro de estas obras, acortando con esto el periodo de vida útil de estas estructuras de por si transitorias.

12.6.10 Obras Físicas Propuestas. La falta de control en las interceptaciones y desviaciones del cauce que en la actualidad se viene haciendo en algunas ocasiones de manera ilegal, en términos de las condiciones físicas de las estructuras de toma y de la cantidad del caudal captado, puede ocasionar cambios significativos en las condiciones hidráulicas del río aguas arriba, y como consecuencia incrementar el riesgo de inundación sobre esas áreas.

Las obras físicas propuestas se tratan por una parte de obras tendientes a mejorar las estructuras de captación existentes e integrarlas para que funcionen como un solo sistema, lo que de paso normalizaría el régimen hidráulico del río aguas arriba, y por otra parte son obras de protección de los márgenes, de redireccionamiento del flujo y aumento de la capacidad hidráulica del río a través del aumento de su sección hidráulica. Sin embargo al igual que como se hizo con las obras existentes, estas como están propuestas se ejecutarán de manera localizada y dispersa, solo para aquellos sectores que han sido detectados como más críticos en atención al grado de vulnerabilidad y potencial daño que por efecto de la inestabilidad de sus taludes puede alcanzar el flujo.

Si bien es cierto, la margen derecha del río es la que mayor importancia reviste a la hora de proponer obras de protección, en la medida en que sobre ellas existen estructuras, instalaciones y equipamientos urbanos que en el momento de una emergencia comprometería la integridad de personas y bienes, no hay que pasar por alto que sobre la margen izquierda aun cuando no se tienen ocupaciones de esa misma naturaleza, si hay que considerar que su talud soporta la vía Yopal-Pore, que por tratarse de un corredor vial de orden e interés nacional presenta un flujo vehicular sustancial que también en una situación de emergencia podría cobrar vidas humanas.

12.7 LO QUE PLANTEA A FUTURO EL DIAGNOSTICO

Tras el diagnostico presentado en el numeral anterior, es necesario empezar a trabajar en los siguientes puntos dirigidos a alcanzar un conocimiento más completo y real del problema:

- Es necesario ampliar y profundizar el estudio de aquellos aspectos y cuestiones técnicas y científicas que dentro de los estudios, trabajos e investigaciones existentes, son tratadas superficialmente y para las cuales se recomiendan indagaciones específicas y más detalladas.
- Es necesario hacer un estudio integral que abarque un área geográfica representativa y suficiente más amplia que aquella considerada por los estudios existentes, de tal suerte que se pueda hacer un análisis macro y global.
- Finalmente se debe hacer un estudio científico, amplio, profundo, actualizado y especializado en relación con los factores de amenaza y riesgo que podrían determinar un evento de inundación por desbordamiento del río Cravo Sur, sobre el área urbana de la ciudad de Yopal.

13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios considerados dentro de este trabajo presentan algunos elementos que constituyen indicios serios sobre la probabilidad de que ocurra un evento de avalancha ocasionada por el río Cravo Sur, la cual puede terminar afectando un área significativa de la ciudad de Yopal. Sin embargo es necesario actualizar, profundizar y extender los estudios con el propósito de obtener resultados que sirvan para tomar decisiones oportunas y efectivas en la tarea de pronosticar, monitorear, prevenir y mitigar ese evento.

De otro lado, se tiene que no existe una acción pública sistemática y articulada por parte de los organismos responsables de manejar el tema en el cual se circunscribe este problema, como es el de la prevención y atención de emergencias y desastres, en el sentido de realizar el estudio y el análisis de los factores que en un momento dado pueden determinar la ocurrencia del evento, lo cual a la postre se ve reflejado en la intencionalidad y en los resultados de los estudios y obras contratadas a la fecha con ese fin. Además, estas instancias de gobierno sólo han tomado de esos estudios lo referente a los diseños de las obras físicas, dejando de lado aquella información relativa a los datos hidrológicos que permiten hacer análisis mucho más amplio y obtener una visión más amplia de los factores que configurarían la ocurrencia de este evento.

El problema de una inundación en la ciudad de Yopal, por efectos del desbordamiento del río ocasionada por una avalancha, ha tenido un manejo más local por parte de los organismos responsables del tema en la ciudad y en el Departamento, y en ese sentido ha sido una labor que se ha concentrado en analizar los efectos erosivos del río solamente en la ciudad de Yopal, perdiendo de vista que ellos son una respuesta natural del río a fenómenos presentes en otros sectores de la cuenca, y que vienen asociados a su dinámica fluvial por las condiciones y características de su misma cuenca.

Definitivamente el análisis de los factores y amenazas por inundación del río Cravo Sur en la ciudad de Yopal, es un estudio que debe acometerse como un trabajo continuo, independiente y serio en función de la misión que tienen aquellos organismos públicos que pertenecen al Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. De tal suerte que ello sea asumido como un compromiso institucional central y estructural, que garantice la permanencia y los recursos en el tiempo de las decisiones y las acciones que se deriven de su cumplimiento, hasta el punto que ellas puedan remontar las situaciones coyunturales que caracterizan el acontecer político y administrativo de las entidades públicas en nuestro país.

Tomando en consideración las repercusiones e implicaciones que podría tener la ocurrencia del fenómeno en la ciudad, llama la atención que sea un tema al que no se le haya dado el despliegue y hasta cierto punto la difusión suficiente para ponerlo en el centro del debate público y para generar sensibilidad social entre la ciudadanía. Se ha manejado como una problemática menor y hasta ajena al mismo desarrollo de la ciudad, siendo que por el contrario ella constituye una realidad que puede determinar dicho desarrollo.

Se hace urgente la reactivación y fortalecimiento las instancias de planeación y coordinación institucional para el manejo de emergencias y desastres, como son el Comité Regional y el Comité Local para la prevención y atención de emergencias y desastres, como aquellos espacios de acción gubernamental llamados a liderar y a articular todas las iniciativas, acciones y decisiones requeridas para enfrentar los riesgos y las amenazas que plantea esta problemática. Para ello es necesario que esas instancias puedan contar con más autonomía administrativa y presupuestal, con un mayor nivel de recursos que se puedan garantizar en el tiempo y que corresponda a unos planes de acción claros y definidos, y con un compromiso institucional que corresponda a una obligación legal cuyo incumplimiento conlleve sanciones que persuadan a sus administradores de manejar el asunto con el mismo cuidado que manejan otros similares dentro de la agenda de su gestión pública.

Como últimas recomendaciones, es necesario declarar el río Cravo Sur en el tramo comprendido entre el Puente La Cabuya y las bocatomas del distrito de riego como área de manejo especial por parte del municipio de Yopal, la Gobernación de Casanare y la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía – CORPORINOQUIA, ya que se presentan las siguientes amenazas:

- La porción de lluvia más abundante y de mayor intensidad se genera en la parte media de la cuenca del río Cravo Sur, en inmediaciones al corregimiento de El Morro, lo cual genera un riesgo por aumento de caudal y represamiento de material del río, y por cambio de dirección de la llegada del río al municipio de Yopal puede llegar a generar inundaciones en una zona significativa de éste.
- Se debe impedir que el río ingrese a la barra del Parque de La Iguana y buscarle un direccionamiento por la parte central del lecho, ya que la tendencia del río en los últimos años es de moverse hacia la derecha, ubicación en la cual se encuentra el municipio de Yopal. Estas actividades deben desarrollarse inmediatamente durante la temporada de verano. Como actividad de mejoramiento de las condiciones del cauce, se puede proteger la barra del parque de La Iguana mediante una estructura (dique) que no direcciona el flujo, sino que encauce las aguas altas, sin detrimento de las obras construidas en el talud de la margen izquierda, para proteger la banca de la vía Yopal - Pore.

Finalmente, con respecto a la realización del presente documento cabe resaltar el enriquecimiento académico derivado de su desarrollo ya que nos permitió profundizar de los conocimientos adquiridos en la formación de Especialistas en Ingeniería Ambiental, y de allí mediante el análisis de la problemática, la aplicación de ellos mediante la formulación del diagnóstico presentado.

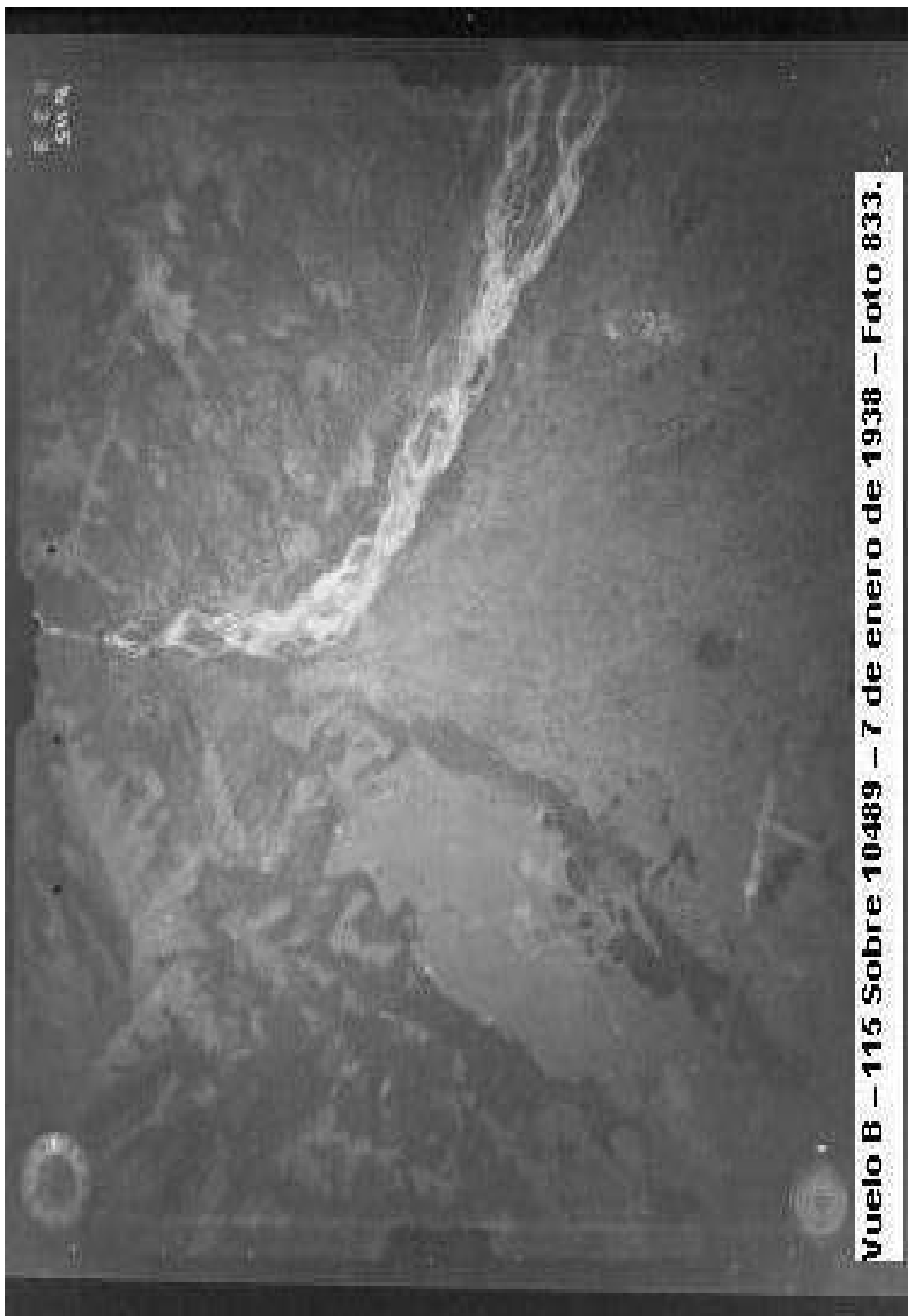
No obstante, se deja claro que el tema tratado es de gran interés, de allí se podrían derivar estudios que conlleven a la formulación de nuevas estrategias tendientes a la minimizar factores que representen amenazas y riesgos a la población Yopaleña.

La temática no solo interesa a los habitantes de la región, sino a todas las personas que estamos interesadas en la preservación y conservación del medio que nos rodea y en el cual se incluye el ser humano como factor primordial.

14 BIBLIOGRAFÍA

1. Anuario Meteorológico 1979. HIMAT, Mayo 1986.
2. BALDION, José Vicente. "Conceptos Básicos y Métodos de Cálculo del Balance Hídrico". Sección de Estudios e investigaciones Meteorológicas. HIMAT, Bogotá, 1987.
3. BP. Exploration (Colombia) Company. Estudio de impacto Ambiental de las Áreas de Exploración del Campo Cupiagua. Auditoria Ambiental- IGL. Bogotá - julio de 1995.
4. CIDIAT. "Manual de Uso de Tierras Agrícolas". Universidad de los Andes – Mérida – Venezuela, 1980
5. Estudio de especialización de Unidades Productivas y adecuación de tierras para la consolidación de distritos de desarrollo. Secretaría de Desarrollo Económico – Gobernación de Casanare. Yopal, junio de 2002.
6. Estudio de Localización, Dimensionamiento y Diseño de obras de protección del río Unete en el tramo comprendido entre el puente sobre el río Unete vía a Tauramena y el barrio El Porvenir, Municipio de Aguazul - Casanare Secretaria de Planeación Municipal, Ing. Fernando Duarte - Ing. Abraham Salazar H - Marzo de 2003.
7. Estudio – Diseño del sistema de aguas lluvias. Yopal, 2006.
8. Estudio y Diseño de obras de protección, inundaciones en el río Cravo Sur, tramo comprendido entre el puente el puente La Cabuya – Hospital de Yopal, zona de protección ambiental Parque Natural La Iguana, Municipio de Yopal. Secretaria de Planeación Municipal, diciembre de 2003.
9. IDEAM. "Análisis de Zonas Inundables: Regionalización de Crecientes Máximas"- Informe de Actividades 1995- Bogotá Colombia-1996.
10. LASSO, Luis. "La Evapotranspiración Potencial del Territorio Colombiano Estimada por el Método de Penman". División de estudios Hidrometeorológicos. HIMAT, Bogotá, 1986.
11. MONSALVE, Germán. "Hidrología en Ingeniería- Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá - Colombia, 1985
12. Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de El Yopal (1999
13. RAMOS, Fernández. "Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico". Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. CEOTMA, Madrid, Julio de 1991.
14. SILVERIO Carmen, PÉREZ Pedro. "Fundamentos de Agrometeorología" Editorial Pueblo y Educación. La Habana, - Cuba, 1990.
15. SUAREZ, Díaz Jaime. Manual de Ingeniería Para el Control de Erosión. CDMB y UIS, Bucaramanga, diciembre de 1992.
16. US ARMY OF ENGINEER, The Hydrologic Engineering Center. User Hydrograph Package HEC-1. September 1981.

ANEXO A.
FOTOGRAFÍAS AÉREAS



Vuelo B - 115 Sobre 10489 - 7 de enero de 1938 - Foto 833.



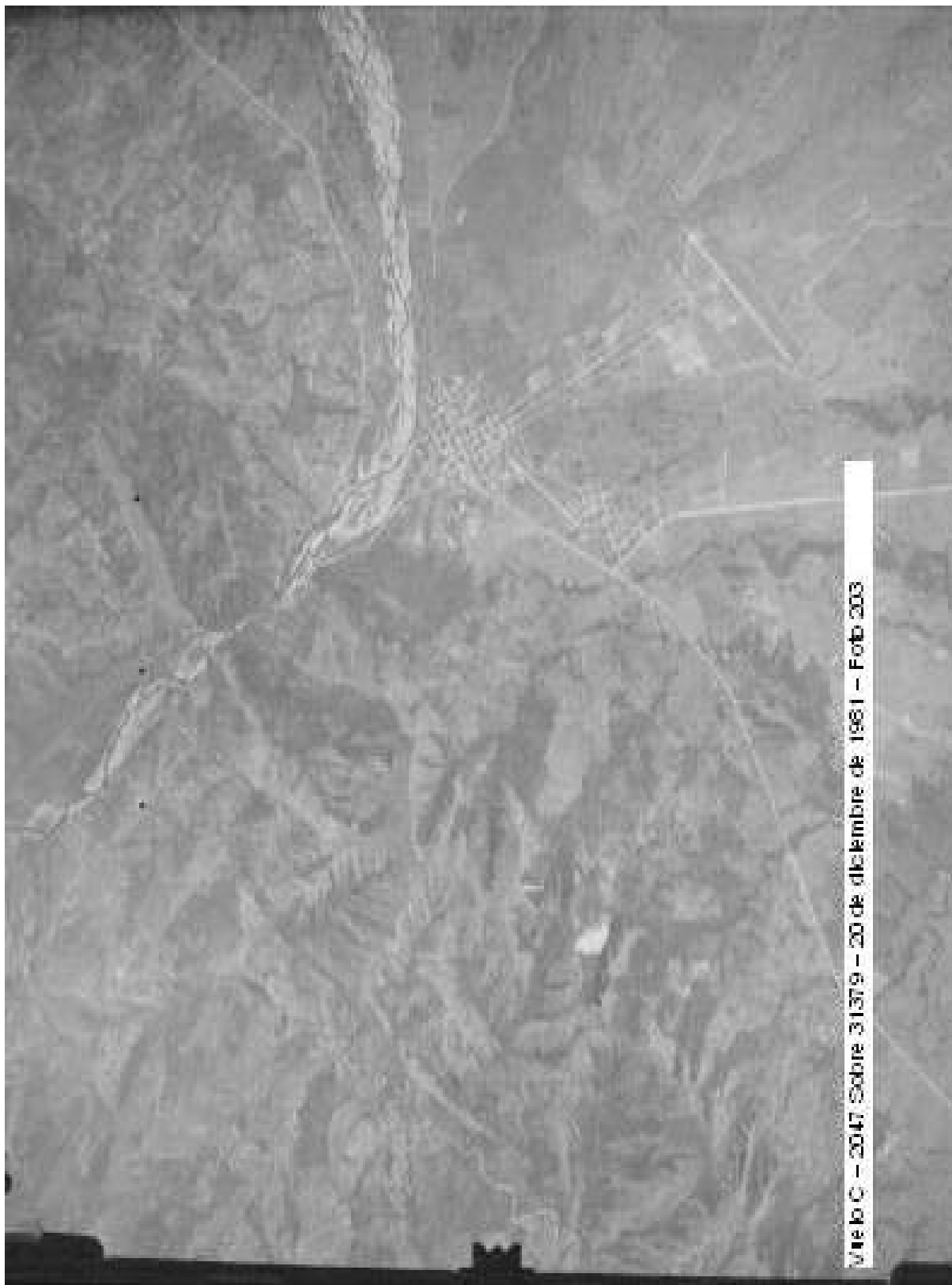
6277

Vuelo M-545 Sobre S-382 - 8 de febrero
de 1959 - Foto 6277

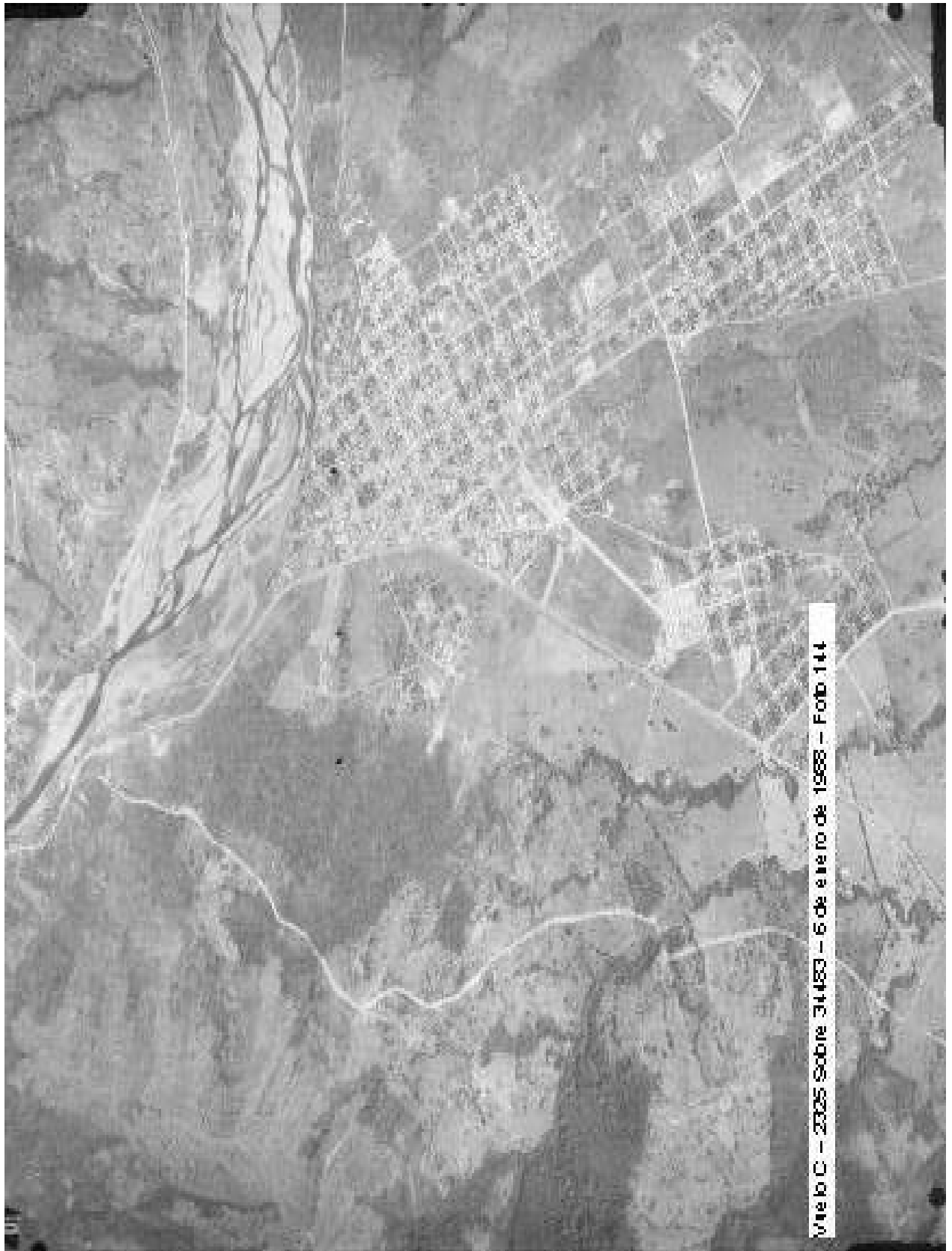


Mie lo P. - 464 Sobre S-2376 - 2 de enero de 1961 - Foto 1795





Vire lo C - 2047 Sobre 31379 - 20 de diciembre de 1961 - Fotb 203



Urbio C. - 2325 Sobre 34483 - 6 de enero de 1968 - Foto 144

Vuelo C — 2486 Sobre 36411 — 25 de septiembre de 1992 — Foto 043





Vuelo C - 2563 sobre 37135 - 11 de febrero de 1995 - Foto 004

ANEXO B. CUADROS

Cuadro 1. Valores climáticos Estación Aeropuerto Yopal

**RESUMEN DE VALORES CLIMATICOS
ESTACION APTO YOPAL**

CODIGO: 3519503
TIPO EST. : CO
PERIODO:1974-1994

LATITUD: 0510 N
LONGITUD:7233 W
ELEVACION:380 m.s.n.m.

PARAMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PRECIPITACION (mm)													
Mínimos	0,0	0,0	16,5	79,7	52,6	42,2	21,5	107,0	154,1	81,2	65,7	0,0	0,0
Medios	6,0	46,7	85,1	281,2	338,2	293,8	282,0	267,7	286,3	242,3	151,9	21,2	2302,4
Máximos	37,2	261,7	215,8	653,5	541,9	558,1	551,4	464,2	440,2	445,9	321,3	96,4	653,5
TEMPERATURA °C													
Mínimos	25,6	27,8	26,9	25,2	24,3	22,7	22,5	24,0	24,5	24,4	24,7	25,1	22,5
Medios	27,6	28,1	27,9	26,5	25,5	24,7	24,6	25,2	25,5	25,7	25,9	26,7	26,2
Máximos	28,8	28,8	28,9	27,6	26,5	25,9	26,1	26,2	26,9	26,6	26,4	29,5	29,5
HUMEDAD RELATIVA %													
Mínimos	57,0	54,0	57,0	67,0	73,0	76,0	78,0	74,0	77,0	75,0	74,0	67,0	54
Medios	65,0	60,0	63,0	75,0	80,0	84,0	83,0	82,0	81,0	80,0	77,0	70,0	75
Máximos	75,0	65,0	69,0	82,0	87,0	87,0	88,0	89,0	89,0	85,0	80,0	76,0	89
BRILLO SOLAR (Horas)													
Mínimos	161,0	125,5	56,3	75,0	96,4	61,0	57,4	62,8	55,2	89,8	77,8	186,2	55,2
Medios	215,3	177,1	137,0	113,4	139,8	90,0	110,4	134,6	145,4	145,2	159,9	220,2	1788,3
Máximos	266,1	226,5	184,6	157,0	253,3	111,9	160,5	180,5	183,0	184,4	210,0	268,9	268,9
NUBOSIDAD (Octas)													
Mínimos	2,0	3,0	3,0	2,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	4,0	2,0	2
Medios	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	6,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	3,0	5
Máximos	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	7,0	6,0	6,0	7
EVAPORACION (mm)													
Mínimos	89,8	106,8	77,8	54,5	59,9	52,2	48,9	54,3	50,8	65,8	27,2	105,6	27,2
Medios	141,0	154,8	147,8	89,3	107,9	85,0	99,8	98,1	93,0	105,5	106,3	139,7	1368,2
Máximos	195,6	215,3	200,2	107,9	136,6	102,4	139,3	130,9	133,0	140,2	147,1	169,0	215,3
TENSION DE VAPOR (Milibares)													
Mínimos	21,5	21,5	21,6	23,9	24,7	23,3	21,5	24,4	25,4	25,2	25,0	23,9	21,5
Medios	24,2	23,5	23,7	25,5	26,2	26,1	25,7	26,3	26,8	26,6	26,3	25,1	25,5
Máximos	27,6	27,3	27,0	28,1	28,8	27,9	27,7	30,1	31,2	28,9	27,8	27,7	31,2
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/seg)													
0,7 Horas	1,5	1,3	1,5	1,3	1,6	1,1	1,6	0,9	1,7	1,4	0,9	1,2	1,3
13 Horas	3,7	5,2	4,2	3,2	3,0	2,8	3,1	2,7	2,7	2,7	2,3	4,1	3,3
19 Horas	1,1	1,7	1,5	1,2	1,5	1,1	1,5	1,0	0,9	1,2	0,5	1,0	1,2

Cuadro 2. Características pluviométricas de estaciones de la zona en estudio.

CARACTERISTICAS PLUVIOMETRICAS ESTACIONES DE LA ZONA

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL MULTIANUAL en milímetros														
ESTACION		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTALES
PAJARITO		28	52	157	304	530	555	626	606	559	386	213	71	4087
CHAMEZA		10	18	54	107	168	183	199	163	137	98	85	22	1243
EL MORRO		14,2	66,9	120,6	389,7	518,9	519,1	471,5	471,5	445,7	410,4	206,3	33,4	3668,3
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA														
PAJARITO	Medio	3	4	9	16	20	21	23	22	20	18	14	6	178
	Máximo	18	12	21	27	31	30	31	31	28	29	25	23	31
CHAMEZA	Medio	6	8	11	19	22	23	23	22	20	19	16	9	200
	Máximo	14	19	18	26	29	30	29	29	27	27	25	18	30
EL MORRO	Medio	1	4	8	16	19	19	19	19	17	17	11	3	155
	Máximo	4	13	15	22	25	25	27	27	25	28	19	14	28
PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS EN mm														
PAJARITO		72	82	170	180	150	315	180	185	180	136	136	80	315
CHAMEZA		140	74	107	191	206	165	201	270	198	176	237	100	270
EL MORRO		35	90	100	137	160	152	125	134	110	185	118	75	185

Cuadro 3. Análisis de Frecuencia de Precipitación

PARAMETROS ESTADISTICOS Y ANALISIS DE FRECUENCIA DE LA PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

ESTACION	DISTRIBUCION	CODIGO	PARAMETROS ESTADISTICOS				PRECIPITACION MAX. 24 h. - DIFERENTES Tr años						
			n	Cs	Cv	Kr	2	2,33	5	10	20	50	100
1 YOPAL	NORMAL	3521002	36	0,46	0,25	3,1	109	114	131	143	153	164	172
2 EL MORRO	GUMBEL	3521001	20	1,1	0,17	5,0	124	128	142	154	166	181	192
3 PAJARITO	LOG-NORMAL	3519005	36	0,75	0,23	2,7	110	116	141	159	176	197	212
4 TAURAMENA	GUMBEL	3519502	19	0,93	0,36	5,2	103	111	141	166	190	221	245
5 AGUAZUL	GUMBEL	3519503	19	1,1	0,25	4,6	113	117	137	153	169	189	204
6 APTO. YOPAL	NORMAL	3521501	20	0,04	0,24	3,2	103	108	124	135	144	154	160
7 EL CARDON	GUMBEL	3523501	22	1,2	0,2	5,8	56	58	66	72	79	87	93

n = NUMERO DE AÑOS
 Cs = COEFICIENTE DE ASIMETRIA
 Cv = COEFICIENTE DE VARIACION
 Kr = COEFICIENTE DE CURTOSIS

Cuadro 4. ETP en las Estaciones de la zona.

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL ETP. PENMAN - ESTACIONES DE LA ZONA

ESTACION	CODIGO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1. APTO. YOPAL	3521501	153	160	163	128	121	99	109	117	118	121	114	138	1544
2. AGUAZUL	3521503	180	214	219	187	182	169	180	171	165	170	149	189	2174
3. TAURAMENA	3519505	179	179	175	181	168	172	185	173	166	182	163	178	2101
4. CORINTO	3519505	87	88	190	92	88	81	81	93	89	90	84	81	1053
5. HDA. MARGARITAS	3512501	64	81	106	110	120	118	116	105	87	70	47	47	1069
6. GAVIOTAS	3401501	57	80	103	101	111	107	108	102	84	65	43	39	998
7. EL CARDON	3523501	61	58	66	62	62	55	58	62	63	65	59	58	729

Cuadro 5. ETP Estación Aeropuerto Yopal

CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL POR PENMAN - ESTACION AEROPUERTO YOPAL

PARAMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETP diaria	4,95	5,72	5,27	4,27	3,90	3,33	3,52	3,78	3,93	3,92	3,81	4,46
1 & década	49,82	52,84	56,02	45,26	41,82	34,13	35,45	38,58	39,06	40,61	37,32	43,81
2 & década	51,21	53,47	54,95	42,39	40,50	32,91	36,44	39,19	39,24	40,61	37,67	46,15
3 & década	52,29	53,96	52,46	40,55	38,67	32,82	37,38	39,53	39,52	40,20	39,18	48,16
ETP mensual	153,31	160,28	163,42	128,20	121,00	99,86	109,27	117,30	117,82	121,42	114,17	138,12
temperatura	27,60	28,10	27,90	26,50	25,50	24,70	24,60	25,20	25,50	25,70	25,90	26,70
Tens.Vapor	24,20	23,50	23,70	25,50	26,20	26,10	25,70	26,30	26,80	26,60	26,30	25,10
Bri. Solar	7,18	5,90	4,57	3,76	4,66	3,00	3,68	4,49	4,85	4,84	5,33	7,34
Vel. Viento	3,70	5,20	4,20	3,20	3,00	2,80	3,10	2,70	2,70	2,70	2,30	3,30

Evapotranspiracion anual total : 2101,63 (mm)

ETP : (MM) Temperatura : (xC) T, vapor : (mb)
 B, solar : (horas) V, viento : (m/s)

Cuadro 6. Balance Hídrico Método Palmer - Estación Yopal

BALANCE HIDRICO PROMEDIO DECADAL METODO DE PALMER - ESTACION AEROPUERTO YOPAL

NOMBRE	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
PREC	0,00	0,00	11,00	22,80	0,00	0,00	54,90	38,40	27,30	55,00	128,00	37,00	60,20	75,00	112,50	37,90	137,00	80,10
ETP	49,82	51,21	52,29	52,84	53,47	53,96	56,02	54,95	52,46	45,26	42,39	40,55	41,82	40,50	38,67	34,13	32,91	32,82
ALMS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,74	20,00	16,45	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
ALMP	7,23	3,53	2,07	1,45	0,67	0,31	0,31	0,26	0,19	0,19	73,54	73,54	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
ALMT	7,23	3,53	2,07	1,45	0,67	0,31	0,31	0,26	0,19	9,93	93,54	89,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
ET	7,18	3,70	12,46	23,42	0,77	0,36	54,90	38,45	27,36	45,26	42,39	40,55	41,82	40,50	38,67	34,13	32,91	32,82
PERP	7,18	3,70	1,84	1,09	0,77	0,36	0,17	0,17	0,13	0,09	9,80	35,11	35,11	36,40	34,94	31,30	30,33	30,26
PER	7,18	3,70	1,48	0,62	0,77	0,36	0,00	0,05	0,06	0,00	0,00	3,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ESC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,37	34,50	73,83	3,77	104,09	47,28
DEF	42,64	47,50	39,83	29,42	52,70	53,60	1,12	18,50	25,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
R	0,14	0,07	0,24	0,44	0,01	0,01	0,98	0,70	0,52	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
G	0,14	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,23	0,43	0,87	0,84	0,90	0,90	0,92	0,92	0,92

NOMBRE	JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
PREC	103,10	137,70	153,50	33,80	87,50	46,50	91,50	225,70	101,10	185,80	125,90	55,30	26,20	38,90	37,00	0,00	0,00	0,00
ETP	35,45	36,44	37,38	38,58	39,19	39,53	39,06	39,24	39,52	40,61	40,61	40,20	37,32	37,67	39,18	43,81	46,15	48,16
ALMS	20,00	20,00	20,00	15,22	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	9,28	10,51	8,33	0,00	0,00	0,00
ALMP	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	51,61	27,80	14,41
ALMT	100,00	100,00	100,00	95,22	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	89,28	90,51	88,33	51,61	27,80	14,41
ET	35,45	36,44	37,38	38,58	39,19	39,53	39,06	39,24	39,52	40,61	40,61	40,20	37,32	37,67	39,18	36,71	23,82	13,39
PERP	32,36	33,15	33,91	34,86	34,40	35,62	35,25	35,39	35,62	36,49	36,48	36,16	33,86	31,89	33,44	36,71	23,82	13,39
PER	0,00	0,00	0,00	4,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,72	0,00	2,18	36,71	23,82	13,39
ESC	67,65	101,26	118,12	0,00	43,53	6,97	52,44	186,46	61,58	145,19	85,29	15,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DEF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,10	22,32	34,77
R	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,84	0,52	0,28
G	0,91	0,91	0,91	0,90	0,88	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,91	0,85	0,85	0,84	0,52	0,28

Cuadro 7. Clasificación Climática de la Zona

CLASIFICACION CLIMATICA DE LA ZONA - METODO DE THORNTHWAITE

ESTACION	CODIGO	ETP (mm)	P (mm)	Ih	Im	TIPO CLIMA
1. AEROPUERTO YOPAL	3521501	1544	2302	49,1	78,6	Húmedo III, Megatérmico pequeña a ninguna falta de agua.
2. AGUAZUL	3521503	2174	2725	25,3	40,5	Húmedo II, Megatérmico pequeña a ninguna falta de agua.
3. TAURAMENA	3519505	2101	3013	43,4	69,4	Húmedo III, Megatérmico pequeña a ninguna falta de agua.
4. CORINTO	3512501	1053	2833	169	270	Perhúmedo, Megatérmico IV, pequeña a ninguna falta de agua.
5. HDA. MARGARITAS	3512501	1069	2106	97	155	Perhúmedo, Megatérmico IV, pequeña a ninguna falta de agua.
6. GAVIOTAS	3401501	998	2692	170	272	Perhúmedo, Megatérmico III, pequeña a ninguna falta de agua.
7. EL CARDON	3523501	729	2594	256	410	Perhúmedo, Megatérmico II, pequeña a ninguna falta de agua.

ANEXO C.
PLANOS

ANEXO D.
FIGURAS

Figura 1. Distribución de la lluvia con la altura en estaciones de la zona.

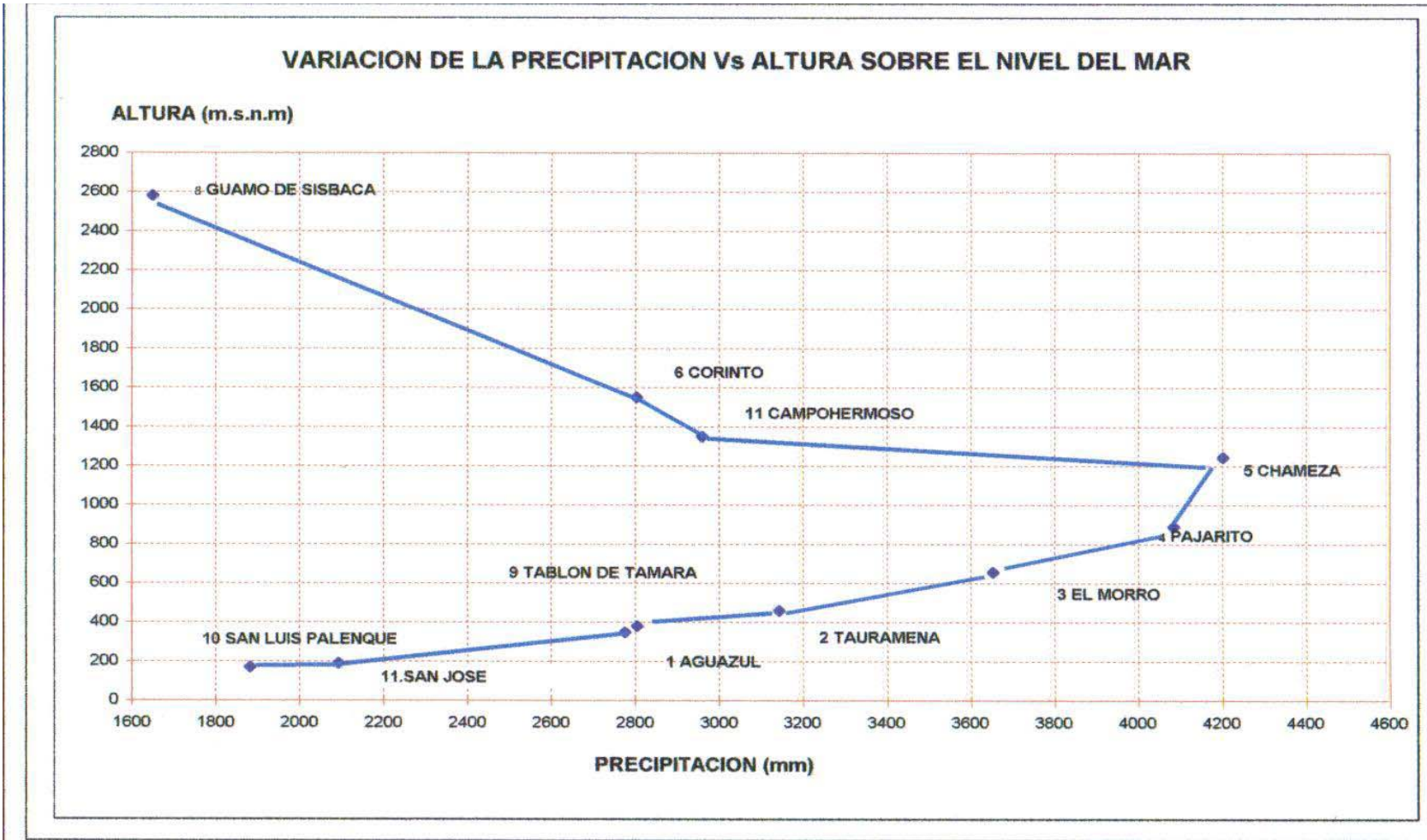


Figura 2. Variación del cambio de movimiento del río en diferentes temporadas.

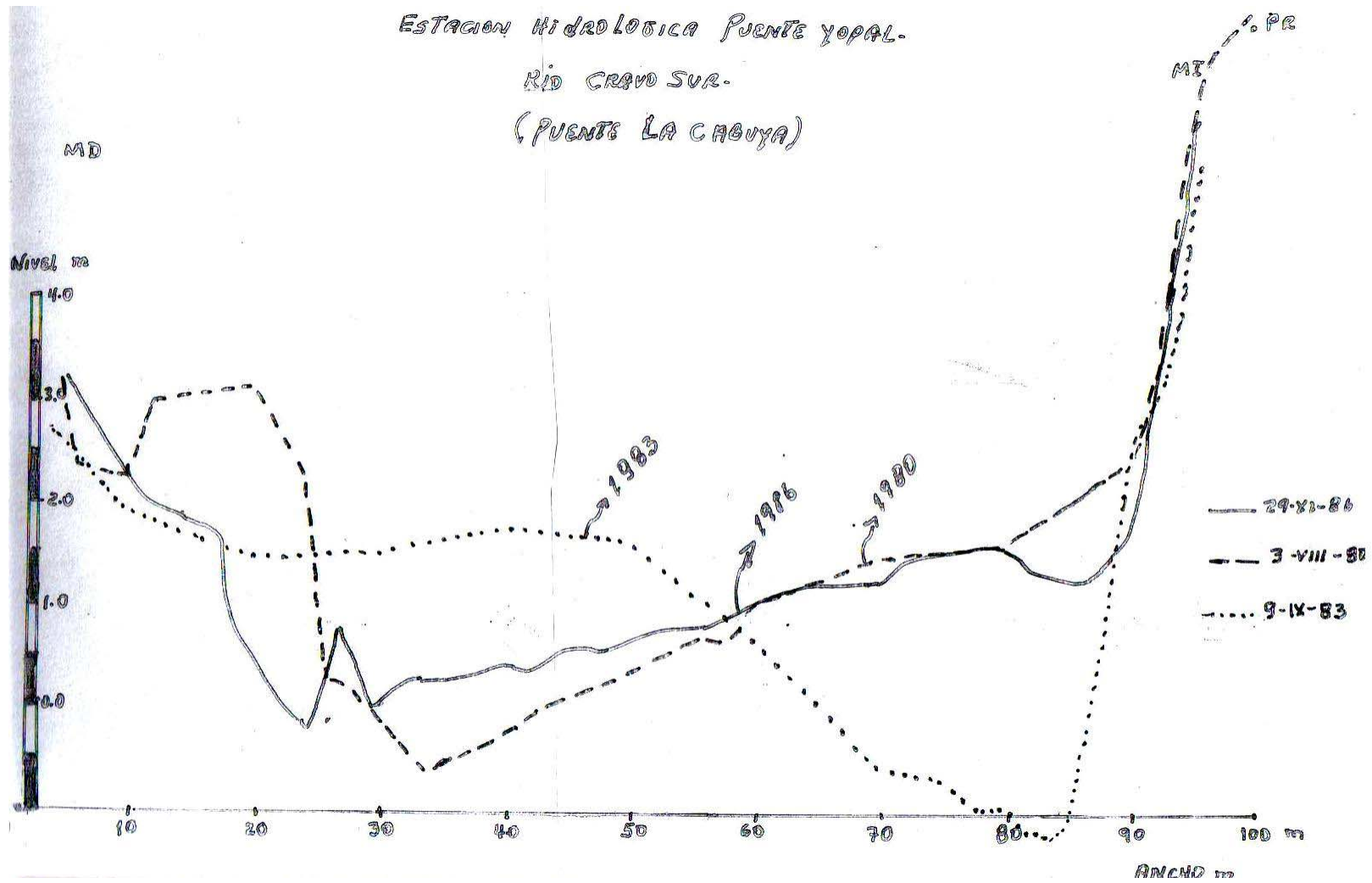
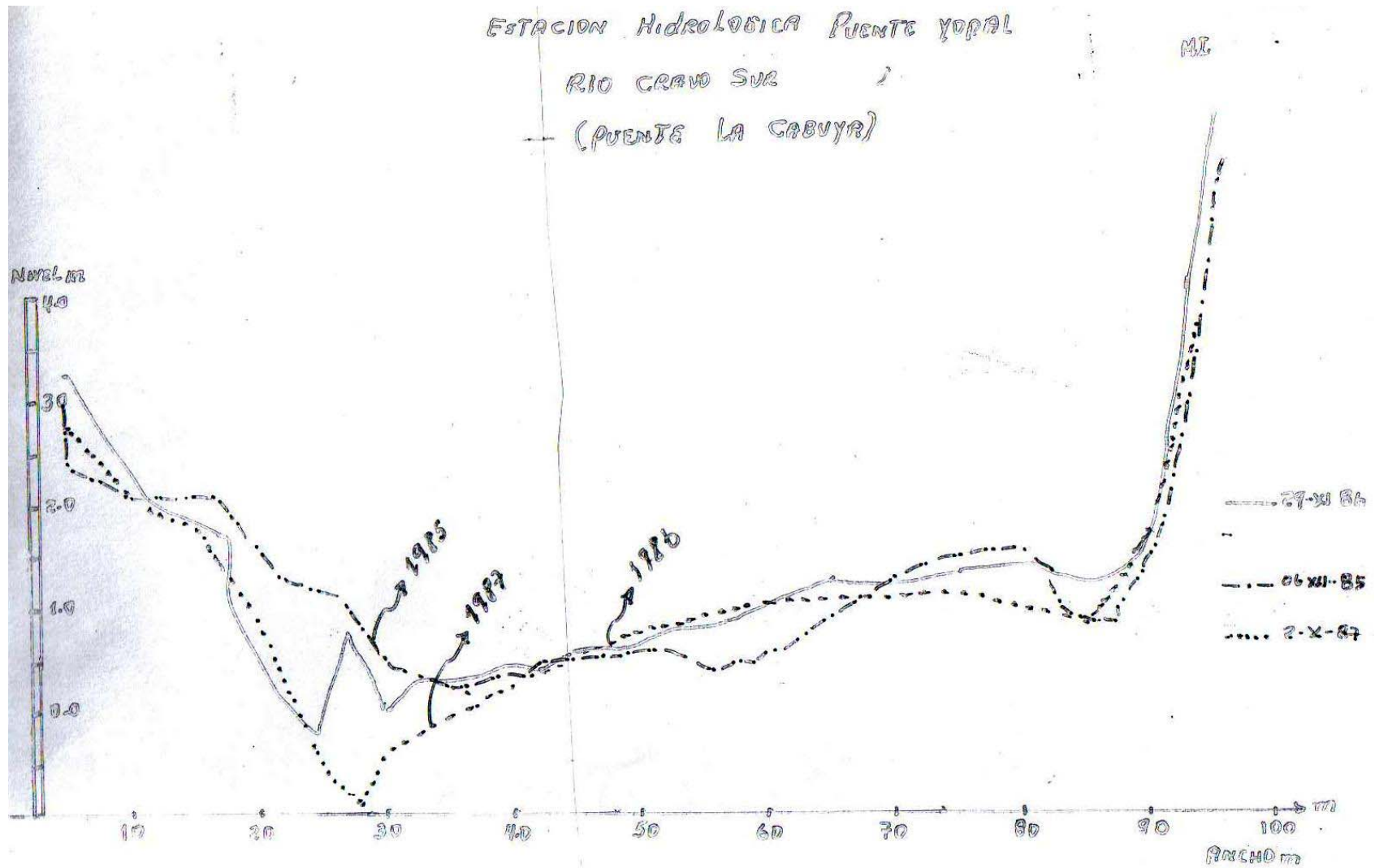
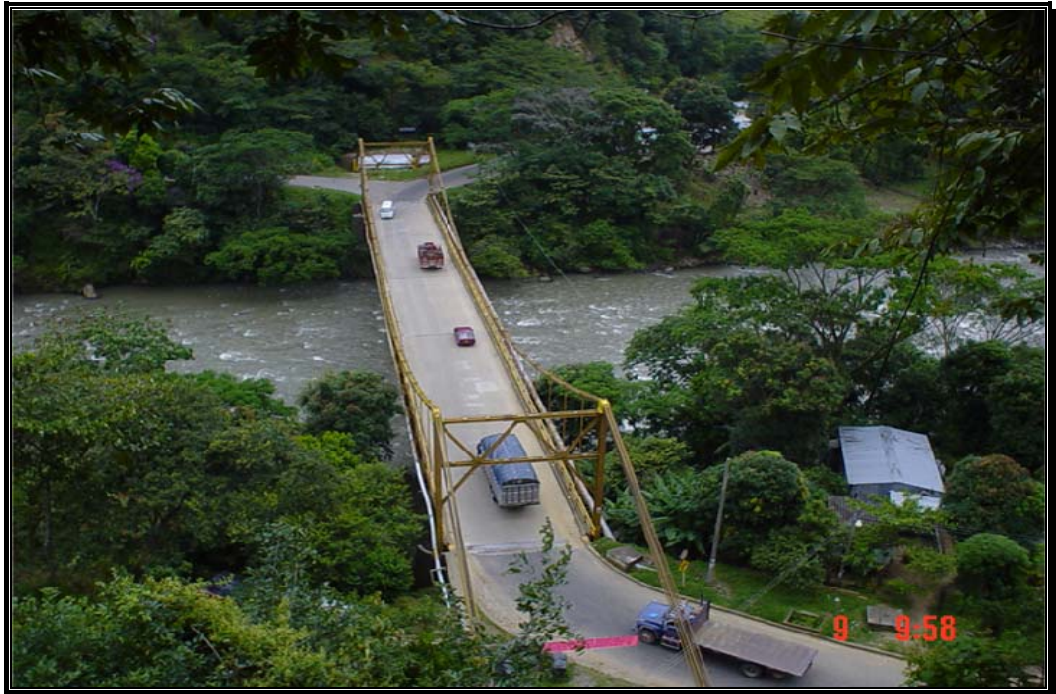


Figura 3. Distribución multianual del movimiento del río Cravo Sur



ANEXO E.
FOTOGRAFÍAS

ANEXO E. FOTOGRAFIAS



Fotografía 1. Puente La Cabuya – Río Cravo Sur.



Fotografía 2. Estación limnigráfica (LG) Puente Yopal, ubicada junto al puente La Cabuya.



Fotografía 3. Zona cordillerana en la cuenca del río Cravo Sur.



Fotografía 4. Zona de sabana en la cuenca del río Cravo Sur.



Fotografía 5. Acumulación de material del río, gravas y árboles en el tramo en estudio.



Fotografía 6. Sectores con alta velocidad, frente a Yopal.



Fotografía 7. Material transportado por arrastre de fondo en el río Cravo Sur.



Fotografía 8. Material transportado por el Río Cravo sur en forma de suspensión.



Fotografía 9. Barras en el cauce del río Cravo sur frente a la ciudad de Yopal.



Fotografía 10. Altura de 6 a 8 metros en el talud del Río Cravo Sur, frente a Yopal.



Fotografía 11. Caño No. 1 Barra del parque La Iguana. Brazuelo abandonado del Río Cravo Sur.



Fotografía 12. Talud en la barra del Parque La Iguana y Caño 2 Río Cravo Sur



Fotografía 13. Material grueso en las barras del Río Cravo Sur.



Fotografía 14. Material de arenas y pequeñas gravas en barras del Río Cravo Sur.



Fotografía 15. Recta que forma el Río Cravo Sur antes de la barra del parque la Iguana.



Fotografía 16. Barras y brazuelos en el cauce del río Cravo Sur.



Fotografía 17. Lentejones o barras alargadas en el Río Cravo Sur.



Fotografía 18. Árboles caídos y orillas erodadas. Río Cravo Sur.



Fotografía 19. Erosión en las orillas de las barras. Río Cravo Sur frente a Yopal.



Fotografía 20. Agosto 07 de 2004, el río se recuesta hacia la derecha para tratar de ingresar al parque de La Iguana.



Fotografía 21. Sobretamaños de material del río colocados junto al talud para proteger la banca de la vía a Pore.



Fotografía 22. Sección de aforos en la estación Puente Yopal. El flujo mayor del río se encuentra recostado hacia la margen derecha.



Fotografía 23. Barra artificial con material del lecho y acumulada en la parte central entre el oleoducto de Perenco y la barra de La Iguana.



Fotografía 24. Brazuelo en la margen izquierda del río Cravo Sur – Mayo de 2004.



Fotografía 25. Dique con material grueso y sobretamaños para cerrar el brazuelo de la margen derecha donde se colocó la barra artificial.



Fotografía 26. Flujo en gran parte concentrado hacia la base del talud de la margen izquierda junto al sitio crítico de la vía a Pore.



Fotografía 27. Jarillón con bolsas de arena y gravas para la entrada de agua al canal El Remanso.



Fotografía 28. Canal El Remanso con un muro en concreto para la protección en su talud.



Fotografía 29. Gaviones para proteger el talud del canal El Remanso.



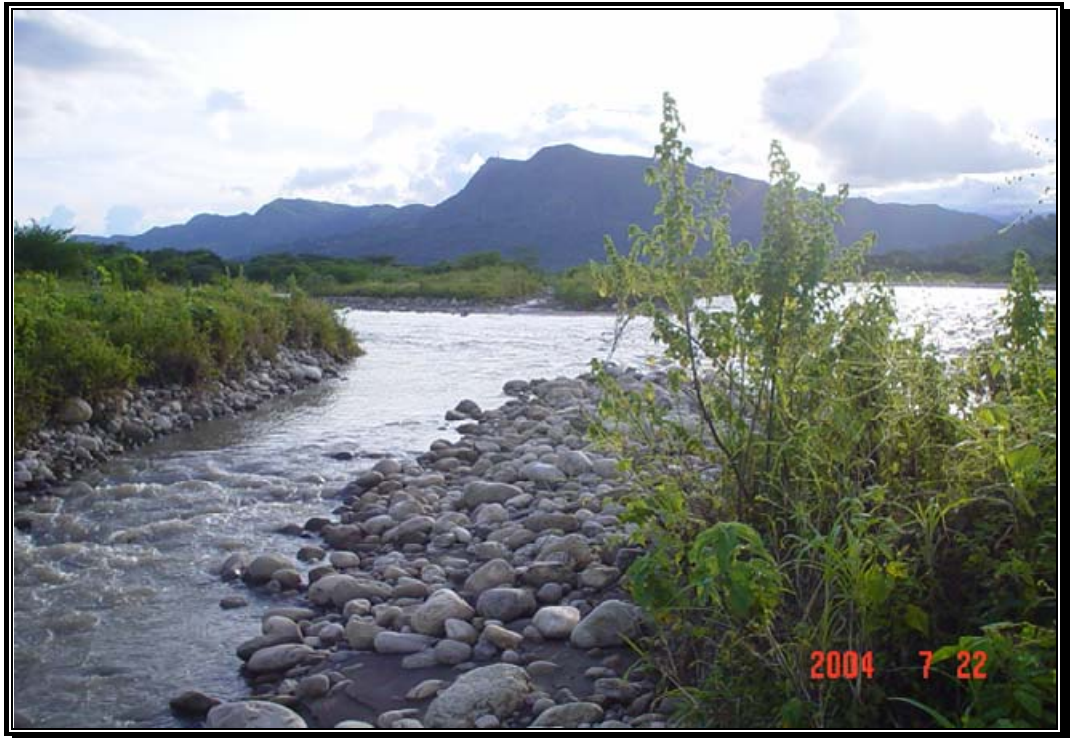
Fotografía 30. Estructuras en el canal El Remanso: alcantarilla circular.



Fotografía 31. Intercepción del canal El Remanso con la vía a Siribana.



Fotografía 32. Estructura de control o compuerta a la entrada del canal de Matepantano.



Fotografía 33. Entrada al canal de Matepantano y donde se une la barra No. 17 y la No. 20.



Fotografía 34. Trabajo de adecuación para derivar agua del río en las barras para el canal de Matepantano. La línea recta corresponde al canal dentro de las barras del río.



Fotografía 35. Tramo puente La Cabuya – Parque de La Iguana.



Fotografía 36. Huella máxima de una creciente en la boca de entrada del brazuelo que comunica con la urbanización La Arboleda.



Fotografía 37. Brazuelo derecho que puede llegar hasta la urbanización La Arboleda.



Fotografía 38. Talud de la urbanización La Casa del Río en Octubre de 2003.



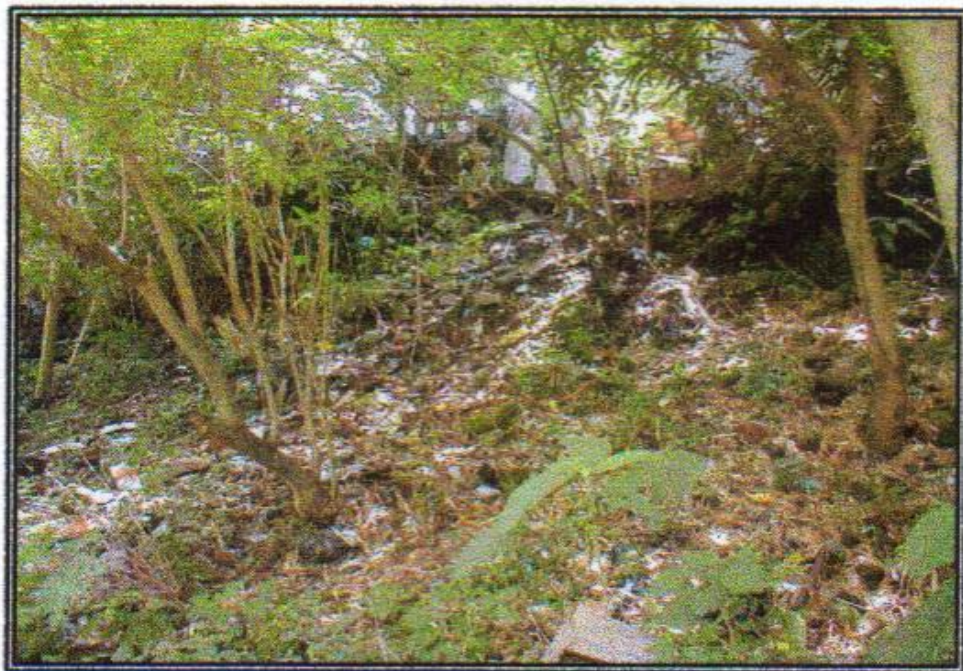
Fotografía 39. Talud de la urbanización La Casa del Río en Agosto de 2004.



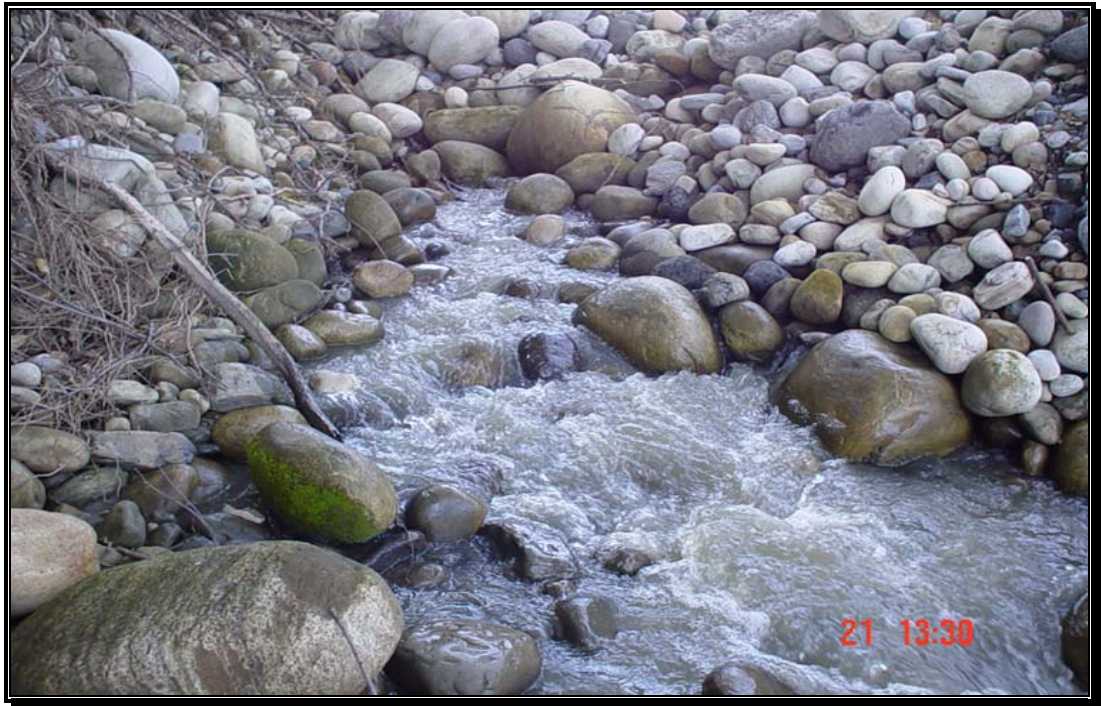
Fotografía 40. Zona Geotécnica 1



Fotografía 41. Talud de la margen derecha del río, que manifiesta fuertes niveles de agresión, cuya evolución se presenta en desprendimiento y caída de material.



Fotografía 42. Basuras y desechos que pueden ocasionar desestabilización del talud.



Fotografía 43. Filtración por la base del dique construido con material del río para defender la urbanización La Casa del Río en el mes de mayo - 2004.



Fotografía 44. Dique de material suelto del río – vista hacia aguas abajo.



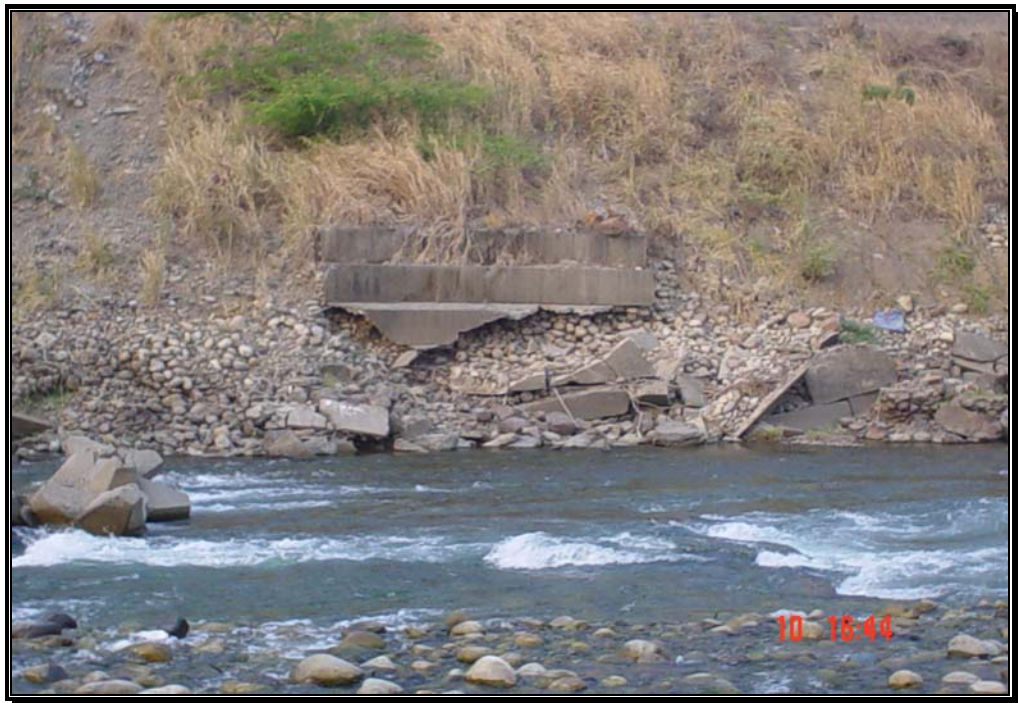
Fotografía 45. Restos del dique construido con material del río para defender la urbanización La Casa del Río después de las crecientes de mayo - 2004.



Fotografía 46. Taludes que muestran bajos grados de inestabilidad. Sin embargo se aprecian algunas zonas con leves manifestaciones de socavación.



Fotografía 47. Bocatoma para la entrada de agua en época de verano a los caños del parque La Iguana. Jarillón que desvía las aguas al interior del canal.



Fotografía 48. Gavión en concreto construido en el año de 1998 para proteger la banca de la vía Yopal - Pore. Destruído por la fuerza de la corriente, al igual que los hexápodos.



Fotografía 49. Gavión en malla con material de río sobre la margen izquierda para proteger la vía Yopal - Pore



Fotografía 50. Gavión en concreto construido en el año 2000 para proteger la orilla izquierda. Se encuentra destruido al igual que los hexapodos que no fueron amarrados entre sí.



Fotografía 51. Espolones con hexápodos en la base del talud de la margen izquierda, frente a la barra No. 1.



Fotografía 52. Hilera de hexápodos en la base del talud de la margen izquierda, entre la barra No. 1 y No. 2.



Fotografía 53. Puente sobre el caño No. 1 dentro de la barra del Parque de La Iguana.



Fotografía 54. Puentes en guadua construidos sobre el caño No. 2, dentro de la barra del parque La Iguana.



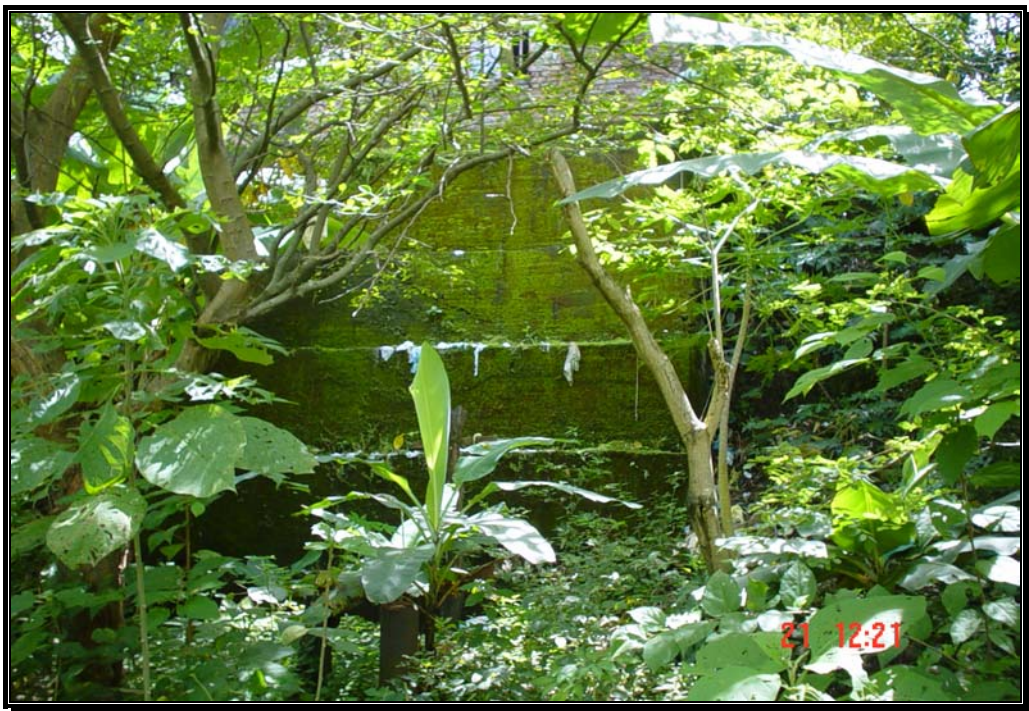
Fotografía 55. Caminos peatonales en arena y tierra construidos dentro de la barra del parque La Iguana.



Fotografía 56. Obras de drenaje en el talud de la margen derecha.



Fotografía 57. Protección del talud frente al parque de La Iguana en cemento y piedra.



Fotografía 58. Obra de protección del talud de la margen derecha en cemento.



Fotografía 59. Obra de protección en piedra incrustada y algo de cemento frete al Parque de La Iguana.



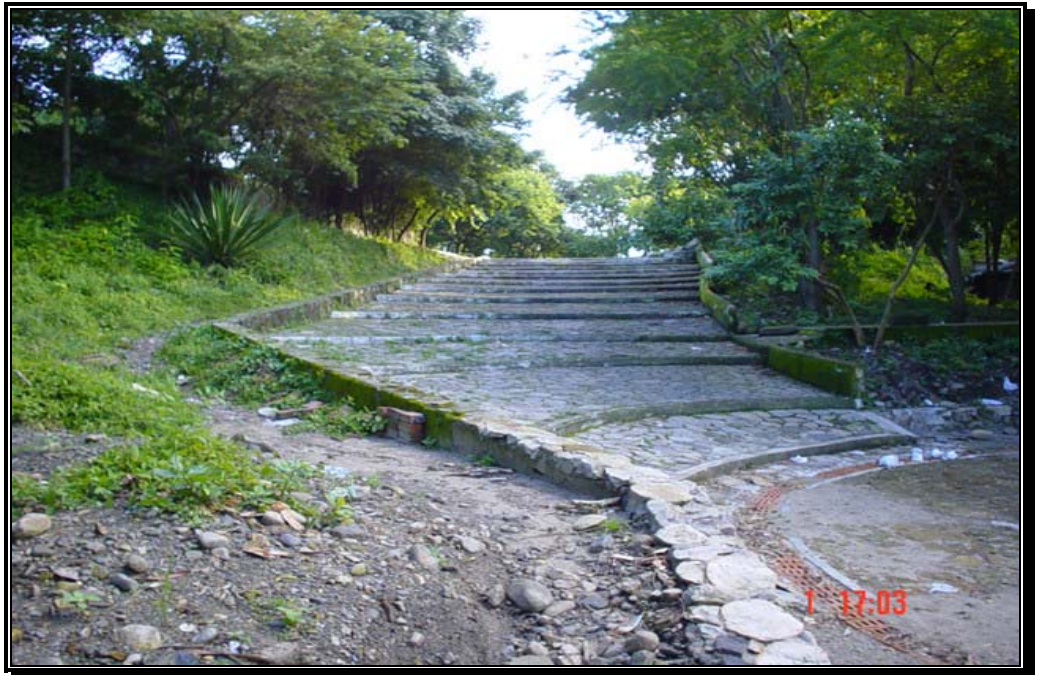
Fotografía 60. Canales de drenaje en piedra concreto para evacuar las aguas lluvias de Yopal y construidos en el Parque de La Iguana.



Fotografía 61. Canal en tierra para evacuar las aguas lluvias de Yopal hasta el río Cravo Sur.



Fotografía 62. Dique de material para proteger las barras del parque de La Iguana, ubicado cerca del sitio de bocatoma.



Fotografía 63. Escaleras para llegar al Parque de La Iguana.



Fotografía 64. Jarillón y ancho del canal de entrada a la bocatoma de Matepantano.



Fotografía 65. Camino peatonal para las caminatas dentro del parque de La Iguana.



Fotografía 66. Jarillón para permitir captar el agua al canal y Bocatoma de El Remanso.



**Fotografía 67. Gavión para proteger la entrada al canal de riego de El Remanso-
margen derecha del talud del río Cravo Sur.**



**Fotografía 68. Gavión en concreto construido para proteger la margen izquierda del
río Cravo Sur frente a la barra No. 3.**



Fotografía 69. Hilera de hexápodos de gran tamaño colocados para proteger la margen derecha aguas abajo del canal El Remanso.



Fotografía 70. Hexápodos en forma de espolones aguas abajo del canal El Remanso.



Fotografía 71. Restos de un dique con material suelto construido en una barra cerca al canal El Remanso.



Fotografía 72. Diques con material del río aguas arriba de la urbanización La Casa del Río, colocado sobre la barra No. 3



Fotografía 73. Estructura de control a la entrada del canal de Matepantano.



Fotografía 74. Tipo de compuertas utilizadas la cual se encuentra en el canal de Márquez.



Fotografía 75. Canal recto a través de la barra No. 17 para llevar aguas a la bocatoma del canal de Matepantano.



Fotografía 76. Canal recto que une las barras No 17 y la No. 20. Diques con material suelto del río para formar los canales, con una altura de dos a tres metros aproximadamente.



Fotografía 77. Jarillón con material del río para la entrada de agua al canal de Márquez.



Fotografía 78. Estructura para la salida de agua por exceso de agua junto a la compuerta del canal de Matepantano.



Fotografía 79. Dique para proteger el Parque La Iguana. Obra construida en Aguazul.



Fotografía 80. Dique con colchón reno por una de las caras y grandes bloques de protección para evitar la socavación.



Fotografía 81. Maquinaria especializada para el desarrollo de actividades de excavación y reconfiguración del lecho. Material relleno del dique.



Fotografía 82. Maquinaria especializada para las obras y mallas especiales para el colchón reno.



Fotografía 83. Punto de inicio de construcción del dique.



Fotografía 84. Punto final de construcción del dique.



Fotografía 85. Tramo de la barra del parque La Iguana donde se pretende construir el dique de protección.



Fotografía 86. Canal y bocatoma de entrada de agua al parque La Iguana. Sitio donde se construirá un pontón bajo el dique.



Fotografía 87. Tubería que se puede colocar bajo el dique y canal en piedra concreto en la parte posterior del dique de protección.



Fotografía 88. Pontón que se puede construir bajo el dique de protección.



Fotografía 89. Tramo inicial del dique. Estructura de unión al talud mediante un recubrimiento en cemento.



Fotografía 90. Material para rellenar el colchón reno, geotextil y su tejido.



Fotografía 91. Forma de amarre de las cajas del colchón reno colocado sobre el dique de protección.



Fotografía 92. Proceso de apisonamiento de las capas del dique.



Fotografía 93. Material seleccionado con maquinaria o de forma manual para el colchón reno.



Fotografía 94. Geotextil bajo el colchón reno y sobre el dique.



Fotografía 95. Geotextil y bloques de protección del dique contra la socavación.



Fotografía 96. Talud de la urbanización La Casa del Río con la tubería de drenaje caída sobre e cauce después de la creciete de agosto de 2004.



Fotografía 97. Casa en la urbanización La Casa del Río al borde del talud durante la creciente de agosto de 2004.



Fotografía 98. Colocación de material conformado por sobretamaños en la base del talud de La Casa del Río.



Fotografía 99. Sobretamaños en la base del talud para apartar el flujo al paso de la creciente de agosto de 2004.



Fotografía 100. Material recostado sobre el talud en la Casa del Río y hexápodos para reforzar e impedir el golpe del flujo en la base de la orilla derecha.



Fotografía 101. Excavación de material en el lecho del río para desviarlo hacia la parte central y quitar fuerza al caudal del brazo derecho.



Fotografía 102. Dique construido en la boca de entrada al brazo derecho para proteger el talud de la urbanización La Casa del Río.



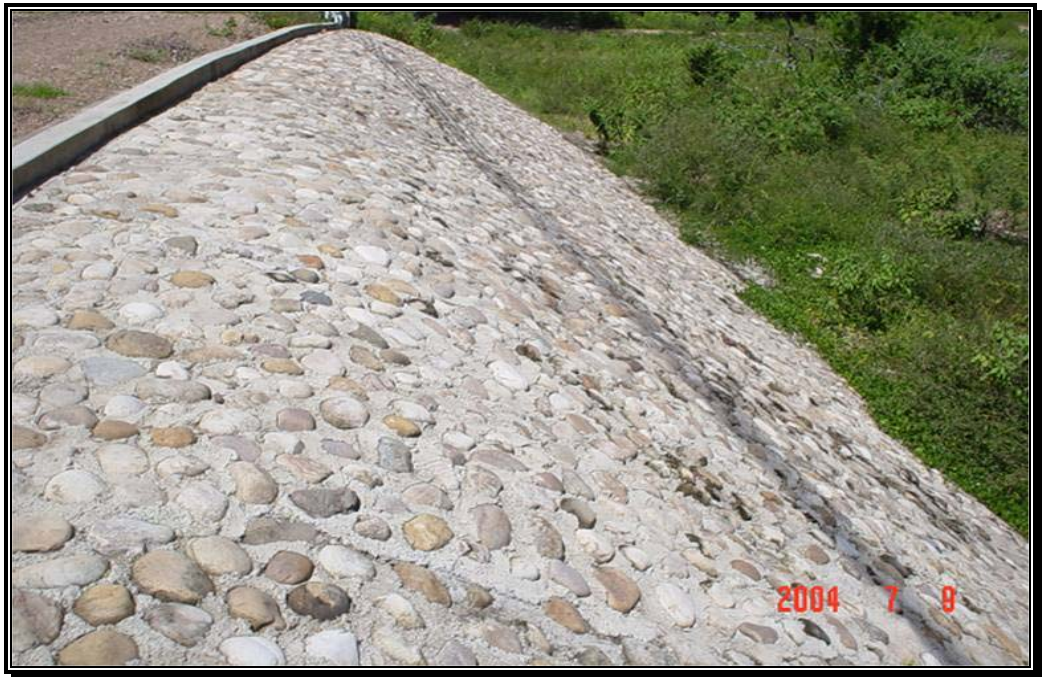
Fotografía 103. Gavión colapsado y con desalojo de material en el río Pauto.



Fotografía 104. Lugar de construcción de las compuertas para el sistema canales.



Fotografía 105. Canal en piedra pegada, recomendado para la conducción en el sistema de canales.



Fotografía 106. Dique en piedra pegada similar al diseño establecido de la Obra No. 2.



Fotografía 107. Boca de entrada del brazo derecho hacia la urbanización La Casa del Río, donde se construiría el dique y espigón de la Obra No. 3 – vista aguas abajo.



Fotografía 108. Boca de entrada al brazo derecho donde se construiría la Obra No. 3 – vista aguas arriba.



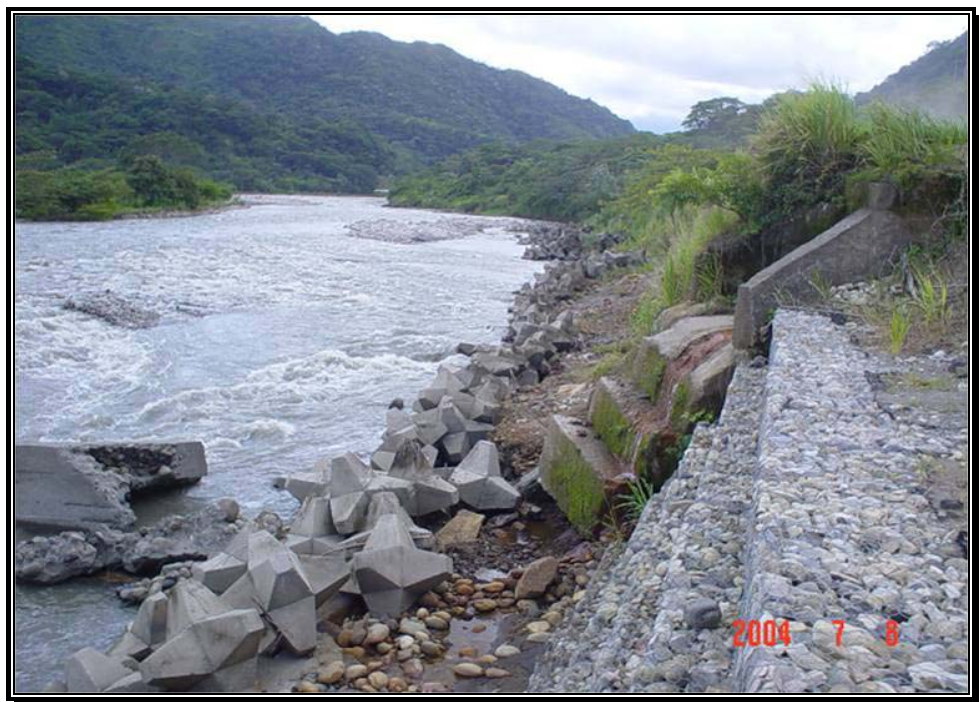
Fotografía 109. Anclajes metálicos para asegurar el colchón reno de la superficie del dique.



Fotografía 110. Colchón reno para proteger un talud. Propuesto en la Obra No. 4.



Fotografía 111. Hexápodos de gran tamaño colocados en la orilla derecha para proteger un sector cercano a la urbanización La Arboleda.



Fotografía 112. Hexápodos colocados por Invias para proteger la vía a Pore.

ANEXO F. INFORME
DE ENSAYOS DE
LABORATORIO



CIDEC INGENIERIA E.I. DA.
 Consultoría, Interventoría, Diseño, Estudio y Construcción

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

Título: Granulometría de: MATERIAL ENCONTRADO EN TERRAPLEN
 SUBBASE GRANULAR
 BASE GRANULAR Código de control: _____

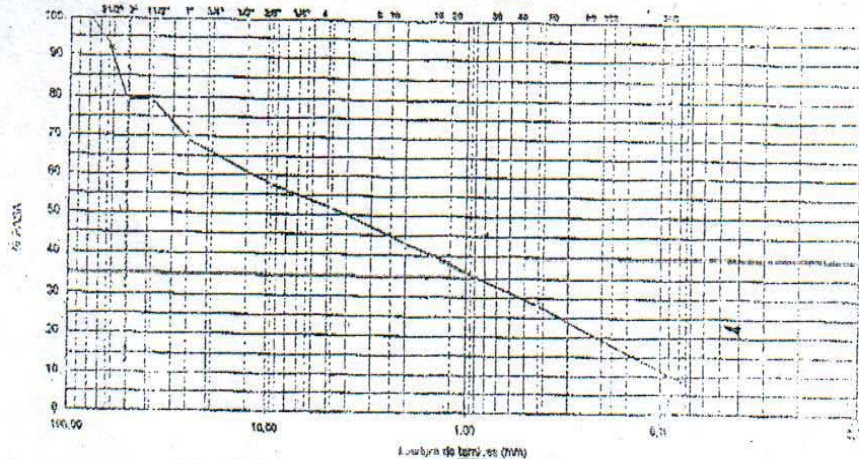
Proyecto: EXPLORACIÓN DE CAMPO PARA LAS MARGENES DEL RÍO CRAVO SUR Fecha: 21-09-08
 Localización: TRINCHERA PARTE POSTERIOR HOSPITAL YOPAL Profundidad: 0,70 mts
 Descripción: MATERIAL GRANULAR, BLOQUES CANTOS Y BOLOS ENVUELTOS EN MATRIZ ARENOSA DE COLOR GRIS Trincheras No. 01

PESO SECO ANTES DE LAVAR (Gr)	2.949,5
PESO SECO DESPUÉS DE LAVAR (Gr)	2.770,0
PASA 200 POR LAVADO (Gr)	179,5
PESO DESPUÉS DE TAMIZAR (Gr)	2.592,8
PASA 200 POR TAMIZADO (Gr)	170,4

HUMEDAD NATURAL (%)	0,0015
LÍMITE LÍQUIDO (%)	ML
LÍMITE PLÁSTICO (%)	NP
CLASIFICACIÓN SUCS	GW

TAMIZ	PESO RET	% RET	% RET ACUM	% PASA
2 1/2"	200,0	6,8	6,8	93
2"	412,5	14,0	20,8	79,2
1 1/2"	0,0	0,0	20,8	79,2
1"	300,8	10,2	31,0	69,0
3/8"	341,7	11,6	42,5	57,5
4"	174,9	5,9	48,5	51,5
10"	250,7	8,5	57,0	43,0
40"	446,5	15,1	72,1	27,9
200"	562,9	19,8	91,9	8,1
PASA 200	239,5	8,1	100,0	0,0

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: C_u 122,2 C_w 0,0
 Depósitos ahuecados confirmados por partículas de 4" de tamaño máximo, verificados presuros en una matriz arenosa y de color gris claro.

ELABORADA NICOLÁS RIVERA P. LABORATORISTA INGENIERÍA Y FÍSICA	REVISADA GUSTAVO A. PERDOMO B. JEFE DE LABORATORIO INGENIERÍA Y FÍSICA	AUSENTE CIDEC INGENIERIA E.I. DA. TEL. 844.002.984-7 CARRANZA 2008 CONCEPCIÓN DE LA BARRERA
--	---	---



CIDEC INGENIERIA LTDA.
 Consultoría, Interventoría, Diseño, Estudio y Construcción

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

Título: Granulometría de: MATERIAL EXISTENTE SUBBASE GRANULAR BASE GRANULAR

Código de control No. _____

Proyecto: EXPLORACIÓN DE CUERPO PARA LAS MARGENES DEL RIO CRAVO SUR. Fecha: 21-nov-03

Localización: AFOUR MARGEN DERECHA, AGUAS ABAJO, RIO CRAVO SUR. Profundidad: 1,10 mts.

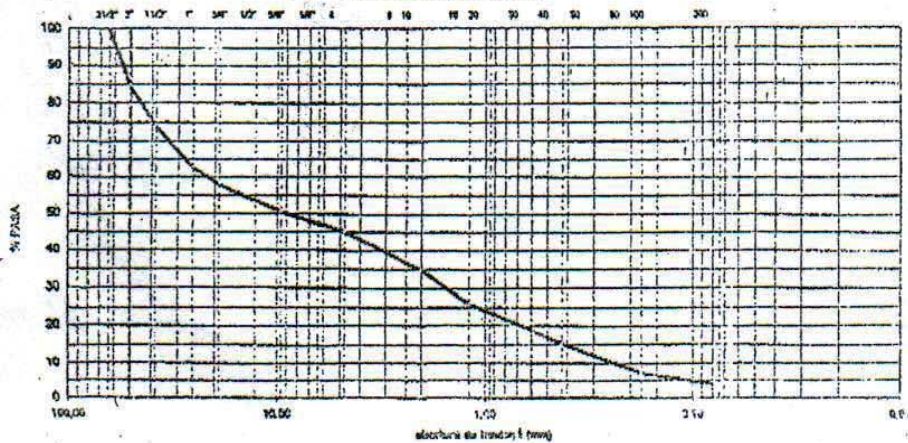
Descripción: CANTOS Y BOLOS DE COLOR GRIS, ENVUELTOS EN MATRIZ ARENOSA DEL MISMO COLOR. Muestra No. 01

PESO SECO ANTES DE LAVAR (Gr)	2.373,6
PESO SECO DESPUÉS DE LAVAR (Gr)	2.282,3
PASA 200 POR LAVADO (Gr)	91,3
PESO DE TRUES DE TANIZAR (Gr)	2.012,5
PASA 200 POR TANIZADO (Gr)	269,8

HUMEDAD NATURAL (%)	9,6%
LÍMITE LÍQUIDO (%)	NL
LÍMITE PLÁSTICO (%)	NP
CLASIFICACIÓN SUCS	GW

TAMIZ	PESO RET.	% RET.	% PASA	% PASA
2 1/2"	0,0	0,0	0,0	100
2"	371,4	15,6	15,6	84,4
1 1/2"	251,0	10,6	26,2	73,8
1"	274,3	11,6	37,8	62,2
3/4"	107,3	4,5	42,3	57,7
3/8"	173,0	7,3	49,6	50,4
4	131,9	5,6	55,1	44,9
10	242,0	10,2	65,3	34,7
20	210,0	8,8	74,2	25,8
40	251,6	10,6	84,8	15,2
80	198,0	8,3	93,0	7,0
200	83,8	3,5	96,6	3,4
PASA 200	81,3	3,4	100,0	

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: Curv 73,3 Cuv 0,4

Depósitos elevales conformados por partículas de 4" de tamaño máximo, variables presentes en una matriz arenosa de tal y gris claro

ELABORA MIGUEL E. RIVERA P. MARIO ZABALA DIAZ LABORATORISTA	REVISÓ GUSTAVO A. PARRA MORA COORD. GUSTAVO A. PARRA MORA JEFE DE LABORATORIO	CIDEC INGENIERIA LTDA. NIT. 844.002.691-7 Bosque de la Cruz 19 A 27-95 GERENTE
---	---	--



CIDEC INGENIERIA LTDA.

Consultoría, Interventoría, Diseño, Estudio y Construcción

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

Título: **Relación Densidad vs Humedad (PROCTOR)**

Código de control (No.)

Proyecto: **EXPLORACIÓN DE CAMPO PARA LAS MÁRGENES DEL RIO CRAVO SUR.**

Fecha: **21/11/92**

Localización: **APIQUE MARGEN DERECHA, AGUAS ABAJO, RIO CRAVO SUR**

Descripción: **CANTOS Y BOLOS DE COLOR GRIS ENVUELTOS EN MATRIZ ARENOSA DEL MISMO COLOR.**

Procedimiento: **1.002**

COMPACTACIÓN (ASTM D 698-91)

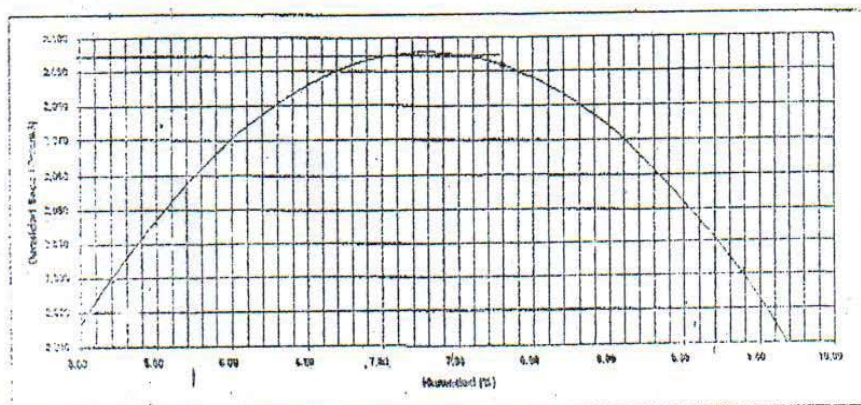
BURETA No.	01
PROFUNDIDAD:	metros

DATOS		
Cilindro N°	02	-
Mortiseo N°	02	-
Peso Molde	1.813	Gr
Peso martillo (Pm)	2,9	Kg
Volumen molde (Vm)	943,2	cm ³
Altura de caída (Hc)	30,50	cm
Numero de capas (n)	3	-
Golpes por capa (N)	21	-
Energía de compactación	4,53	Kg-cm/cap

Especimen N°	Bolos + Sueto húmedo Gr	Sueto Húmedo Gr	Humedad				Peso estado seco Gr	Peso volumétrico seco (gr)
			P1 (gr)	P2 (gr)	P3 (gr)	W%		
1	3.528	2.014	120,2	120,7	37,4	6,20	1.914,0	2.029
2	3.739	2.127	158,8	150,1	37,8	7,80	1.972,6	2.081
3	3.891	2.079	134,8	126,1	36,4	9,70	1.094,7	2.009
4								

gr Optima	2.095	Kg/m ³
W Optima	7,3	%
gr 95% comp.		Kg/m ³
W 95% comp.		%

Clasificación: **S.U.C.3**



REVISADO MEGUEL E. RIVERA P. LABORATORISTA Nombre y Firma	REVISADO JOSE A. JUAN DOMO B. JEFE DE LABORATORIO Nombre y Firma	CIDEC INGENIERIA LTDA. NIT. 244.002.887-7 Calle 70 No. 67-45 Bucaramanga
---	--	--



SERVICIOS DE INGENIERIA LTDA.

NIT. 320.003.390-6

ESTUDIO PARA EL DISEÑO MURO DE PROTECCIÓN AL TALUD DE LAS VIVIENDAS UBICADAS EN LA MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR YOPAL - CASANARE

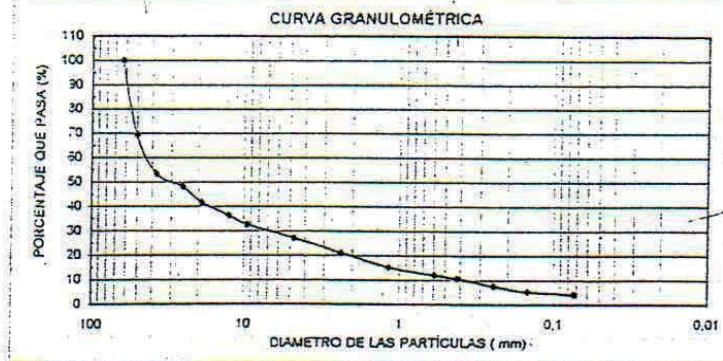
GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

PROYECTO: MURO DE PROTECCIÓN
 LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR, YOPAL - CASANARE
 CLIENTE: GOBERNACIÓN DE CASANARE
 TRINCHERA: 1 MUESTRA: 1 PROFUNDIDAD (m): 0,50

DESCRIPCION: Limo arenoso organico color café con presencia de raíces y abundantes fragmentos redondeados a subredondeados de arenisca, tamaño gravas, bloques y cantos

Peso del platón (g):	78,7	Peso muestra sin lavar + platón (g):	1978,8
Peso muestra lavada + platón (g):	1901,5	Peso muestra sin lavar (g):	1899,9
Peso muestra lavada (g):	1822,8	Peso de finos (g):	77,1

Tamiz	abertura	W ret-plate	Wret	corr	Wcorr	porcentaje retenido	% que pasa
#	mm	g	g	g	g	%	que pasa
2 1/2	53,5	78,70	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,8	859,90	581,20	2,06	583,26	30,70	69,30
1 1/2	38,1	379,90	301,20	1,07	302,27	15,91	53,39
1	25,4	180,80	102,10	0,36	102,46	5,39	48,00
3/4	19,1	200,60	121,90	0,43	122,33	6,44	41,56
1/2	12,7	176,90	98,20	0,35	98,55	5,19	36,37
3/8	9,53	151,80	73,10	0,26	73,36	3,86	32,51
4	4,75	182,40	103,70	0,37	104,07	5,48	27,03
3	2,36	192,20	113,50	0,40	113,90	6,00	21,04
16	1,18	191,90	113,2	0,40	113,60	5,98	15,06
30	0,6	134,30	55,6	0,20	55,80	2,94	12,12
40	0,425	109,20	30,5	0,11	30,61	1,61	10,51
60	0,25	134,70	56	0,20	56,20	2,96	7,55
100	0,149	121,40	42,7	0,15	42,85	2,26	5,30
200	0,074	100,70	22	0,08	22,08	1,16	4,14
Fondo		79,90	78,30	0,28	78,58	4,14	0,00
Suma			1893,2		1899,9	100,0	
Error (%):		0,4					



CLASIFICACIÓN	Cu	110	p # 4	27,03%	SUSC
	Cc	2,9	p # 200	4,14%	GW

Ing. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
 MP. 15202088348 BYC
 Jefe de Laboratorio

Observaciones. El suelo ensayado corresponde a una grava arenosa bien gradada



SIL SERVICIOS DE INGENIERIA LTDA.

NIT. 329.003.570-6

ESTUDIO PARA EL DISEÑO MURO DE PROTECCIÓN AL TALUD DE LAS VIVIENDAS UBICADAS EN LA MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR YOPAL - CASANARE

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

PROYECTO: MURO DE PROTECCIÓN
 LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR, YOPAL - CASANARE
 CLIENTE: GOBERNACIÓN DE CASANARE
 TRINCHERA: 1 MUESTRA: 3 PROFUNDIDAD (m): 2.00

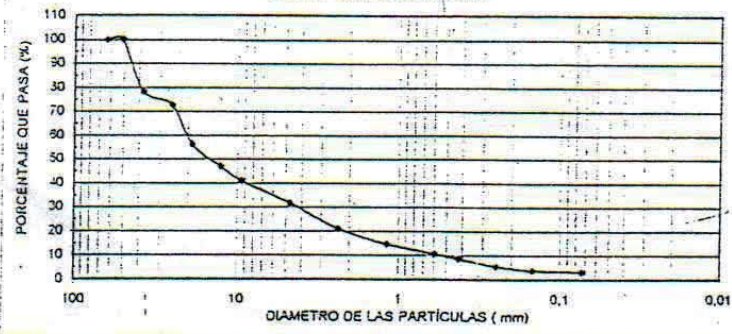
DESCRIPCIÓN: Material constituido por fragmentos de arenisca, tamaño grava, bloques y cantos, redondeados a subredondeados, embebidos en matriz areno limosa, color café

Peso del platón (g):	76,1	Peso muestra sin lavar + platón (g):	1817,9
Peso muestra lavada + platón (g):	1763,3	Peso muestra sin lavar (g):	1741,8
Peso muestra lavada (g):	1687,2	Peso de finos (g):	54,6

Tamiz	apertura	W ret+platón	Wret	corr	Wcorr	porcentaje retenido	% que pasa
#	mm	g	g	g	g	%	%
2 1/2	53,5	76,10	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,8	76,10	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2	38,1	452,90	376,80	1,17	377,97	21,70	78,30
1	25,4	173,60	97,50	0,30	97,80	5,62	72,69
3/4	19,1	362,10	286,00	0,89	286,89	16,47	56,21
1/2	12,7	238,00	161,90	0,50	162,40	9,32	46,89
3/8	9,53	181,50	105,40	0,33	105,73	6,07	40,82
4	4,75	236,90	160,80	0,50	161,30	9,26	31,56
3	2,36	259,90	183,80	0,57	184,37	10,59	20,98
16	1,18	187,60	111,50	0,35	111,85	6,42	14,55
30	0,6	143,30	57,20	0,21	57,41	3,87	10,68
40	0,425	113,30	37,20	0,12	37,32	2,14	8,54
60	0,25	131,60	55,50	0,17	55,67	3,20	5,35
100	0,149	102,60	26,50	0,08	26,58	1,53	3,82
200	0,074	86,70	10,60	0,03	10,63	0,61	3,21
Fondo		77,20	55,70	0,17	55,87	3,21	0,00
Suma			1736,4		1741,8	100,0	

Error (%): 0,31

CURVA GRANULOMÉTRICA



CLASIFICACIÓN	Cu	42 p # 4	31,56%	SUSC
	Cc	1,68 p # 200	3,21%	GW

Ing. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
 MP.15202088348 BYC
 Jefe de Laboratorio

Observaciones. El suelo ensayado corresponde a una grava arenosa bien gradada



SIL SERVICIOS DE INGENIERIA LTDA.

NIT. 320.003.390-6

ESTUDIO PARA EL DISEÑO MURO DE PROTECCIÓN AL TALUD DE LAS VIVIENDAS UBICADAS EN LA MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR YOPAL - CASANARE

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

PROYECTO: MURO DE PROTECCIÓN
LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR, YOPAL - CASANARE
CLIENTE: GOBERNACIÓN DE CASANARE
TRINCHERA: 1 **MUESTRA:** 4 **PROFUNDIDAD (m):** 2,80

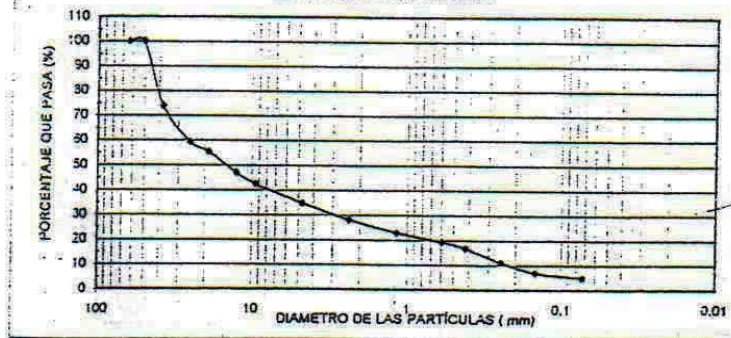
DESCRIPCIÓN: Material constituido por fragmentos de arenisca, tamaño grava, bloques y cantos, redondeados a subredondeados, embebidos en matriz areno limosa, color café

Peso del platón (g):	74,5	Peso muestra sin lavar + platón (g):	1603,8
Peso muestra lavada + platón (g):	1530,2	Peso muestra sin lavar (g):	1529,3
Peso muestra lavada (g):	1455,7	Peso de finos (g):	73,6

Tamiz	apertura	W ret+platón	Wret	corr	Wcorr	porcentaje retenido	% que pasa
#	mm	g	g	g	g	%	%
2 1/2	63,5	74,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,8	74,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2	38,1	468,90	394,40	0,98	395,38	25,85	74,15
1	25,4	300,20	225,70	0,56	226,26	14,80	59,35
3/4	19,1	136,20	61,70	0,15	61,85	4,04	55,31
1/2	12,7	200,80	126,30	0,31	126,61	8,28	47,03
3/8	9,53	144,90	70,40	0,18	70,58	4,61	42,41
4	4,75	191,30	116,80	0,29	117,09	7,66	34,76
8	2,36	179,20	104,70	0,26	104,96	5,86	27,89
16	1,18	150,30	75,80	0,19	75,99	4,97	22,92
30	0,6	129,30	54,80	0,14	54,94	3,59	19,33
40	0,425	115,10	40,60	0,10	40,70	2,66	16,67
60	0,25	159,70	85,20	0,21	85,41	5,59	11,08
100	0,149	137,80	63,30	0,16	63,46	4,15	6,94
200	0,074	105,40	30,90	0,08	30,98	2,03	4,91
Fondo		75,80	74,90	0,19	75,09	4,91	0,00
Suma			1525,5		1529,3	100,0	

Error (%): 0,2

CURVA GRANULOMÉTRICA



CLASIFICACIÓN	Cu	108,7	p # 4	34,76%	SUSC GW
	Cc	1,46	p # 200	4,91%	

Ing. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
 MP. 15202088348 BYC
 Jefe de Laboratorio

Observaciones. El suelo ensayado corresponde a una grava arenosa bien gradada



SIL SERVICIOS DE INGENIERIA LTDA.

NIT. 820.003.390-6

ESTUDIO PARA EL DISEÑO MURO DE PROTECCIÓN AL TALUD DE LAS VIVIENDAS UBICADAS EN LA MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR YOPAL - CASANARE

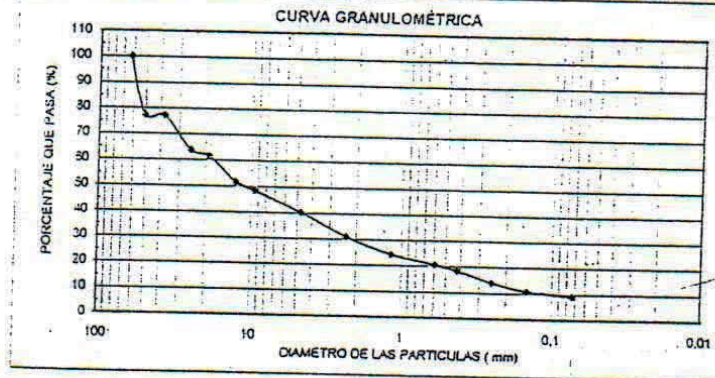
GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

PROYECTO: MURO DE PROTECCIÓN
LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR, YOPAL - CASANARE
CLIENTE: GOBERNACIÓN DE CASANARE
TRINCHERA: 2 **MUESTRA:** 1 **PROFUNDIDAD (m):** 0.50

DESCRIPCIÓN: Limo arenoso orgánico, color café, con presencia de fragmentos de arenisca, redondeada a subredondeada, tamaño grava, bloques y cantos

Peso del platon (g):	77,6	Peso muestra sin lavar + platon (g):	1516,3
Peso muestra lavada + platon (g):	1389,6	Peso muestra sin lavar (g):	1438,7
Peso muestra lavada (g):	1312	Peso de finos (g):	126,7

Tamiz #	apertura mm	W ret+platon g	Wret g	corr g	Wcorr g	porcentaje retenido %	% que pasa %
2 1/2	93,5	77,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,8	405,20	327,60	1,44	329,04	22,87	77,13
1 1/2	38,1	77,60	0,00	0,00	0,00	0,00	77,13
1	25,4	268,10	190,50	0,84	191,34	13,30	63,83
3/4	19,1	111,00	33,40	0,15	33,55	2,33	61,50
1/2	12,7	218,40	140,80	0,62	141,42	9,83	51,67
3/8	9,53	126,50	48,90	0,22	49,12	3,41	48,25
4	4,75	193,60	116,00	0,51	116,51	8,10	40,16
8	2,36	209,90	132,30	0,58	132,88	9,24	30,92
16	1,18	172,90	95,30	0,42	95,72	6,65	24,27
30	0,6	129,20	51,60	0,23	51,83	3,60	20,66
40	0,425	110,60	33,00	0,15	33,15	2,30	18,36
60	0,25	138,60	61,00	0,27	61,27	4,26	14,10
100	0,149	123,30	45,70	0,20	45,90	3,19	10,91
200	0,074	105,10	27,50	0,12	27,62	1,92	8,99
Fondo		79,70	128,80	0,57	129,37	8,99	0,00
Suma			1432,4		1438,7	100,0	
Error (%)		0,4					



CLASIFICACIÓN	Cu	121 p # 4	40,16%	SUSC GW - GM
	Cc	1,85 p # 200	3,99%	

Ing. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
 MP. 15202088348 BYC
 Jefe de Laboratorio

Observaciones. El suelo ensayado corresponde a una grava arenosa bien gradada con finos



SERVICIOS DE INGENIERIA LTDA.

N(T. 320.C03.390-n

ESTUDIO PARA EL DISEÑO MURO DE PROTECCIÓN AL TALUD DE LAS VIVIENDAS UBICADAS EN LA MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR YOPAL - CASANARE

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

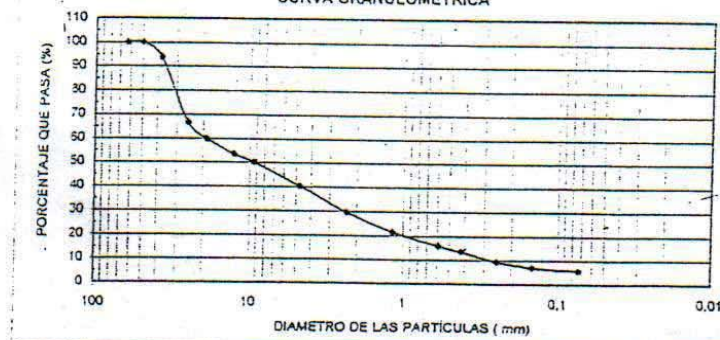
PROYECTO: MURO DE PROTECCIÓN
 LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR, YOPAL - CASANARE
 CLIENTE: GOBERNACIÓN DE CASANARE
 TRINCHERA: 2 MUESTRA: 3 PROFUNDIDAD (m): 2,00

DESCRIPCIÓN: Material constituido por fragmentos de arenisca, tamaño grava, bloques y cantos, redondeados, embebidos en matriz arenosa limosa, color café

Peso del platón (g):	79,6	Peso muestra sin lavar + platón (g):	1531,3
Peso muestra lavada + platón (g):	1452,9	Peso muestra sin lavar (g):	1451,7
Peso muestra lavada (g):	1373,3	Peso de finos (g):	78,4

Tamiz	abertura	W ret+platón	Wret	corr	Wcorr	porcentaje retenido	% que pasa
#	mm	g	g	g	g	%	%
2 1/2	83,5	79,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,8	79,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2	38,1	168,00	88,40	0,50	88,90	6,12	93,88
1	25,4	472,70	393,10	2,23	395,33	27,23	66,64
3/4	19,1	178,20	98,60	0,56	99,16	6,83	59,81
1/2	12,7	172,10	92,50	0,53	93,03	6,41	53,40
3/8	9,53	128,30	48,70	0,28	48,98	3,37	50,03
4	4,75	222,40	142,80	0,81	143,61	9,89	40,14
3	2,36	230,60	151,00	0,86	151,86	10,46	29,68
16	1,18	199,50	119,90	0,68	120,58	8,31	21,37
30	0,6	160,90	81,30	0,46	81,76	5,63	15,74
40	0,425	113,30	33,70	0,19	33,89	2,33	13,40
60	0,25	138,20	58,60	0,33	58,93	4,06	9,35
100	0,149	115,40	35,80	0,20	36,00	2,48	6,87
200	0,074	98,50	18,90	0,11	19,01	1,31	5,56
Fondo		81,40	80,20	0,46	80,66	5,56	0,00
Suma			1443,5		1451,7	100,0	
Error (%):		0,57					

CURVA GRANULOMÉTRICA



CLASIFICACIÓN	Cu	64	p # 4	40,14%	SUSC
	Cc	1,35	p # 200	5,56%	GW - GM

Ing. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
 MP. 15202088348 BYC
 Jefe de Laboratorio



SIL SERVICIOS DE INGENIERIA LTDA.

NIT. 820.000.189-6

ESTUDIO PARA EL DISEÑO MURO DE PROTECCIÓN AL TALUD DE LAS VIVIENDAS UBICADAS EN LA MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR YOPAL - CASANARE

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

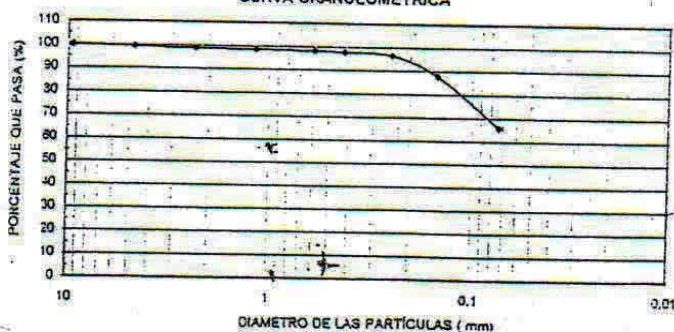
PROYECTO: MURO DE PROTECCIÓN
 LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR, YOPAL - CASANARE
 CLIENTE: GOBERNACIÓN DE CASANARE
 TRINCHERA: 2 MUESTRA: 3 PROFUNDIDAD (m): 6.00

DESCRIPCIÓN: Limo arenoso color café claro, con presencia de fragmentos de arenisca redondeada tamaño grava, bloques y cantos

Peso del platón (g):	80.4	Peso muestra sin lavar + platón (g):	1045.9
Peso muestra lavada + platón (g):	422.8	Peso muestra sin lavar (g):	965.5
Peso muestra lavada (g):	342.4	Peso de finos (g):	623.1

Tamiz	apertura	W ret+platón	Wret	corr	Wcorr	porcentaje retenido	% que pasa
#	mm	g	g	g	g	%	%
2 1/2	63.5	80.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	50.8	80.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	38.1	80.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.4	80.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.1	80.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	12.7	80.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	9.53	80.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.75	87.10	6.70	0.00	6.70	0.69	99.31
3	2.36	85.40	5.00	0.00	5.00	0.52	98.79
16	1.18	34.60	4.20	0.00	4.20	0.44	98.35
30	0.6	84.00	3.60	0.00	3.60	0.37	97.98
40	0.425	83.30	2.90	0.00	2.90	0.30	97.68
60	0.25	93.40	13.00	0.01	13.01	1.35	96.33
100	0.149	163.60	83.20	0.05	83.25	8.62	87.71
200	0.074	291.90	211.50	0.13	211.63	21.92	65.79
Fondo		92.10	634.80	0.39	635.19	55.79	0.00
Suma			964.90		965.5	100.0	
Error (%):		0.062					

CURVA GRANULOMÉTRICA



CLASIFICACIÓN	Cu	p # 4	99.31%	SUSC
	Cc	p # 200	65.79%	ML

Ing. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
 MP.15202088348 BYC
 Jefe de Laboratorio



SERVICIOS DE INGENIERIA LTDA.

NIT. 320.003.390-6

ESTUDIO PARA EL DISEÑO MURO DE PROTECCIÓN AL TALUD DE LAS VIVIENDAS UBICADAS EN LA MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR YOPAL - CASANARE

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

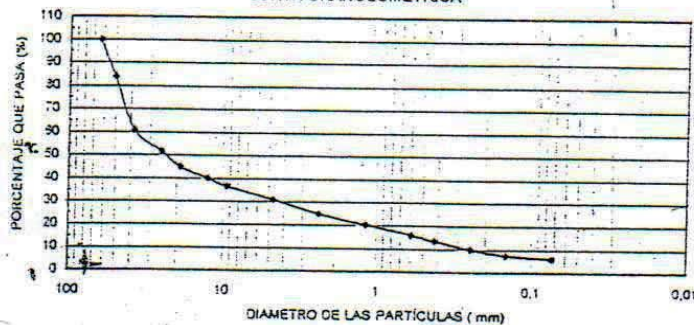
PROYECTO: MURO DE PROTECCIÓN
 LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR, YOPAL - CASANARE
 CLIENTE: GOBERNACIÓN DE CASANARE
 TRINCHERA: 2 MUESTRA: 6 PROFUNDIDAD (m): 4.00

DESCRIPCIÓN: Material constituido por por fragmentos de arenisca tamaño grava, bloques y cantos redondeados, amebidos en matriz areno limosa color café a gris

Peso del platón (g):	75,8	Peso muestra sin lavar + platón (g):	1552,9
Peso muestra lavada + platón (g):	1465,4	Peso muestra sin lavar (g):	1477,1
Peso muestra lavada (g):	1389,5	Peso de finos (g):	87,5

Tamiz	apertura	W ret+platón	Wret	corr	Wcorr	porcentaje retenido	% que pasa
#	mm	g	g	g	g	%	%
2 1/2	63,5	75,80	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,8	312,50	236,70	2,79	239,49	16,21	83,79
1 1/2	38,1	413,20	337,40	3,98	341,38	23,11	60,68
1	25,4	207,50	131,70	1,55	133,25	9,02	51,65
3/4	19,1	176,10	100,30	1,18	101,48	6,87	44,78
1/2	12,7	147,20	71,40	0,84	72,24	4,89	39,89
3/8	9,53	125,30	49,50	0,58	50,08	3,39	36,50
4	4,75	159,40	83,60	0,98	84,58	5,73	30,78
8	2,36	162,00	86,20	1,02	87,22	5,90	24,87
16	1,18	144,60	88,30	0,81	89,61	4,71	20,16
30	0,6	138,00	82,20	0,73	82,93	4,26	15,90
40	0,425	111,30	35,50	0,42	35,92	2,43	13,47
60	0,25	128,70	52,90	0,62	53,52	3,62	9,84
100	0,149	110,70	34,90	0,41	35,31	2,39	7,45
200	0,074	96,80	21,00	0,25	21,25	1,44	6,01
Fondo		76,10	37,80	1,03	38,83	6,01	0,00
Suma			1459,9		1477,1	100,0	
Error (%)		1,18					

CURVA GRANULOMÉTRICA



CLASIFICACIÓN	Cu	140 p # 4	30,78%	SUSC
	Cc	1,87 p # 200	6,01%	GW - GM

Ing. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
 MP. 15202088348 BYC
 Jefe de Laboratorio



SERVICIOS DE INGENIERIA LTDA.

...IT. 300.003.390-61

ESTUDIO PARA EL DISEÑO MURO DE PROTECCIÓN AL TALUD DE LAS VIVIENDAS UBICADAS EN LA MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR YOPAL - CASANARE

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

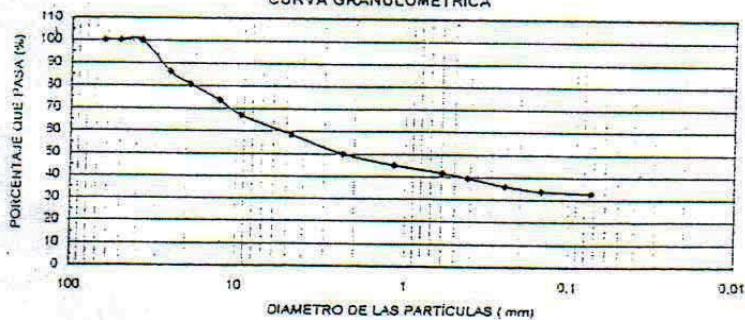
PROYECTO: MURO DE PROTECCIÓN
LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR, YOPAL - CASANARE
CLIENTE: GOBERNACIÓN DE CASANARE
TRINCHERA: 3 **MUESTRA:** 3 **PROFUNDIDAD (m):** 1,50

DESCRIPCIÓN: Arena limosa de grano medio, color café a gris, con presencia de fragmentos de arenisca redondeada, tamaño gravas bloques y cartos.

Peso del platón (g):	132,8	Peso muestra sin lavar + platón (g):	2999
Peso muestra lavada + platón (g):	2065,7	Peso muestra sin lavar (g):	2866,2
Peso muestra lavada (g):	1932,9	Peso de finos (g):	933,3

Tamiz	apertura	W ret+platón	Wret	corr	W/corr	porcentaje retenido	% que pasa
#	mm	g	g	g	g	%	%
2 1/2	63,5	132,30	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,8	132,30	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2	38,1	132,80	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1	25,4	330,10	397,30	2,69	399,99	13,96	86,04
3/4	19,1	289,20	156,40	1,06	157,46	5,49	80,55
1/2	12,7	330,60	197,80	1,34	199,14	6,95	73,60
3/8	9,53	321,00	188,20	1,28	189,48	6,61	66,99
4	4,75	374,90	242,10	1,64	243,74	8,50	58,49
8	2,36	376,50	243,70	1,65	245,35	8,56	49,93
16	1,18	277,10	144,30	0,98	145,28	5,07	44,86
30	0,6	226,50	93,70	0,64	94,34	3,29	41,57
40	0,425	193,40	60,60	0,41	61,01	2,13	39,44
60	0,25	234,60	101,80	0,69	102,49	3,58	35,86
100	0,149	195,90	53,10	0,43	63,53	2,22	33,65
200	0,074	155,60	22,80	0,15	22,95	0,80	32,85
Fondo		134,60	935,10	6,34	941,44	32,85	0,00
Suma			2846,9		2866,2	100,0	
Error (%):		0,63					

CURVA GRANULOMÉTRICA



CLASIFICACIÓN	Cu	p # 4	58,49%	SUSC
	Cc	p # 200	32,85%	SM

Ing. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
 MP. 15202088348 BYC
 Jefe de Laboratorio

CARRERA 2 ESTE No. 28-137 - BARRIO EL DORADO - TELEFAX (098) 7447392 - TUNJA (BOYACÁ)



SERVICIOS DE INGENIERIA LTDA.

NIT. 320.003.190-6

ESTUDIO PARA EL DISEÑO MURO DE PROTECCIÓN AL TALUD DE LAS VIVIENDAS UBICADAS EN LA MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR YOPAL - CASANARE

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

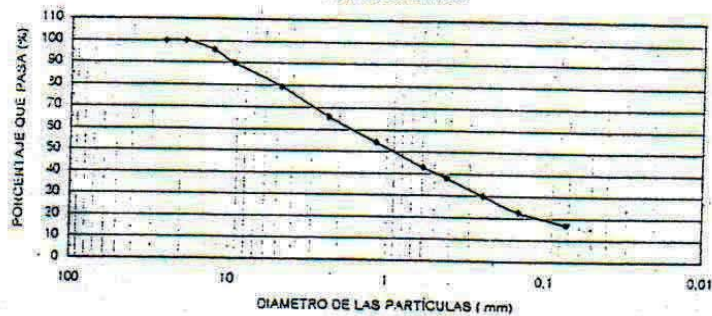
PROYECTO: MURO DE PROTECCIÓN
 LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR, YOPAL - CASANARE
 CLIENTE: GOBERNACIÓN DE CASANARE
 TRINCHERA: 3 MUESTRA: 5 PROFUNDIDAD (m): 2.7 - 3.15

DESCRIPCIÓN: Arena limosa color café, con presencia de fragmentos de arenisca, redondeada tamaño gravas, bloques y cantos

Peso del platón (g):	136,6	Peso muestra sin lavar + platón (g):	773,1
Peso muestra lavada + platón (g):	571,6	Peso muestra sin lavar (g):	536,5
Peso muestra lavada (g):	535	Peso de finos (g):	101,5

Tamiz	apertura	W ret+platón	Wret	corr	Wcorr	porcentaje retenido	% que pasa
#	mm	g	g	%	%	%	%
2 1/2	63,5	136,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,8	136,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2	38,1	136,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1	25,4	136,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,1	136,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2	12,7	163,60	27,00	0,15	27,15	4,26	95,74
3/8	9,53	173,90	37,30	0,20	37,50	5,39	94,61
4	4,75	204,00	67,40	0,36	67,76	10,65	89,35
3	2,36	221,80	85,20	0,48	85,68	13,46	86,54
16	1,18	209,30	72,70	0,39	73,09	11,48	88,52
30	0,6	208,80	72,20	0,39	72,59	11,40	88,60
40	0,425	166,90	30,30	0,16	30,46	4,79	95,21
60	0,25	188,70	52,10	0,28	52,38	8,23	91,77
100	0,149	183,40	46,80	0,25	47,05	7,39	92,61
200	0,074	172,80	36,20	0,19	36,39	5,72	94,28
Fondo		141,00	105,90	0,57	106,47	16,73	83,27
Suma			633,1		636,5	100,0	
Error (%)						0,54	

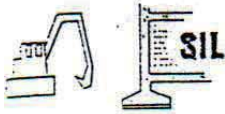
CURVA GRANULOMÉTRICA



CLASIFICACIÓN	Cu	p # 4	79,20%	SUSC
	Cc	p # 200	16,73%	SM

Ing. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
 MP. 15202088348 BYC
 Jefe de Laboratorio

CARRERA 2 ESTE No. 28-137 - BARRIO EL DORADO - TELEFAX (098) 7447392 - TUNJA (BOYACÁ)



SERVICIOS DE INGENIERIA LTDA.

MIT. 320.C03.390-6

ESTUDIO PARA EL DISEÑO MURO DE PROTECCIÓN AL TALUD DE LAS VIVIENDAS UBICADAS EN LA MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR YOPAL - CASANARE

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

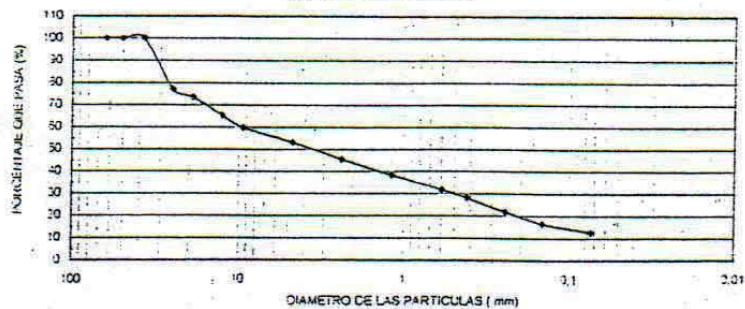
PROYECTO: MURO DE PROTECCIÓN
 LOCALIZACIÓN: MARGEN DERECHA RÍO CRAVO SUR, YOPAL - CASANARE
 CLIENTE: GOBERNACIÓN DE CASANARE
 TRINCHERA: 3 MUESTRA: 7 PROFUNDIDAD (m): 3,95

DESCRIPCIÓN: Arena limosa color café, con presencia de fragmentos de arenisca, redondeada tamaño gravas, bloques y cantos

Peso del platón (g):	118,5	Peso muestra sin lavar + platón (g):	697,7
Peso muestra lavada + platón (g):	625,1	Peso muestra sin lavar (g):	579,2
Peso muestra lavada (g):	506,6	Peso de finos (g):	72,5

Tamiz	apertura	W ret+platón	Wret	corr	Wcorr	porcentaje retenido	% que pasa
#	mm	g	g	g	g	%	%
2 1/2	63,5	118,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	50,8	118,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2	38,1	118,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1	25,4	252,40	133,90	-0,64	133,26	23,01	76,99
3/4	19,1	138,50	20,00	-0,10	19,90	3,44	73,56
1/2	12,7	166,80	48,30	-0,23	48,07	3,30	65,26
3/8	9,53	150,70	32,20	-0,15	32,05	5,53	59,73
4	4,75	157,60	39,10	-0,19	38,91	6,72	53,01
3	2,36	161,60	43,10	-0,21	42,39	7,41	45,60
15	1,18	161,80	43,30	-0,21	43,09	7,44	38,18
30	0,6	155,80	37,30	-0,18	37,12	6,41	31,75
40	0,425	140,30	21,30	-0,10	21,70	3,75	28,01
60	0,25	154,70	36,20	-0,17	36,03	6,22	21,79
100	0,149	148,30	30,30	-0,15	30,15	5,21	16,53
200	0,074	140,90	22,40	-0,11	22,29	3,85	12,73
Fondo		120,00	74,10	-0,36	73,74	12,73	0,00
Suma			582,0		579,2	100,0	
Error (%)			-0,48				

CURVA GRANULOMÉTRICA



CLASIFICACIÓN	Cu	p # 4	53,01%	SUSC
	Cc	p # 200	12,73%	SM

Ing. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
 MP. 15202088348 BYC
 Jefe de Laboratorio