

REPUBLICA DE VENEZUELA

ESTUDIO SOBRE  
EL PROYECTO DE CONSERVACION  
DE LA CUENCA DEL RIO CHAMA

INFORME PRINCIPAL

FEBRERO DE 1990

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

SSS

90-020(2/2)



REPUBLICA DE VENEZUELA

**ESTUDIO SOBRE  
EL PROYECTO DE CONSERVACION  
DE LA CUENCA DEL RIO CHAMA**

**INFORME PRINCIPAL**

JICA LIBRARY



1080098(5)

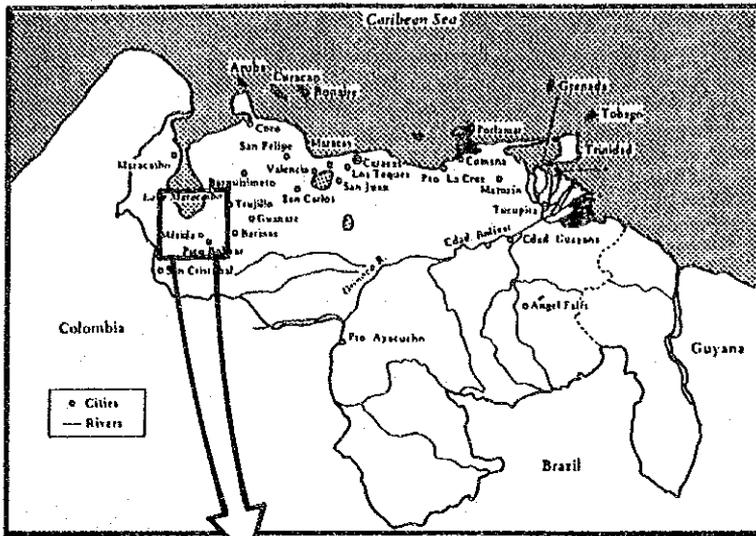
20620

**FEBRERO DE 1990**

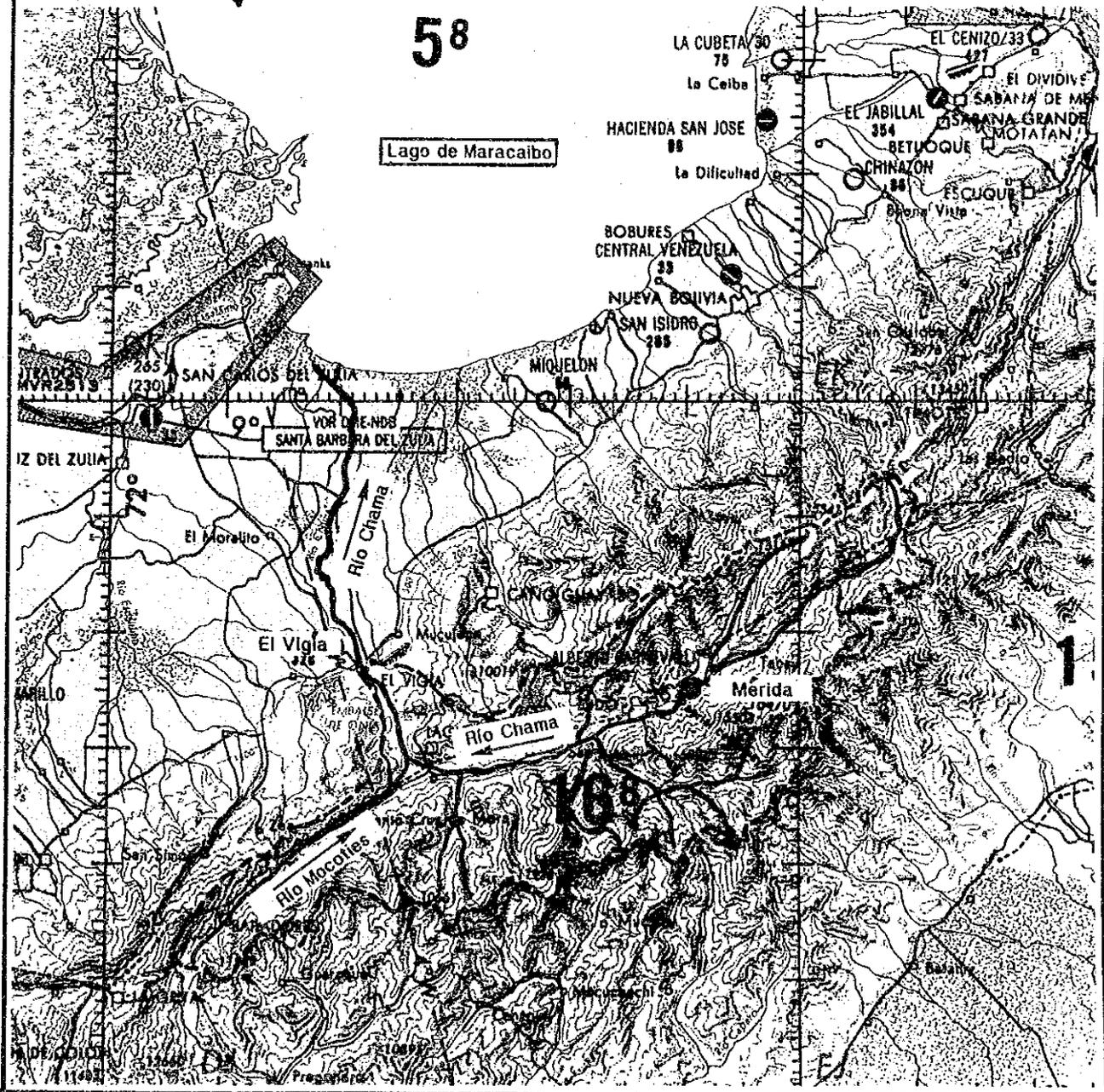
**AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON**



# PLANO DE UBICACION



ESCALA : 1/1,000,000





**Flood Control (Basin Wide Project)**

River Improvement	53.4km
Reinforcement of Existing Dike	10.4km
Groundsill	1 nos
Puerto Chama Bridge Extention	1 nos

**Sediment Control (Baisin Wide Project)**

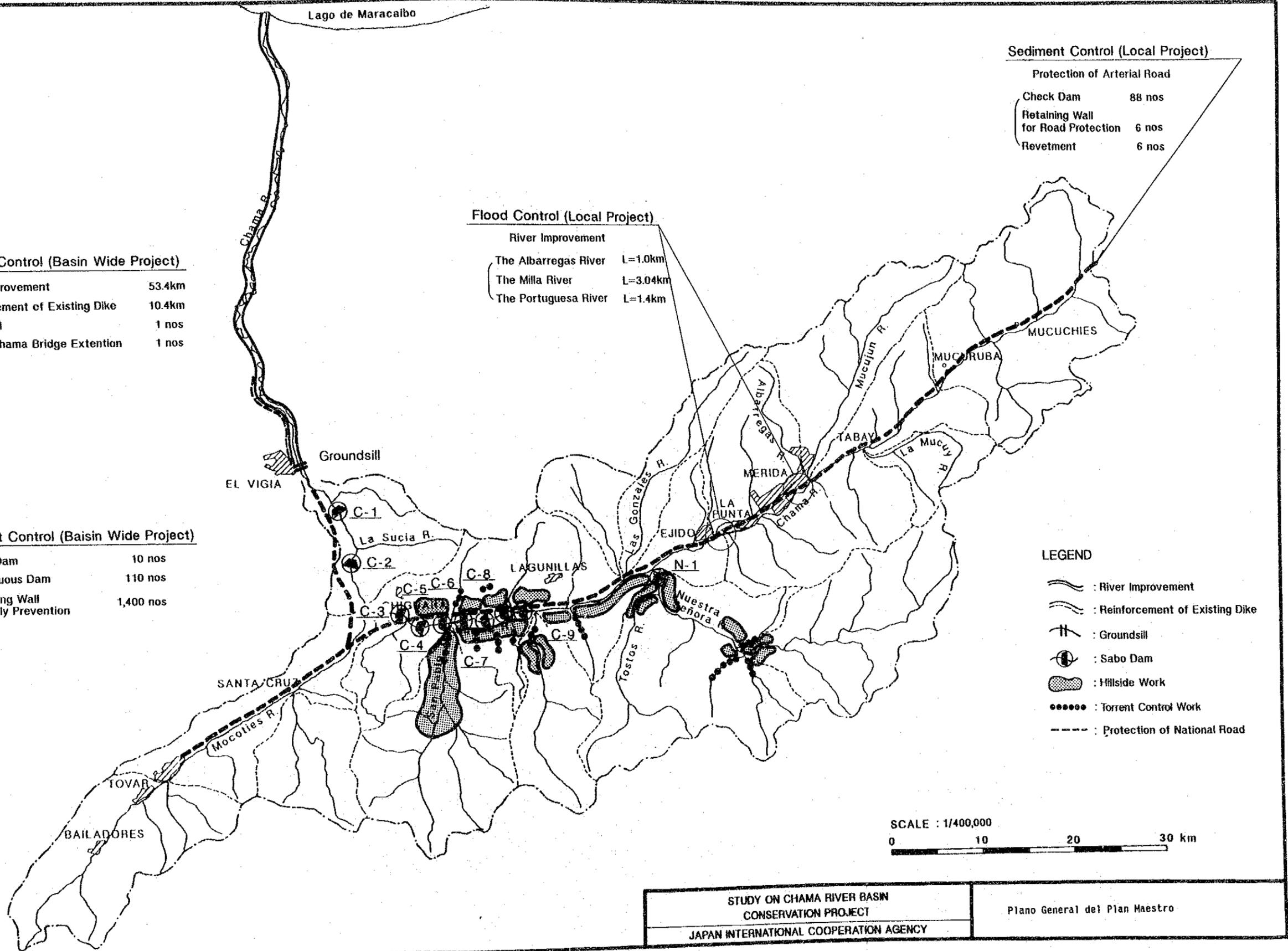
Sabo Dam	10 nos
Continuous Dam	110 nos
Retaining Wall for Gully Prevention	1,400 nos

**Flood Control (Local Project)**

River Improvement	
The Albarregas River	L=1.0km
The Milla River	L=3.04km
The Portuguesa River	L=1.4km

**Sediment Control (Local Project)**

Protection of Arterial Road	
Check Dam	88 nos
Retaining Wall for Road Protection	6 nos
Revetment	6 nos

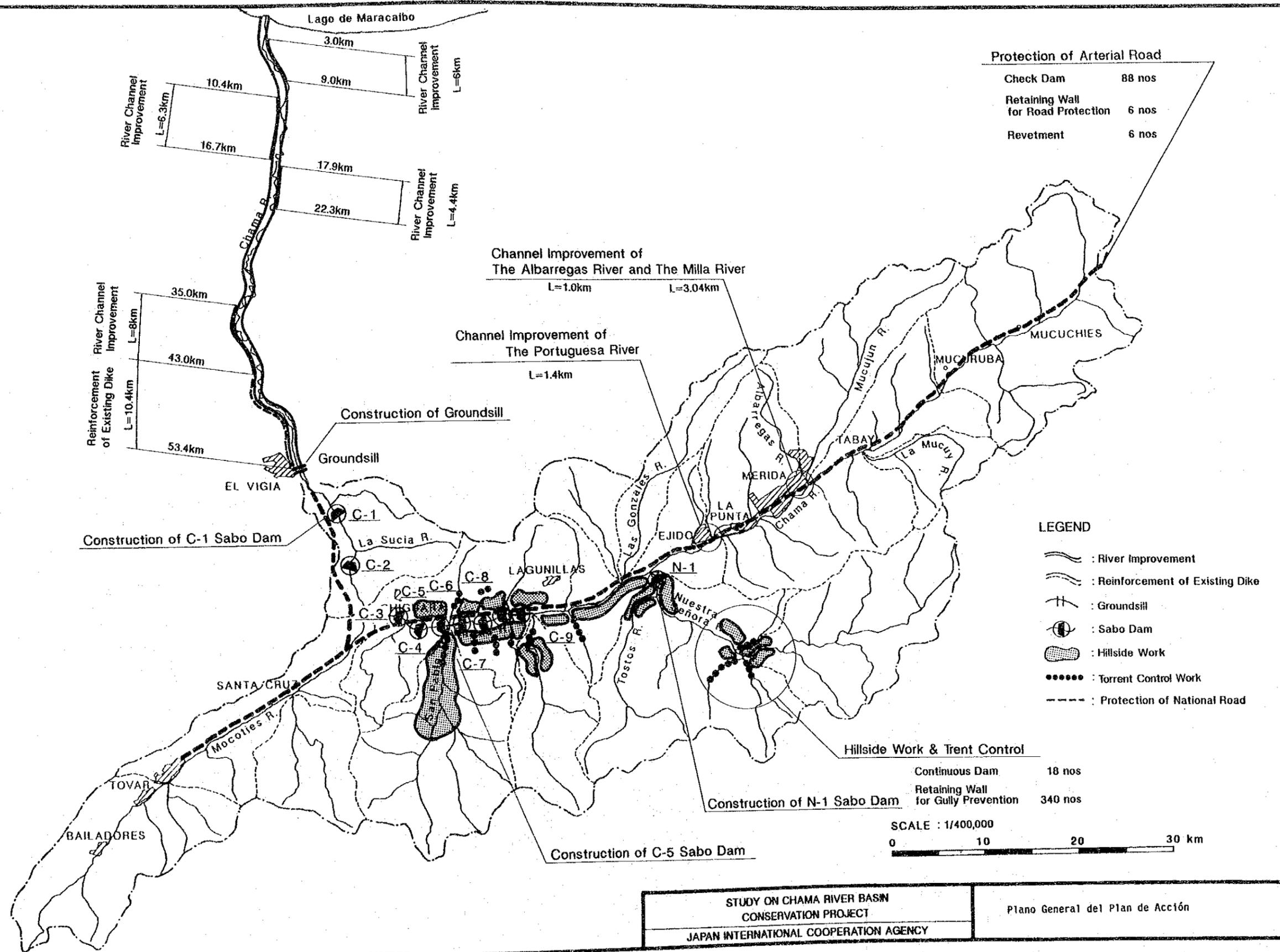


**LEGEND**

- : River Improvement
- : Reinforcement of Existing Dike
- : Groundsill
- : Sabo Dam
- : Hillside Work
- : Torrent Control Work
- : Protection of National Road



<p>STUDY ON CHAMA RIVER BASIN CONSERVATION PROJECT JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY</p>	<p>Plano General del Plan Maestro</p>
---	---------------------------------------



**Protection of Arterial Road**

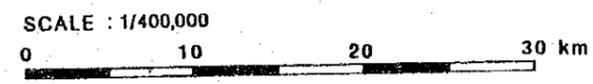
Check Dam	88 nos
Retaining Wall for Road Protection	6 nos
Revetment	6 nos

**LEGEND**

- : River Improvement
- : Reinforcement of Existing Dike
- : Groundsill
- : Sabo Dam
- : Hillside Work
- : Torrent Control Work
- : Protection of National Road

**Hillside Work & Trent Control**

Continuous Dam	18 nos
Retaining Wall for Gully Prevention	340 nos



STUDY ON CHAMA RIVER BASIN  
 CONSERVATION PROJECT  
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

Plano General del Plan de Acción



## INDICE

PLANO DE UBICACION

PLANO GENERAL

RESUMEN

	<u>Página</u>
CAPITULO 1. INTRODUCCION .....	1
1.1 Antecedentes del Proyecto .....	1
1.2 Idea General del Estudio .....	2
1.2.1 Objetivo .....	2
1.2.2 Area de Estudio .....	2
1.2.3 Alcance de Trabajo .....	2
1.2.4 Programas del Estudio y del Personal ...	4
CAPITULO 2. CONDICIONES ACTUALES DEL AREA DE ESTUDIO .....	5
2.1 Topografía y Geología .....	5
2.1.1 Topografía .....	5
2.1.2 Geología .....	6
2.1.3 Desprendimiento de Rocas, Deslizamiento de Tierras y Erosiones .....	8
2.2 Meteorología e Hidrología .....	9
2.2.1 Meteorología General .....	9
2.2.2 Precipitación Anual y Mensual .....	10
2.2.3 Caudal Fluvial .....	10
2.3 Sedimentación .....	11
2.3.1 Fuente de Producción de Sedimentos ....	11
2.3.2 Sedimentos de Lecho del Río .....	15
2.3.3 Carga en Suspensión y Sedimento de Embalse .....	16
2.3.4 Depósito de Sedimentos en los Tramos Inferiores .....	18
2.3.5 Transporte de Sedimentos y Mecanismo de Deposición .....	19
2.4 Condición de Río .....	20
2.4.1 Condición del Canal de Corriente .....	20
2.4.2 Uso de Río .....	21

2.5	Desastres por Sedimentos y Crecidas, y Obras Preventivas .....	22
2.5.1	Desastres en los Tramos Inferiores ....	22
2.5.2	Desastres en los Tramos Superiores/Medios .....	23
2.5.3	Obras Preventivas de Desastres .....	25
2.6	Vegetación .....	26
2.6.1	Estado Actual de Vegetación .....	26
2.6.2	Obras de Conservación del Suelo .....	29
2.7	Condiciones Socioeconómicas .....	30
2.7.1	Planes Nacionales de Desarrollo .....	30
2.7.2	Población .....	31
2.7.3	Economía Regional .....	32
2.7.4	Uso de la Tierra .....	32
2.7.5	Red de Carreteras .....	33
2.7.6	Condiciones Presupuestarias .....	33
2.8	Organización y Reglamento .....	34
2.8.1	Organización .....	34
2.8.2	Reglamento .....	36
2.9	Proyectos Relacionados .....	37
CAPITULO 3.	ESTUDIO Y ANALISIS .....	40
3.1	Análisis Hidrológico .....	40
3.1.1	Análisis de la Precipitación .....	40
3.1.2	Modelo de Escorrentía de Crecida .....	42
3.1.3	Hidrograma de Crecida de Proyecto en El Vigía .....	46
3.1.4	Caudales de Proyecto a Lo Largo del Curso del Río Chama .....	47
3.1.5	Caudales de Proyecto en los Afluentes de Aguas Arriba .....	48
3.1.6	Caudal Diario .....	50
3.2	Estudio Sobre la Sedimentación .....	51
3.2.1	Generalidad .....	51
3.2.2	Producción .....	51
3.2.3	Transporte y Balance .....	54
3.2.4	Caudal de Sedimentos de Proyecto .....	58
3.2.5	Probabilidad de Ocurrir el Desastre por Sedimentos .....	60

	<u>Página</u>
3.3 Estudio Sobre la Inundación de Crecida .....	61
3.3.1 Características de la Inundación de Crecida .....	61
3.3.2 Capacidad de Conducción del Canal de Corriente .....	63
3.3.3 Análisis de la Inundación de Crecida ..	65
 CAPITULO 4. PRINCIPIOS DE FORMULACION DE PROYECTO .....	 68
4.1 Identificación de las Propiedades Objetivo ...	68
4.2 Manera de Formulación del Proyecto .....	69
4.3 Concepto de Formulación del Proyecto .....	70
4.3.1 Proyecto de Toda la Cuenca .....	70
4.3.2 Proyecto Local .....	72
 CAPITULO 5. PLAN MAESTRO .....	 73
5.1 Proyecto de Toda la Cuenca .....	73
5.1.1 Control de Sedimentos .....	73
5.1.2 Control de Inundaciones .....	81
5.1.3 Diseño Preliminar .....	88
5.1.4 Estimaciones de Costo .....	92
5.2 Proyecto Local .....	94
5.2.1 Control del Sedimentos .....	94
5.2.2 Control de Inundacion .....	95
5.2.3 Diseño Preliminar .....	97
5.2.4 Estimaciones de Costo .....	98
5.3 Programa de Construcción .....	98
5.3.1 Componentes del Proyecto .....	98
5.3.2 Programa de la Construcción .....	104
5.3.3 Programa de Desembolso .....	105
5.4 Evaluación del Proyecto .....	107
5.4.1 Viabilidad Económica del Plan Maestro ..	107
5.4.2 Consideración Financiera .....	110
5.4.3 Impactos Socioeconómicos .....	111
5.4.4 Justificación del Proyecto .....	112

	<u>Página</u>
CAPITULO 6. PLAN DE ACCION .....	113
6.1 Proyecto de Toda La Cuenca .....	113
6.1.1 Control de Sedimentos .....	113
6.1.2 Control de Crecidas .....	116
6.1.3 Proyecto Preliminar .....	119
6.2 Proyecto Local .....	123
6.2.1 Control de Sedimentos .....	123
6.2.2 Control de Crecidas .....	125
6.2.3 Proyecto Preliminar .....	127
6.3 Programa de Construcción y Presupuesto de Gastos .....	127
6.3.1 Componentes de Proyecto y Prioritización .....	127
6.3.2 Programa de Construcción .....	131
6.3.3 Gastos de Construcción .....	131
6.3.4 Gastos de Operación, Mantenimiento y Reposición .....	132
6.3.5 Plan de Pagos .....	133
6.4 Evaluación del Plan de Acción .....	133
6.4.1 Viabilidad Económica del Plan de Acción .....	133
6.4.2 Consideración Financiera .....	136
6.4.3 Impactos Socioeconómicos y Ambiente ...	137
6.4.4 Justificación del Proyecto .....	138
6.5 Organización para La Ejecución del Proyecto ...	138
6.6 Medidas No Estructurales .....	139
6.6.1 Proyecto de Toda la Cuenca .....	140
6.6.2 Proyecto Local .....	144
CAPITULO 7. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES .....	149
BIBLIOGRAFIA .....	152
ANEXO 1 COPIAS DE MINUTA DE REUNION	

## LISTA DE CUADROS

<u>No. de Cuadro</u>	<u>Título</u>
2.1-1	Registros de Desprendimientos de Ladera y Colada de Derrubios en Cuenca del Río Chama
2.2-1	Registros Meteorológicos Mensuales
2.3-1	Resultados del Estudio por Muestreo para Torrentes
2.3-2	Resultados del Estudio por Muestreo para Deslizamiento en Masa
2.5-1	Desastres Pasados en Cuenca del Río Chama
2.5-2	Obras de Prevención de Desastres por Sedimentos (1984-1988)
2.7-1	Indices Económicos Principales del Séptimo Plan Nacional de Desarrollo
2.7-2	Características Demográficas de Cuenca de los Ríos Chama - Mocotíes
2.7-3	Producto Bruto Regional del Estado de Mérida y Distribución por Sector
2.7-4	Productos Agrícolas y Su Distribución en Estados de Mérida, Zulia y Tachira
2.7-5	Relación de Distribución de Productos Agrícolas por Región
2.7-6	Tasa de Alza Gradual Interanual de Precios en Ciudades Principales
2.7-7	Uso de Tierra en Estado de Mérida en 1983
2.7-8	Asignación Monetaria de Presupuesto Nacional, 1984-1988
2.7-9	Asignación Porcentual de Presupuesto Nacional, 1984-1988
2.7-10	Desembolsos Presupuestarios Nacionales e Inversión Pública del MARNR
3.1-1	Resumen de Constantes del Modelo de Función de Almacenamiento para Tramos Superiores/Medios
3.1-2	Caudal Diario Medio Mensual por Subcuenca
3.2-1	Producción Anual de Sedimentos
3.2-2	Constantes para Curva de Caudales de Materiales Transportados del Lecho del Río por Punto de Base
3.2-3	Fuerza Tractora Crítica y Caudal Crítico en Punto de Base

<u>No. de Cuadro</u>	<u>Título</u>
3.2-4	Caudal y Balance de Sedimentos Anuales
3.3-1	Resultados del Cálculo de Inundación de Crecida
5.1-1	Características de Presas Sabo
5.1-2	Caudal de Sedimentos por Cada Subcuenca
5.1-3	Subcuencas Productoras de Sedimentos
5.1-4	Características de Diseño de Sección Transversal por Caso Alternativo
5.1-5	Comparación de Costo para Casos Alternativos
5.1-6	Comparación de Costo entre Plan de Mejoramiento del Canal de Corriente y Plan del Canal de Derivación
5.1-7	Salario de Trabajo Diario por Clasificación
5.1-8	Precio Unitario de Materiales
5.1-9	Desglose de Costo de Construcción del Plan Maestro para Proyecto de Toda La Cuenca
5.2-1	Desglose de Costo de Construcción del Plan Maestro para Proyecto Local
5.4-1	Indices de Daños Estimados por Crecidas de Plátano en Tramos Inferiores
5.4-2	Pronóstico de Tierras Cultivadas en Tramos Inferiores
5.4-3	Estimación de Costo de Daños por Desastre Vial Probable
5.4-4	Condiciones para Cálculo de Daños por Crecidas
5.4-5	Desglose de Beneficio Medio Anual del Plan Maestro (en el año 2020)
5.4-6	Flujo Anual de Costo y Beneficio del Plan Maestro
5.4-7	Relación entre GDP, Presupuesto Nacional e Inversión Publico en la Cuenca del Río Chama
5.4-8	Previsión de Fondos Disponibles del MARNR
5.4-9	Programa de Pago Anual del Plan Maestro en la Condición de 50% Financiado por Préstamo
6.1-1	Casos de Estudio Alternativo para Estructura de Control de Sedimentos
6.1-2	Características de Diseño de Dique

No. de Cuadro

Título

- 6.1-3 Casos de Estudio Alternativo para Estructura de Control de Crecidas
- 6.1-4 Selección del Caso Optimo para Revestimiento
- 6.1-5 Selección del Caso Optimo para Espigón
- 6.2-1 Plan Estructural de Muro de Retención Propuesto (Plan de Acción)
- 6.2-2 Plan Estructural de Revestimiento (Plan de Acción)
- 6.3-1 Desglose de Gastos de Construcción del Plan de Acción para Proyecto de Toda la Cuenca
- 6.3-2 Desglose de Gastos de Construcción del Plan de Acción para Proyecto Local
- 6.3-3 Programa de Desembolso del Plan de Acción para Proyecto de Toda la Cuenca
- 6.3-4 Programa de Desembolso del Plan de Acción para Proyecto Local
- 6.4-1 Desglose de Beneficio Medio Anual del Plan de Acción (en el año 2000)
- 6.4-2 Composición de Gastos Financieros y Cálculo de Tasas de Conversión en Gastos Económicos
- 6.4-3 Cálculo de Gastos Económicos del Proyecto para Plan de Acción
- 6.4-4 Flujo Anual de Costo y Beneficio del Plan de Acción
- 6.4-5 Previsión de Fondos Disponibles del MTC
- 6.4-6 Programa de Reembolso Anual del Plan de Acción en la Condición de 50% Financiado por Préstamo

## LISTA DE FIGURAS

<u>No. de Figura</u>	<u>Título</u>
1.2-1	Programa de Estudio
1.2-2	Programa de Personal
2.1-1	Perfil Longitudinal del Río Chama y Sus Afluentes Principales
2.1-2	Mapa Topográfico de Cuenca del Río Chama
2.1-3	Mapa Geológico de Cuenca del Río Chama
2.1-4	Sección Transversal Geológica de Cuenca del Río Chama
2.2-1	Mapa Isohiético de Precipitación Anual
2.2-2	Modelos de Precipitación Anual
2.3-1	Mapa de Ubicación de Sitios de Muestreo para Torrentes y Deslizamiento en Masa
2.3-2	Mapa de Ubicación de Sitios de Muestreo para Materiales de Desprendimiento de Rocas y de Abanico Aluvial
2.3-3	Curvas de Acumulación de Tamaño de Grano de Materiales de Desprendimiento de Rocas
2.3-4	Mapa de Ubicación de Sitios de Muestreo para Materiales de Lecho del Río
2.3-5	Curvas de Acumulación de Tamaño de Grano de Materiales de Lecho del Río Chama
2.3-6	Curvas de Acumulación de Tamaño de Grano de Materiales de Lecho del Río Nuestra Señora
2.3-7	Comparación de Curvas de Acumulación de Tamaño de Grano para Materiales de Lecho del Río con Materiales de Abanico Aluvial en Tramos Inferiores del Río Chama
2.3-8	Curva de Caudales Sólidos en Suspensión en Estación Mucurubá
2.3-9	Curva de Caudales Sólidos en Suspensión en Puente Puerto Chama
2.4-1	Cambio Histórico del Curso del Río Chama
2.4-2	Mapa con Curvas de Nivel de Tramos Inferiores
2.4-3	Perfiles Longitudinales de Tramos Inferiores
2.5-1	Area de Inundación de Crecida de 1972
2.5-2	Area de Inundación de Crecida de 1982

<u>No. de Figura</u>	<u>Título</u>
2.5-3	Area de Inundación de Crecida de 1988
2.5-4	Mapa de Ubicación para Desastres Pasados
2.6-1	Distribución Vertical de Clima en Cordillera de los Andes
2.6-2	Relación entre Vegetación, Altitud y Precipitación Anual en Cordillera de los Andes
2.6-3	Mapa de Vegetación en Cuenca del Río Chama
2.7-1	Mapa de Uso de Tierras en Tramos Superiores/Medios
2.7-2	Mapa de Uso de Tierras en Tramos Inferiores
2.7-3	Volumen de Tráfico de Carretera Troncal Ruta 2 y 7 en 1985
2.9-1	Tramos de Mejoramiento del Río en Area de Maracaibo Meridional
3.1-1	Mapas Isohiéticos de Precipitación Diaria durante Crecidas de 1972/82
3.1-2	Distribución de Precipitación de Cada Hora e Hidrograma de Chama - Ejido durante Crecida de Septiembre de 1988
3.1-3	Curva de Intensidad-Duración de Precipitación (Período de Retorno de 100 Años)
3.1-4	Diagrama Modelo para Simulación de Modelo de Función de Almacenamiento
3.1-5	Gráfica de Caudal de Punta Específico
3.1-6	Hidrograma de Crecida Simulada
3.2-1	Procedimiento General de Estudio de Transporte y Balance de Sedimentos
3.2-2	Diagrama Modelo para Estudio de Transporte y Balance de Sedimentos
3.2-3	Curvas de Caudales de Carga de Fondo en Punto de Base
3.2-4	Balance de Sedimentos de Proyecto
3.2-5	Ilustración Esquemática de Movimientos de Sedimentos
3.2-6	Sitios de Desastre Potencial a Lo Largo de Carretera Troncal Ruta 2 y 7
3.3-1	Sección Transversal de Area de Abanico Aluvial
3.3-2	Area de Inundación de Crecida Probable

<u>No. de Figura</u>	<u>Título</u>
3.3-3	Resultado de Cálculo No Uniforme de Desembocadura a El Vigía
3.3-4	Resultado de Cálculo No Uniforme en el Tramo de Dique Existente cerca de El Vigía
5.1-1	Mapa de Ubicación para Plan Propuesto de Control de Sedimentos de Toda la Cuenca
5.1-2	Diagrama Esquemático de Plan de Control de Sedimentos
5.1-3	Ilustración Esquemática de Plan de Control de Sedimentos
5.1-4	Línea Central de Meandro del Río Chama y Alineamiento Propuesto de Canal de Derivación Mucujepe
5.1-5	Perfiles Longitudinales del Río Chama y del Canal de Derivación de Mucujepe
5.1-6	Distribución de Amplitudes de Meandro en Tramos Inferiores del Río Chama
5.1-7	Caso Alternativo No. 1 para Plan de Mejoramiento del Río Chama
5.1-8	Caso Alternativo No. 2 para Plan de Mejoramiento del Río Chama
5.1-9	Caso Alternativo No. 3 para Plan de Mejoramiento del Río Chama
5.1-10	Plan para Caso Alternativo del Canal de Derivación de Mucujepe
5.1-11	Alineamiento Propuesto para Plan de Mejoramiento del Río Chama
5.1-12	Perfil Longitudinal Propuesto para Plan de Mejoramiento del Río Chama
5.1-13	Secciones Transversales Típicas para Plan de Mejoramiento del Río Chama
5.1-14	Estructura Típica de Presa Sabo
5.1-15	Estructura Típica de Presa Continua
5.1-16	Características de Muro de Retención para Prevención de Cárcava
5.1-17	Secciones Transversales Típicas de Dique
5.1-18	Dibujo Normal de Revestimiento
5.1-19	Dibujo Normal de Espigón
5.1-20	Perfil y Sección Transversal Normal de Solera de Fondo
5.1-21	Perfil de Extensión Propuesta de Puente de Puerto Chama

<u>No. de Figura</u>	<u>Título</u>
5.2-1	Plan de Mejoramiento de Canal de Corriente para Río Albarregas y Qda. Milla en Ciudad de Mérida
5.2-2	Plan de Mejoramiento de Canal de Corriente para Río Portuguesa en Ciudad de Ejido
5.2-3	Estructura Típica de Presa de Detención
5.2-4	Estructura Típica de Muro de Retención para Protección Vial
5.2-5	Estructura Típica de Revestimiento
5.3-1	Prioridad de Construcción para Mejoramiento de Canal de Corriente
5.3-2	Cronograma de Construcción para Plan Maestro
6.1-1	Plan de Mejoramiento de Río Chama para Plan de Acción
6.1-2	Dibujos de Diseño Preliminar de Presa Sabo C-1
6.1-3	Dibujos de Diseño Preliminar de Presa Sabo C-5
6.1-4	Dibujos de Diseño Preliminar de Presa Sabo N-1
6.1-5	Disposición de Presa Continua de Poca Altura sobre Qda. Mucusás
6.1-6	Disposición de Presa Continua de Poca Altura sobre Qda. Mucusós
6.1-7	Disposición de Presa Continua de Poca Altura sobre Qda. Mucusurú
6.1-8	Dibujo Normal de Sección Transversal de Dique para Plan de Acción
6.3-1	Cronograma de Construcción para Plan de Acción
6.5-1	Organización de Oficina de Proyecto (Caso 1)
6.5-2	Organización de Oficina de Proyecto (Caso 2)
6.6-1	Sistema de Alarma para Prevención de Desastres por Crecidas
6.6-2	Sistema de Alarma para Prevención de Desastres Viales

## ABREVIACION Y GLOSARIO

### Organismo y Instituto

1. MARNR = Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (Ministry of Environment and Natural Resources)
2. MTC = Ministerio de Transporte y Comunicaciones (Ministry of Transportation and Communications)
3. MINDUR = Ministerio de Desarrollo Urbano (Ministry of Urban Development)
4. MOP = Ministerio de Obras Publicas (Ministry of Public Works)
5. MAC = Ministerio de Agricultura y Cria (Ministry of Agriculture and Breeding Activities)
6. MINAS = Ministerio de Energia y Minas (Ministry of Energy and Mining)
7. CORPOANDES = Corporación de los Andes (The Andes Corporation)
8. DEFENSA CIVIL = Defensa Civil (Civil Defense)
9. ULA = Universidad de los Andes (University of the Andes)
10. IFLA = Instituto Forestal Latino Americano (Institute of Latin American Forest)
11. JICA = Japan International Cooperation Agency (Agencia de Cooperación Internacional de Japon)
12. BID = Banco Inter-Americano de Desarrollo (Inter-American Development Bank)
13. BCV = Banco Central de Venezuela (Central Bank of Venezuela)
14. CIDIAT = Centro Inter-Americano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (Center of Inter-American Integrated Development of Water and Land Resources)
15. INOS = Instituto Nacional de Obras Sanitarias (National Institute of Sanitary Works)
16. OCEI = Oficina Central de Estadísticas y Información (Central Office of Statistics and Information)
17. CORDIPLAN = Central Office of Coordination and Planning (Oficina Central de Coordinación y Planificación)

## ABREVIACION Y GLOSARIO

### Largo

mm	=	millimeter
cm	=	centimeter
m	=	meter
km	=	kilometer

### Area

ha	=	hectare
km <sup>2</sup>	=	square kilometer

### Volumen

m <sup>3</sup>	=	cubic meter
mcm	=	million cubic meter

### Moneda

Bs.	=	Venezuelan Bolívar(es)
US\$	=	United States Dollar(s)

### Peso

g	=	gram
kg	=	kilogram
t	=	ton

### Tiempo

sec, s	=	second
min, m	=	minute
hr, h	=	hour

### Medida Combinada

m <sup>3</sup> /s	=	cubic meter per second
t/d	=	ton per day

### Otrós

GDP	=	Gross Domestic Product
GNP	=	Gross National Product
GRP	=	Gross Regional Product



## CAPITULO 1. INTRODUCCION

### 1.1 Antecedentes del Proyecto

El Río Chama nace en Piedras Blancas en el noroeste de Venezuela con una altitud de alrededor de EL 4.400 m. Fluye unos 100 km a lo largo de la Cordillera de los Andes, el sistema montañoso más alto del país, y después de correr en un terreno llano, desemboca en el Lago de Maracaibo. El área total de captación del Río Chama es de 3.785 km<sup>2</sup>.

La cuenca del Río Chama está favorecida de una variedad de condiciones climáticas y del aprovechamiento subsiguiente del terreno. Los tramos superiores y medios bajo el clima ártico, templado y tropical están disfrutando de la producción agrícola de maíz, papa, zanahorias y otras cosechas; y los tramos inferiores bajo un clima tropical están ocupados principalmente por plantaciones de plátano y pastos.

Administrativamente, la cuenca pertenece a los estados de Mérida y Zulia. Tres ciudades están ubicadas; es decir, Mérida, la capital del estado de Mérida, El Vigía y Tabay. La cuenca tiene una población de 500.000 en 1987, y las ciudades de Mérida, El Vigía y Tabay tienen 216.000, 46.000 y 24.000 habitantes respectivamente.

La cuenca siempre ha estado sufriendo desastres por sedimentos y crecidas para casas, infraestructuras, productos agrícolas, actividades sociales, etc. debido a las fuertes precipitaciones en la cuenca con condición geológica frágil.

El Gobierno de Venezuela ha estado ejecutando obras de rehabilitación, mantenimiento y prevención para hacer frente a los desastres. Sin embargo, la situación apenas ha mejorado a causa del desarrollo agrícola continuo y de la urbanización. Entonces, se prevé que daños aumenten en el futuro.

En estas circunstancias, se ha reconocido la necesidad de proporcionar contramedidas eficaces, y se ha concebido este estudio.

## 1.2 Idea General del Estudio

### 1.2.1 Objetivo

El objetivo del estudio es formular un plan maestro (incluyendo un plan de acción para proyectos urgentes seleccionados para la conservación de la cuenca del Río Chama, centrándose en el control de sedimentos y erosiones, control del colada de derrubios y control de crecidas. El estudio pretende también la transferencia de tecnología a colegas Venezolanos a través de ejecución del mismo.

### 1.2.2 Area de Estudio

El área de estudio es la cuenca entera del Río Chama. Esta cuenca tiene un área de 3.785 km<sup>2</sup>.

### 1.2.3 Alcance de Trabajo

El alcance de trabajo del estudio es como sigue:

#### Recogida y Revisión de Datos Existentes

- Topografía y geología;
- Meteorología e hidrología;
- Aprovechamiento del terreno y del agua;
- Sedimentación y calidad del agua;
- Instalaciones existentes relacionadas con el control de crecidas, sedimentos y erosiones;
- Daños por crecidas, erosiones y sedimentaciones;
- Plan o estudio existente de las obras preventivas de desastres;
- Condiciones administrativas y socioeconómicas; y
- Otros datos, si los hay.

#### Reconocimiento de Campo

- Estudio sobre los daños pasados causados por crecidas, colada de derrubios y desprendimiento de ladera;
- Levantamiento del río; y
- Observación hidrológica

### Estudio y Análisis

- Análisis hidrológico e hidráulico;
- Estudio sobre sedimento y caudal;
- Estudio sobre capacidad de conducción de río y área inundada probable;
- Estudio sobre grado de daños por crecidas; y
- Otros, si los hay.

### Formulación del Plan Maestro

(1) Plan del control de sedimentos y erosiones, plan del control de colada de derrubios y plan del control de crecidas

- Establecer un concepto básico;
- Disposición básica de las estructuras;
- Diseño preliminar de las estructuras principales;
- Programa y organización de operación y mantenimiento;
- Evaluación económica y plan financiero;
- Programa de ejecución implementación y presupuesto de gastos;
- Sistema de pronóstico y alarma; y
- Impacto socioeconómico.

(2) Identificación del área prioritaria

(3) Recomendación de proyectos urgentes

### Formulación del Plan de Acción para Proyectos Urgentes Recomendados

- Diseño preliminar;
- Plan de operación y mantenimiento;
- Presupuesto de gastos y programa de ejecución;
- Evaluación del proyecto; y
- Evaluación sobre el impacto social y ambiental;

#### 1.2.4 Programas del Estudio y del Personal

El estudio ha sido realizado de acuerdo con el programa mostrado en Fig. 1.2-1. El programa del personal está presentado en Fig. 1.2-2.

## CAPITULO 2. CONDICIONES ACTUALES DEL AREA DE ESTUDIO

### 2.1 Topografía y Geología

#### 2.1.1 Topografía

##### Condiciones Fluviales

La cuenca del Río Chama está ubicada en el noroeste de Venezuela y forma la parte central de la Sierra de Mérida, parte norte de la Cordillera de los Andes que se llama generalmente los Andes de Venezuela. Un graben formado por muchas estructuras de fallas se extiende en dirección nordeste - sudoeste en el centro las dos montañas. Una falla activa, llamada la Falla Bocono, se extiende en la misma dirección.

El Río Chama, con unos 200 km de largo, tiene su origen en el alta área montañosa de alrededor de EL 4.400 m en Piedras Blancas, cerca del Puerto El Aquila en el extremo este de la cuenca. Fluye 10 km hacia el sur a través del valle en U formado por glaciares, y alcanza Apartaderos a EL 3.400 m.

De Apartaderos a Estánquez a través de Mérida, baja corriendo unos 80 km casi derecho hacia el sudoeste en el graben a lo largo de la Falla Bocono. Un afluente, el Río Mocotíes, se extiende hacia el nordeste a Estánquez corriendo unos 40 km a través de Tovar, también a lo largo de la falla.

En el área entre Estánquez y El Vigía, el Río Chama corre unos 20 km hacia el norte a través del valle en V en el límite noroeste de la Sierra de Mérida. De El Vigía a río abajo, fluye hacia el norte unos 73 km en el Lago de Maracaibo, formando un abanico aluvial y un delta.

El perfil longitudinal del Río Chama y de sus afluentes principales (Fig. 2.1-1) indica que la corriente principal muestra prácticamente el perfil de un río equilibrado; sin embargo, un punto de cambio se observa en la barranca entre Estánquez y El Vigía, donde la pendiente del cauce cambia repentinamente y la corriente de aguas abajo se vuelve más rápida que la de aguas arriba. En los tramos superiores, generalmente se desarrolla la sedimentación.

En resumen, el perfil longitudinal de ríos equilibrados, donde erosiones y sedimentaciones están bien equilibradas, forma una cuesta cóncava. Al contrario, los ríos San Pablo y La González y la Qda. Tostós, todos los cuales son afluentes principales del Río Chama, muestran los perfiles de cuesta convexa. Esto significa que estos afluentes no han alcanzado la condición de ríos equilibrados y se encuentran aún en erosión activa.

### Condición Topográfica

El mapa topográfico de la cuenca se presenta en Fig. 2.1-2. La Sierra de Mérida está dividida en dos cordilleras por el graben. La cordillera norte llamada Sierra de la Culata está a 3.000 - 4.000 m sobre el nivel del mar y la cordillera sur conocida como Sierra Nevada está a 4.000 - 5.000 m.

Estas montañas llegan a ser más bajas hacia el oeste; la Sierra de la Culata desciende a 1.000 - 1.500 m en la barranca entre Estánquez y el Vigía, y la Sierra Nevada baja a 2.500 - 3.000 m cerca de la cabecera del Río Mocotíes.

Se observan pendientes moderadas en los tramos superiores del Río La González y de la Qda. La Sucia, que fueron formados por deslizamientos de tierras de pequeña y media escala. Las configuraciones de deslizamientos de tierras se habían desarrollado también en ambas orillas de la barranca entre Estánquez y El Vigía. En ambas orillas, especialmente la orilla derecha de los tramos medios del Río Chama entre Tabay y Estánquez, las terrazas fluviales se han desarrollado con precipicios escarpados de 100 a 200 m de altura.

### 2.1.2 Geología

#### Estructura Geológica

La cordillera de Mérida ha estado recibiendo varios movimientos tectónicos desde la Era Precámbrica. Su condición actual empezó con la orogenia Alpina en la Era Mesozoica. La dirección principal de la estructura es casi paralela a la extensión del graben. La estructura de falla principal es la Falla Bocono ubicada casi en el centro del graben.

La Falla Bocono es una gran falla activa de importancia. Esta es una falla de rumbo derecho con desplazamiento vertical, y se extiende unos 450 km en dirección nordeste-sudoeste. Durante el Período Cuaternario, transformaciones laterales ascendieron a centenas de metros, y una transformación a unos 100 m durante los últimos 10.000 años es especialmente reconocida.

### Formación Geológica

La geología de la Cuenca del Río Chama contiene todas edades geológicas desde la Era Precámbrica a la Era Cenozoica. El mapa geológico de la Cuenca del Río Chama se presenta en Fig. 2.1-3; en Fig. 2.1-4 se muestra una sección transversal.

Las formaciones del Período Cuaternario de la Cenozoica están compuestas de capas de sedimentos no consolidados tales como depósitos glaciales, depósitos de talud, depósitos de terraza, depósitos fluviales aluviales, etc. Por otra parte, las formaciones del Período Terciario están compuestas de rocas sedimentarias tales como areniscas, piedras arcillosas, conglomerados, lutitas, etc.

Las formaciones de la Era Mesozoica se componen principalmente de caliza cretácea y de la Quinta formación del Período Jurásico que está generalmente compuesta de areniscas rojas, limolitas, conglomerados. En el área de las formaciones terciarias-mesozoicas, han ocurrido muchos deslizamientos de tierras.

Las formaciones de la Era Paleozoica consisten principalmente en rocas sedimentarias tales como areniscas, limolitas y otros, sin rocas metamórficas. Sin embargo, la formación Mucuchachi del Período Carbonífero, que es la formación más baja de la Era Paleozoica, está compuesta de rocas metamórficas tales como pizarra, metaarenisca, esquisto verde, etc. La formación Mucuchachi se extiende extensamente en la Cuenca del Río Chama, a lo largo de los tramos medios a superiores del Río Nuestra Señora y en la orilla derecha del Río Mocotíes. La pizarra en esta formación tiene una fuerte fisilidad, por lo cual erosiones en arroyo y desprendimientos de rocas se observan en muchos lugares.

Las formaciones Precámbricas se componen de las formaciones Tostós y La Sierra Nevada. Estas formaciones están compuestas de rocas metamórficas tales como pizarra, filita, esquisto y gneis. Las erosiones en arroyo y desprendimientos de rocas debido a la fuerte fisilidad de estas rocas se observan en muchos lugares, y son especialmente notables en el área de páramo ubicada a más de 3.000 m sobre el nivel del mar.

En la Cuenca del Río Chama, pequeñas masas de intrusiones plutónicas aparecen en algunos lugares. Las masas de rocas graníticas en la Sierra de la Culata, la parte este de la cuenca, son más predominantes de todas. Se observan deslizamientos de tierras superficiales y desprendimientos de rocas en varios lugares en las zonas de rocas graníticas del área de páramo.

### 2.1.3 Desprendimiento de Rocas, Deslizamiento de Tierras y Erosiones

Hay muchos desprendimientos de rocas y muchos deslizamientos de tierras en la Cuenca del Río Chama. Los desprendimientos de rocas ocurren principalmente en la zona de rocas metamórficas, mientras los deslizamientos de tierras se observan en la región de rocas sedimentarias terciarias y mesozoicas.

En los tramos superiores, existen unas erosiones en arroyo de gran escala. Sin embargo, éstas son actualmente inactivas debido a los esfuerzos para la conservación del suelo tales como repoblación forestal, trabajos a media ladera, etc.

En los tramos medios, muchos desprendimientos de rocas fueron observados en la Cuenca del Río Nuestra Señora. Estos desprendimientos de rocas se encuentran en la zona de pizarra paleozoica. Los factores que afectan desprendimientos de rocas son (1) presencia de fallas, (2) fisilidad de rocas, (3) causas artificiales tales como construcción de caminos y cría de ganado, y (4) carencia de vegetación debido a las condiciones climáticas.

En el valle en forma de V entre Estánquez y El Vigía en la región de rocas sedimentarias terciarias y mesozoicas, los deslizamientos de tierras más notables ocurrieron concentrados en ambas orillas.

En la Cuenca del Río Chama, el suministro de sedimentos al río depende principalmente de desprendimientos de rocas y de erosiones en arroyo. La mayor parte de los sedimentos quedan en las pendientes de montañas, pero una parte de estos sedimentos fluyen gradualmente en los ríos.

El Cuadro 2.1-1 muestra el registro de desprendimientos de ladera y coladas de derrubios en la Cuenca del Río Chama. Se supone que algunos de ellos estén actualmente en condiciones inestables y tengan la posibilidad de causar daños a tales estructuras artificiales en el futuro.

## 2.2 Meteorología e Hidrología

### 2.2.1 Meteorología General

La cuenca del Río Chama está situada entre latitudes  $8^{\circ}10'$  y  $9^{\circ}02'$  N, y longitudes  $70^{\circ}48'$  y  $71^{\circ}54'$  O. Durante todo el año, pero en grados variables, Venezuela está bajo influencia de la vaguada ecuatorial y de los vientos alisios del hemisferio norte. La vaguada ecuatorial domina durante los meses húmedos (mayo-noviembre) y los vientos alisios predominan durante la parte seca del año (diciembre-abril).

De acuerdo con la distribución de mes en mes de precipitación afectada por las antedichas circulaciones de gran escala, ocurren dos modelos de precipitación genéricos. Estos son (1) el Modelo de Llanos que tiene una máxima ocurrencia simple, y (2) el Modelo Semestral que completa los dos ciclos de estaciones húmedas y secas durante el año.

El Modelo de Llanos es una característica de toda la parte central de Venezuela, mientras el Modelo Semestral es casi siempre predominante en todas las áreas costeras y también en altitudes superiores a 1.000 m donde se prevé el tipo de clima de montaña. El valle del Río Chama está principalmente bajo el Modelo Semestral, pero la cuenca más alta, con Mucuchíes en el centro, disfruta del Modelo de Llanos con una influencia del interior de Venezuela.

La temperatura media anual en el área más arriba en Mucuchíes es de  $11,3^{\circ}\text{C}$ , mientras es de  $19,0^{\circ}\text{C}$  en el Aeropuerto de Mérida. En los tramos

inferiores, la temperatura media anual en el Vigía es relativamente alta, siendo de 27,9°C. La diferencia entre la temperatura máxima diaria y la mínima es grande, siendo de unos 10°C para todas las estaciones. La tasa de evaporación anual en San Juan de Lagunillas en la zona semiárida fue registrada en 2.008 mm, mientras la de Tovar fue sólo de 1.248 mm.

### 2.2.2 Precipitación Anual y Mensual

La cantidad de precipitación anual es bastante diferente entre varias áreas en la cuenca. Como ilustra el mapa isohiético en Fig. 2.2-1, la zona semiárida, que es un área con precipitación de unos 600 mm, se extiende desde la confluencia entre el Río Chama y Qda. La Vizcaina hasta El Morro en la Cuenca del Río Nuestra Señora.

Los tramos medios que están situados aguas arriba de la zona semiárida y la Cuenca del río Mocotíes disfrutan de más precipitaciones anuales en la cuenca, alcanzando 1.800 mm. Las áreas más arriba de la Cuenca del Río Chama tienen precipitaciones moderadas que varían de 800 a 1.000 mm. El área de aguas abajo de El Vigía recibe mucha precipitación que asciende a más de 2.100 mm. La precipitación media anual de toda la Cuenca del Río Chama es de 1.030 mm.

Los modelos de precipitación anual en principales estaciones en la cuenca se presentan en Fig. 2.2-2. Páramo de Mucuchíes, que es el área más arriba, presenta un máximo simple en julio y agosto, mientras las otras estaciones tienen dos picos, en mayo y octubre en Mérida y en abril y noviembre en El Vigía. En San Juan de Lagunillas, en los tramos medios, las precipitaciones mensuales son pequeñas, siendo de unos 80 mm aun en la estación de las lluvias, abril, mayo, octubre y noviembre.

### 2.2.3 Caudal Fluvial

Las estaciones hidrométricas en la cuenca son Ejido (1.130 km<sup>2</sup>) y Mucurubá (365 km<sup>2</sup>) sobre el Río Chama, y Cabana sobre el Río Mucujún. Estas estaciones están equipadas de indicadoras automáticas de nivel del agua, y las mediciones del caudal se llevan a cabo una vez por mes.

El caudal medio anual del Río Chama es de 24,0 m<sup>3</sup>/s (2,1 m<sup>3</sup>/s/100 km<sup>2</sup>, profundidad de la escorrentía de 670 mm) en Ejido y de 5,12 m<sup>3</sup>/s (1,4 m<sup>3</sup>/s/100 km<sup>2</sup>, profundidad de la escorrentía de 440 mm) en Mucurubá.

En cuanto al caudal de punta, el valor más alto observado en Ejido es de 419,7 m<sup>3</sup>/s en abril de 1972, que corresponde al caudal específico de 0,37 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>. Los caudales de punta durante la crecida en septiembre de 1988 en Ejido y El Vigía son de 360 m<sup>3</sup>/s y 720 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

Los caudales altos en Ejido ocurren dos veces en mayo y octubre, correspondiendo al modelo de precipitación en las captaciones, y asimismo, los de Mucurubá ocurren principalmente en junio y julio.

## 2.3 Sedimentación

### 2.3.1 Fuente de Producción de Sedimentos

#### Erosión

El muestreo de datos fue llevado a cabo sobre la topografía fluvial, condiciones geológicas, vegetación, características del sedimento y volumen del sedimento, en 11 sitios sobre cinco afluentes principales; es decir, los ríos Mucujún, Nuestra Señora, La Gonzáles y Mocotíes y la Qda. La Mucuy. Los resultados del estudio se resumen en Cuadro 2.3-1 y las ubicaciones del estudio son como se muestra en Fig. 2.3-1.

La Cuenca del Río Mucujún está generalmente cubierta por bosques espesos y altos y sus cauces fluviales son estables. Raramente se identificaron cárcavas y riachuelos, y no se observaron desprendimientos y deslizamientos. En el sitio de muestreo, el lecho del río está cubierto de cantos y gravas de 200 cm como máximo y 30 cm como promedio. La orilla del río está compuesta de antiguos depósitos de fragmentos.

El lecho del río en los sitios de muestreo de la Qda. Mucuy y de un afluente, el Río Desbarrancadero, consiste en coladas de derrubios formadas en tiempos antiguos, y erosiones secundarias de pequeña escala

ocurren por lo común. Son raras erosiones abarrancadas en lóbulos de colada de derrubios.

La Cuenca del Río Nuestra Señora está cubierta sólo de un bosque escaso, hierbas y a veces, de terrenos para cultivo. Cárcavas están desarrollándose y por lo tanto, erosiones abarrancadas desempeñan un papel importante en la producción de sedimentos. La Qda. Mucusurú, un afluente del Nuestra Señora, está cargada de muchos sedimentos producidos principalmente por erosiones abarrancadas a lo largo del cauce fluvial. Alrededor de los sitios de muestreo, se observaron muchas cárcavas y cuevas deslizantes que causaron deposición en el canal.

La Cuenca del Río González tiene dos distintas cubiertas vegetales naturales. El área de aguas arriba está cubierta de bosques espesos y altos, mientras el área de aguas abajo, particularmente alrededor de la confluencia del Río González con el Río Chama, tiene sólo un bosque escaso, hierbas y cactus. Comparando el tamaño del grano de los materiales del cauce de aguas abajo con el del cauces aguas arriba, se ha determinado que se producen más sedimentos de las cuevas de la orilla del canal de aguas abajo que de las montañas en el área de aguas arriba. Aunque algunos deslizamientos de ladera de pequeña escala fueron identificados a lo largo del canal, el área de aguas arriba es relativamente libre de erosiones abarrancadas debido a la espesa cubierta vegetal natural.

La Cuenca del Río Mocotíes está cubierta de un bosque muy espeso y alto. Excepto las causas artificiales de la erosión tales como explotaciones agrícolas, urbanización y construcción de caminos, ocurren sólo erosiones pequeños. En los sitios de muestreo en los afluentes Tabacal y Casiguito, se observaron erosiones del canal. Estas son principalmente a causa de la erosión descendente y erosión lateral por caudal de crecidas donde ha ocurrido una vez colada de derrubios. Aunque se observaron depósitos de sedimento, el volumen fue más bien pequeño.

## Deslizamiento en Masa

Once sitios del estudio sobre el deslizamiento en masa fueron elegidos de las áreas de aguas arriba de la Qda. Sucia (Chiguara) y los ríos La Portuguesa y La González, y de los tramos medios del Río Chama. Los datos recogidos se refieren al tipo y pendiente de la cuesta, a la profundidad del suelo superficial, a la cubierta vegetal natural, a la dimensión del deslizamiento en masa y al volumen del sedimento. Los resultados del estudio se resumen en Cuadro 2.3-2.

Se identificaron dos deslizamientos de tierras de gran escala en el área más alta de aguas arriba de la Qda. La Sucia en la vecindad de El Guamo. El área está cubierta de un bosque espeso y alto y está geológicamente formada de metapizarra negra. El volumen total de los detritos deslizantes en dos áreas se estima en aproximadamente 900.000 m<sup>3</sup>, y en la cuesta queda todavía detritos residuales de aproximadamente 500.000 m<sup>3</sup> que puedan transportarse gradualmente a la Qda. La Sucia y a la corriente principal del Chama.

Se encuentran identificados dos deslizamientos de tierras a lo largo de la carretera principal desde Mérida hasta Jají en el área de aguas arriba de los ríos La González y La Portuguesa. El área está también cubierta de un bosque espeso y alto y el lecho de roca está compuesto principalmente de arenisca granítica. Aunque la topografía alrededor del área muestra muchas trazas de deslizamiento de tierras de tiempos antiguos, actualmente muchas de ellas son más bien estables cubiertas de bosque y hierbas. El volumen de detritos producidos por los deslizamientos de tierras se estima aproximadamente en 4.500 m<sup>3</sup> para el Río La González y en 20.500 m<sup>3</sup> para el Río La Portuguesa respectivamente.

Hay siete deslizamientos en masa de gran escala en total a lo largo del Río Chama, todos ubicados dentro de la zona semiárida. Tres de los siete se clasifican en lóbulo y dique de colada de derrubios, mientras los otros cuatro son deslizamientos de ladera.

Tres de los últimos deslizamientos de ladera se observaron en las vecindades de Pte. Real, Puente de Chama No. 3 y la confluencia con el Río Nuestra Señora a lo largo de las carreteras troncales nuevas o

antiguas. Como sus ubicaciones indican, los deslizamientos de ladera fueron provocados por la construcción de carreteras. El volumen total producido por estos deslizamientos de ladera fue estimado aproximadamente en 570.000 m<sup>3</sup>, pero el volumen de los que quedan no tratados al pie de la ladera fue estimado en aproximadamente 6.000 m<sup>3</sup> sólo, debido a algunas obras de protección ejecutadas por el MTC. Además, el volumen de los detritos que se ensancha debido a la inestabilidad de la ladera fue también estimado en aproximadamente 40.000 m<sup>3</sup>.

En cuanto a los lóbulos de colada de derrubios a lo largo del Río Chama que están ubicados en González, S. Onofre, Higueroles y Pte. Viejo, tres coladas de derrubios (excepto la de Pte. Viejo) ocurrieron debido a la precipitación fuerte en septiembre de 1988. La colada de derrubios de Pte. Viejo ocurrió hacia fines de los años setenta, y actualmente está estable sin erosión secundaria. El volumen total de la colada de derrubios se estima en aproximadamente 420.000 m<sup>3</sup> y el volumen restante es de aproximadamente 90.000 m<sup>3</sup>.

#### Materiales de Desprendimiento de Rocas

Las zonas de desprendimiento de rocas están distribuidas principalmente en los tramos medios de la Cuenca del Río Chama. El muestreo de materiales de desprendimiento de rocas fue llevado a cabo a lo largo de los Ríos Nuestra Señora y San Pablo y de la Qda. La Vizcaína, y la corriente principal del Río Chama (ubicaciones se muestran en Fig. 2.3-2) donde la producción de sedimentos debido a la erosión de ladera fue observada en un grado predominante por medio de la investigación de campo.

En Fig. 2.3-3 se muestran las curvas de acumulación de tamaño de grano de los materiales muestreados. El diámetro medio del tamaño de grano en el sitio R-1 en el Río Nuestra Señora se estima en 13,1 mm, mientras los del Río San Pablo y de la Qda. La Vizcaína son de 9,1 mm en el sitio R-3 y de 6,2 mm en el sitio R-2 respectivamente. Los materiales de desprendimiento de rocas están compuestos principalmente de arena y gravas; especialmente, el componente de arena ocupa más del 60% de los materiales de desprendimiento de rocas en el Río San Pablo y la Qda. La Vizcaína.

### 2.3.2 Sedimentos de Lecho del Río

Para entender las características de sedimentos de lecho del río, se sacaron y analizaron las muestras de los materiales de lecho del río y del depósito de sedimentos en el abanico aluvial como sigue:

#### Materiales de Lecho del Río

El muestreo fue llevado a cabo en 18 sitios en total y sus ubicaciones se muestran en orden de sucesión como B-1 a B-18 del sitio de aguas arriba en Fig. 2.3-4. Las curvas típicas de acumulación de tamaño de grano para los Ríos Chama y Nuestra Señora se muestran en Fig. 2.3-5 y 2.3-6.

Los materiales de lecho del río de los canales de aguas arriba del Río Chama y sus afluentes principales, por ejemplo, B-1, B-3, B-4 y B-10, están compuestos principalmente de guijarros y gravas de materiales gruesos; el componente de arena aumenta gradualmente hacia los sitios de aguas abajo. En el canal de aguas abajo del Río Chama desde El Vigía, todos los materiales de lecho del río están compuestos de arena y limo.

El diámetro medio de tamaño de grano en el sitio B-1 se estima en 116 mm. Los de los tramos medios y de aguas abajo disminuyen a 41 mm en el sitio B-9 y a 9 mm en el sitio B-12. Sin embargo, en el canal del Río Chama entre Estánquez y el Vigía, el diámetro medio en el sitio B-14 es más grande que el del sitio B-12 ubicado más arriba. Esto significa que algunos sedimentos son suministrados al Río Chama desde los afluentes o por la producción artificial debido a la construcción de la Carretera Panamericana.

Generalmente un revestimiento cubre el lecho del Río Chama. El tamaño de grano de los materiales de revestimiento es en general más grande que el de los materiales del lecho del río. El revestimiento está compuesto usualmente de materiales gruesos, porque sedimentos finos son transportados hacia aguas abajo y quedan los sedimentos gruesos.

### Sedimentos en Abanico Aluvial

Los sedimentos del abanico aluvial fueron muestreados en dos sitios como se muestra en Fig. 2.3-2. Como se muestra en Fig. 2.3-7 donde las curvas de acumulación de tamaño de grano se indican junto con las curvas de materiales de lecho del río en Los Naranjos, Aroa y El Vigía a lo largo del río en el abanico aluvial, el componente de arena aumenta hacia los sitios de aguas abajo. Cerca de Los Naranjos y Vera de Agua, más del 90% de los materiales de lecho del río y de los materiales de abanico aluvial están compuestos de arena.

La investigación de campo fue llevado a cabo en el área de aguas abajo de El Vigía, junto con el susodicho muestreo, con las siguientes observaciones:

- Arena gruesa y gravas finas de unos 10 mm de tamaño de grano son predominantes desde El Vigía hasta Los Naranjos.
- La altura de la orilla es de unos 2 a 3 m desde El Vigía hasta Los Naranjos, mientras es de alrededor de 1 m aguas abajo de los Naranjos.
- Los materiales están compuestos de arena fina y limo desde Los Naranjos hasta la desembocadura.

Basándose en lo susodicho, se concluye que el abanico aluvial se forma desde El Vigía a Los Naranjos que está ubicado unos 20 km aguas abajo de El Vigía.

### 2.3.3 Carga en Suspensión y Sedimento de Embalse

#### Materiales de Carga en Suspensión

El muestreo de los materiales de carga en suspensión fue realizado para medir la concentración de sedimentos en suspensión en la Estación Hidrológica Mucurubá y en el Puente de Puerto Chama donde la medición de los materiales de carga en suspensión ha sido realizada periódicamente por el MARNR. Los registros en estas dos estaciones, junto con los datos obtenidos a través del estudio por muestreo, fueron ploteados como se indica en Fig. 2.3-8 y 2.3-9.

Por medio del análisis de correlación, las curvas de caudales de carga en suspensión que expresan la relación entre caudal de sedimentos y caudal de agua fueron construidas como se expresa abajo:

$$Q_s = 0,18Q^{2,62} \quad (\text{Puente Puerto Chama})$$

$$Q_s = 2,4Q^{1,16} \quad (\text{Estación Hidrológica Mucurubá})$$

donde,  $Q_s$  : caudal de sedimentos de carga en suspensión  
(toneladas/día)

$Q$  : caudal de agua ( $m^3/\text{seg.}$ )

Con el uso de las susodichas curvas de caudales, los caudales de sedimentos anuales fueron calculados durante 9 años de 1967 a 1975 en que son disponibles los datos de caudal diario. Los caudales medios anuales de sedimentos fueron estimados en 21.550.000 toneladas y 10,5 toneladas en el Puente Puerto Chama y la Estación Mucurubá respectivamente.

#### Sedimento de Embalse

La Presa Onia para el control de crecidas y sedimentos con una área de captación de unos  $302 \text{ km}^2$  se construyó sobre el Río Onia en 1973 y ha estado en funcionamiento bajo el MARNR. La cuenca de la Presa Onia está ubicada contiguamente en el norte de la Cuenca del Río Mocotíes.

Por medio de la investigación de campo, se ha comprobado que en unos 10 años el embalse ya había formado depósitos de sedimentos en el espacio sedimentario proyectado para 50 años y que actualmente el nivel superficial del sedimento depositado está superior al nivel del agua de diseño designado.

La producción anual de sedimentos del embalse se estima a base de la condición de depósito del embalse en unos  $1,0 \times 10^6 m^3$  y la producción media anual específica de sedimentos se estima en unos  $3,300 m^3/\text{km}^2/\text{año}$ .

### 2.3.4 Depósito de Sedimentos en los Tramos Inferiores

#### Abanico Aluvial

Un abanico aluvial es un depósito de sedimentos predominantemente gruesos variando de grava a arena. El abanico aluvial se forma en los tramos inferiores del Río Chama aguas abajo de El Vigía. El volumen depositado en el abanico aluvial fue preliminarmente estimado usando los dos datos de sección fluvial:

- Estudio de sección llevado a cabo en 1976 por el MOP
- Estudio de sección llevado a cabo en 1998 por JICA

Las secciones fluviales fueron ploteadas y comparadas en 22 sitios en unos 12 km de tramos fluviales entre El Vigía y Los Naranjos. A base de la comparación, la elevación del cauce en los tramos inferiores del Río Chama se ha aumentado 0,8 m como promedio en un período de 12 años. Suponiendo que el área del abanico se extienda de 50 a 90 km<sup>2</sup>, el volumen total de sedimentos depositados sobre el abanico se estima en 40 a 72 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Por lo tanto, el depósito anual de sedimentos se estima en 3,3 a 6 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

#### Desembocadura

La mayor parte de la carga en suspensión que fluye hacia abajo por El Vigía se ha acumulado en el estuario del Río Chama en el Lago Maracaibo. En tres años de 1986 a 1989, el banco de arena se había expandido 2 km de largo y 1,5 km de ancho. El banco de arena expandido tiene un volumen de sedimentos de aproximadamente 38 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta la porción bajo la etapa de agua de lago. El volumen anual de sedimentos depositados en el estuario se estima en 12 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

Por otra parte, el volumen de carga en suspensión calculado por la curva de caudales de sedimentos en el Puente Puerto Chama durante dos años de 1985 a 1987 oscila de 29 a 36 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Por consiguiente, la carga total en suspensión, incluyendo una parte de acarreo en suspensión, se estima en 15 a 18 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> por año.

### 2.3.5 Transporte de Sedimentos y Mecanismo de Deposición

En vista de los resultados del estudio presentados arriba, el Río Chama y sus afluentes pueden dividirse generalmente en la sección de transporte de sedimentos, sección de semideposición de sedimentos y sección de deposición de sedimentos, como se discute a continuación:

#### Sección de Transporte de Sedimentos

Esta sección está ubicada en el canal principal del Río Chama aguas arriba de la confluencia con el Río Mucujún. Los canales de corriente de los afluentes principales tales como los Ríos Mucujún, Mocotíes, Albarregas, La Gonzáles y Nuestra Señora y la Qda. La Mucuy se clasifican también en esta sección. Estos ríos tienen pendientes fuertes del lecho de más de 1:50, y los máximos anchos del río son de aproximadamente 10 m. Revestimientos son usualmente formados sobre el lecho del río.

#### Sección de Seimdeposición de Sedimentos

Esta sección está ubicada en los tramos medios del canal principal del Chama desde la confluencia con el Río Mucujún hasta el punto de entrada del abanico aluvial en El Vigía. Una cantidad considerable de sedimentos producidos en el área montañosa de aguas arriba está depositada o almacenada temporalmente en esta sección antes de ser transportada al área de aguas abajo.

El área de depósito de sedimentos está dividida topográficamente por la porción en forma de cuello de botella del canal de corriente donde se construyeron cinco puentes nuevos del camino troncal Ruta No. 7. Los sedimentos depositados temporalmente en el canal de corriente llegaron a ser una fuente de producción secundaria de sedimentos que van a ser reerosionados. Además, las erosiones de las orillas ocurren teniendo como resultado la producción de sedimentos nuevos.

## Sección de Depósito de Sedimentos

Esta sección está ubicada en los tramos inferiores del Río Chama desde El Vigía. Los sedimentos transportados desde esta sección se depositan sobre el abanico aluvial muy extendido.

Los materiales del lecho del río consisten en arena finas, limos y arcillas. Ya que es poca la capacidad de transporte de sedimentos, el lecho del río tiende a elevarse cuando los sedimentos llevados desde los tramos superiores durante crecidas exceden la capacidad de transporte.

### 2.4 Condición de Río

#### 2.4.1 Condición del Canal de Corriente

##### Tramos Superiores y Medios

En los tramos superiores desde Tobay, son estables el curso del Río Chama y su perfil longitudinal. El canal de corriente que corre por el valle escarpado y estrecho tiene una capacidad de conducción suficiente, excepto en puntos donde puentes cruzan el canal o donde la elevación del camino que pasa a lo largo del río es relativamente baja.

En los tramos medios desde Tobay a Estánquez, el canal del Río Chama es ancho siendo de unos 200 - 300 m. El curso fluvial y su perfil longitudinal están inestables debido al abastecimiento de sedimentos desde los afluentes. Se puede ver la erosión de las orillas en varios puntos, especialmente en la orilla derecha. El Río Mocotíes está estable con condiciones favorables de vegetación en la cuenca.

##### Tramos Inferiores

El Río Chama fluye a una llanura plana en El Vigía y forma un abanico aluvial por los sedimentos abastecidos desde los tramos superiores/medios. Luego, el río fluye hacia abajo en un delta aluvial al Lago Maracaibo. En los tramos inferiores, las siguientes características fueron deducidas desde los estudios anteriores, datos recogidos y resultados de encuestas por entrevista.

- El Río Chama fue incluido antes en el Sistema Fluvial Escalante en los años 70 y había cambiado a veces sus cursos desarrollando el abanico aluvial.
- En estos 20 años pasados, el río ha mantenido su curso constantemente con cambios menores en la forma de meandros.
- Aunque ha cambiado la forma de meandros, las características de meandro tales como la amplitud y longitud se quedan dentro de cierto alcance de las anteriores y las máximas amplitudes están a menos de 600 m.
- El cambio de meandros ocurrió en más de 15 puntos entre unos 50 puntos en 4 años desde 1973 hasta 1977 correspondiente a 4 puntos del cambio por año como promedio (Refiérase a Fig. 2.4-1).
- Aún continúa el elevamiento del lecho del río, lo cual es probado por el hecho de que el canal excavado en 1985 volvió muy pronto a su anterior estado lleno de sedimentos. El lecho del río en el Puente de Puerto Chama también se ha elevado.

En cuanto al desarrollo del abanico aluvial, el mapa de curva de nivel basado en el mapa topográfico en 1968 se muestra en Fig. 2.4-2. Fig. 2.4-3 muestra el perfil longitudinal a lo largo del curso que conecta El Vigía a la desembocadura del Río Chama, a la del Río Mucujepe y a Sta. Barbara. Desde estas figuras, se deduce que el abanico aluvial ha estado desarrollándose hacia abajo desde El Vigía, dibujando un círculo concéntrico por la curva de nivel.

#### 2.4.2 Uso de Río

En la Cuenca del Río Chama, el agua de río se usa principalmente para el riego, abastecimiento de agua para el uso doméstico y también para la industria de piscicultura de truchas.

El sistema de riego en los tramos superiores y medios pueden verse en la tierra accidentada para el cultivo de zanahorias, maíces, mandicoas, etc. El sistema de abastecimiento de agua para el uso doméstico se ha desarrollado principalmente en las ciudades de Mérida y

Ejido en los tramos medios usando el agua de río desde los afluentes tales como los Ríos Mucujún y Albarregas. Además, las instalaciones de toma de pequeña escala con el sistema de distribución para el riego y abastecimiento de agua de uso doméstico pueden verse en la Cuenca del Río Mocotíes.

En cuanto a la utilización de agua en los tramos inferiores, el agua de río no se usa para el riego y agua municipal. El agua de uso doméstico se toma de pozos profundos o del otro sistema fluvial tal como el Río Mucujepe.

Los materiales del lecho del río han sido tomados para la construcción desde varios lugares en la Cuenca del Río Chama, especialmente en los tramos medios de la Qda. Mucuy. El volumen de materiales del lecho del río tomados desde los tramos inferiores cerca de El Vigía ascendió a 97.500 m<sup>3</sup> en 1985, a 100.000 m<sup>3</sup> en 1987 y a 200.000 m<sup>3</sup> en 1988.

## 2.5 Desastres por Sedimento y Crecidas, y Obras Preventivas

### 2.5.1 Desastres en los Tramos Inferiores

#### Crecidas Históricas

Crecidas han ocurrido todos los años en los tramos inferiores, pero las de 1972, 1982 y 1988 fueron en particular muy serias. Las áreas inundadas por crecidas que son indicadas en Fig. 2.5-1, 2.5-2 y 2.5-3 fueron estimadas en 7.400, 8.500 y 15.800 hect. respectivamente, basándose en los informes de desastres y resultados de entrevistas con los residentes.

Las áreas que son propensas a la crecida son (1) las áreas de aguas abajo de la ciudad de El Vigía a Los Naranjos, (2) las áreas justo aguas abajo de Puerto Chama, y (3) las áreas de aguas abajo de La Fortuna a la desembocadura en el Lago Maracaibo. La profundidad de inundación variaba entre 0,3 y 1,5 metros, pero en su mayor parte a menos de un metro. La duración de inundación también variaba de varias horas a unos días en el área sur de la ciudad de El Vigía, mientras fue de aproximadamente una semana en el área norte cerca del Lago Maracaibo a causa del terreno llano.

Los tramos inferiores están cubiertos principalmente por las plantaciones de plátanos y pastos. Las principales propiedades dañadas debido a la inundación son plátanos, pastos, ganados, casas y maquinaria agrícola. Entre ellos, el daño a plátanos es sumamente serio a causa de su debilidad a la inundación. Por otra parte, las otras propiedades sufren daños graves por crecidas.

### Daños

Las plantaciones de plátanos inundadas en las crecidas de 1972, 1982 y 1988 fueron estimadas en 4.900, 5.900 y 8.900 hect. respectivamente. Los daños por las respectivas crecidas fueron estimados según los parámetros del área inundada, tasa de producción (12.000 kg/hect./año), precio unitario (2,5 Bs./kg), costo de restauración (4.200 Bs./hect.) y tasa de daño, y considerando que los daños a propiedades menores y los daños indirectos son del 20% de los daños directos, en 101 millones de bolívares, 121 millones de bolívares, y 183 millones de bolívares respectivamente.

### 2.5.2 Desastres en los Tramos Superiores/Medios

#### Registros de Desastres

El número de desastres en los tramos superiores/medios ha estado aumentando año por año. Los daños graves en 1987 y 1988 en la Cuenca del Río Chama han sido registrados precisamente, de manera que estos datos han sido adoptados para el estudio de los desastres pasados en estos tramos.

Las ubicaciones de desastres en 1987 y 1988 y los notables en el pasado se indican en Fig. 2.5-4, y las condiciones de daño se presentan en Cuadro 2.5-1. En cuanto a los desastres camineros, sólo los daños a los caminos troncales fueron recogidos a causa de su importante impacto social.

### Daños a Caminos

Como se ha mencionado arriba, los desastres camineros son más comunes en los tramos superiores y medios, y ocurren en varios lugares a lo largo del Río Chama. El tráfico vial fue interrumpido más de una semana en 1979, pero las interrupciones recientes fueron resueltas dentro de un día, y la duración más común fue entre una hora y tres horas debido al mejoramiento de las actividades de restauración de caminos.

La destrucción de caminos causa la interrupción o demora en transporte, y los daños por la interrupción de tráfico pueden dividirse en daños de distancia y daños de tiempo. Los daños distancia se estiman a base del volumen de tráfico, distancia de viaje y gastos de viaje; mientras los daños de tiempo se estiman desde GRDP, tiempo de viaje, volumen de tráfico y promedio de viajeros abonados. Los daños por los desastres de carreteras nacionales en 1988 fueron estimados en 1,8 millones de bolívares, basándose en los susodichos supuestos.

### Otros Daños

La crecida o la colada de derrubios ataca casas ubicadas alrededor de las ciudades tales como Tabay, Mérida y Ejido, pero desastres de gran escala no habían ocurrido en el pasado. Sólo unas casas, usualmente 10 en número, son inundadas un poco.

En cuanto a los caminos locales, desastres ocurren más a menudo que en las carreteras nacionales. Ya que no se mantienen en buena condición, es más larga la interrupción. Sin embargo, el volumen de tráfico en caminos locales no es mucho, no afectando las condiciones sociales gravemente. Las instalaciones locales de suministro eléctrico y de abastecimiento de agua de uso doméstico son dañadas a veces por sedimentos, porque éstas están instaladas sencillamente y se dañan fácilmente.

La población de las ciudades de Mérida y Ejido está aumentando año por año, y las zonas residenciales están extendiéndose hacia las áreas propensas a la crecida a lo largo del Río Albarregas y de la Qda. Montalbán. Aunque unos 10.000 habitantes del área están actualmente

protegidos contra las crecidas por diques de hormigón, hay gran posibilidad de que el área sufra daños por crecidas.

#### Daño Total

El monto de otros daños se supone en el 20% del daño a caminos troncales, y el daño estimado total en los tramos superiores/medios alcanza 2,2 millones de bolívares.

#### 2.5.3 Obras Preventivas de Desastres

Para hacer frente a los desastres crónicos causados por inundación y sedimentación, entidades privadas y el Gobierno de Venezuela habían estado emprendiendo varias clases de obras preventivas. El MARNR es responsable principalmente de la ejecución de las obras y específicamente, la Oficina de Zona No. 16 ha estado emprendiendo todas las obras de control de sedimentos en el área de aguas arriba de El Vigía y la Oficina de Zona No. 5 ha estado concentrándose en las obras de control de crecidas en el área de aguas abajo del Río Chama.

#### Control de Sedimentos en El Area de Aguas Arriba

Las obras de control de sedimentos en el área de aguas arriba que cubre casi toda la Cuenca del Río Chama pueden clasificarse en dos; es decir, conservación del seulo y control del canal de corriente. La conservación del suelo se ha iniciado como uno de los componentes importantes de un proyecto de desarrollo rural por el MAC.

El Mac preparó un programa de conservación del suelo en 1960 y ejecutó las obras en un área de 450 hect. en la parte de aguas arriba de la Cuenca del Río Chama alrededor de Mucuchíes desde 1962 hasta 1966. Las obras, costando Bs. 159.500, fueron compuestas principalmente de depósitos de agua, estanques pequeños y canales de derivación para transportar el agua de corriente a los terrenos para cultivo.

La operación y mantenimiento de estas estructuras fueron emprendidos por el MAC por diez años desde 1967 hasta 1977. Al establecimiento del MARNR en 1978, la operación y mantenimiento de las obras de conservación del suelo en el área fueron asumidos por el MARNR.

Las obras de control del canal de corriente en la Cuenca del Río Chama están compuestas principalmente de presas de detención, muros de retención y consolidaciones de la solera del río. En los últimos 5 años desde 1984 hasta 1988, el MARNR había invertido 21.763.384 bolívares en las obras que han sido emprendidas concéntricamente para los ríos que se supone afecten las zonas urbanas o pobladas (Refiérase a Cuadro 2.5-2). Estas obras son proporcionadas principalmente para proteger las áreas específicas contra los desastres por de sedimentos, en lugar del control de sedimentos de toda la cuenca.

### Control de Crecidas en la Parte de Aguas Abajo

Las obras principales de control de crecidas que fueron emprendidas por la Oficina de Zona No. 5 fueron un dique de tierra de 12 m, el cual se construyó en 1975 a costa de 23 millones de bolívares a lo largo de la orilla izquierda del Río Chama desde el Puente de Chama hacia aguas abajo. El objeto del dique es prevenir la inundación en la plantación de plátanos del lado oeste, la zona residencial y caminos.

El dragado fluvial se emprendió también en 1985 para remover depósitos de sedimentos alrededor de la desembocadura. El dragado se ejecutó para un tramo de unos 2,0 km desde la desembocadura a costa de 8,0 millones de bolívares.

## 2.6 Vegetación

### 2.6.1 Estado Actual de Vegetación

#### Distribución Vertical de Vegetación

La relación entre la elevación de tierra y la temperatura media anual en la Cuenca del Río Chama se muestra en Fig. 2.6-1, donde la cuenca es clasificada en cinco zonas según la temperatura media anual; es decir, zona tropical, zona templada, zona ártica, zona de páramos como una característica de la Cordillera de los Andes, y zona glacial. El límite de selva natural es señalado en la zona de páramos, la cual está cubierta de malezas de Poaceae tales como Calamagrostis, Festuca, Agrostis, etc.

La relación entre la precipitación anual y la forma de vegetación se muestra en Fig. 2.6-2. La tierra en la zona tropical inferior a 1.000 m en elevación con la precipitación anual superior a 2.000 mm tiene pluviselvas tropicales de 30 a 50 m de altura. El monte bajo espinoso de 2 m de altura cubre el área semiárida.

### Distribución Zonal y Características de Vegetación

El mapa de vegetación de la Cuenca del Río Chama se muestra en Fig. 2.6-3, donde se clasifica la vegetación en bosque alto, bosque bajo y prado. El bosque alto consta de árboles de 20 a 40 m de altura con grandes troncos. Por otra parte, árboles bajos de 2 a 3 m de altura y bifurcados a la raíz dominan en el bosque bajo.

Las características de vegetación en las cinco subcuencas se discuten a continuación, basándose en las condiciones del clima y de la distribución vertical de vegetación.

#### (1) Tramos Superiores

El clima en los Tramos Superiores pertenece a las zonas templadas y de páramos, y las dos zonas anteriores están compuestas de bosque bajo de 15% y bosque alto de 5% de toda el área de los Tramos Superiores. La zona de páramos ubicada a mayor altura que las otras dos zonas está compuesta del prado que comparte el 76% de los Tramos Superiores.

La mayor parte del prado en los Tramos Superiores está sin cultivar, y algunas áreas a lo largo del Río Chama se utilizan como tierra agrícola y de pasto. Erosiones del suelo ocurren en la ladera de montaña de más de 30 grados, en particular en cuevas empinadas. Las obras de control de erosiones han sido ejecutadas por agricultores locales bajo la asistencia del MAC para la conservación de la tierra agrícola o de pasto.

#### (2) Tramos Medios I

La mayoría de las áreas de los Tramos Medios I tiene la precipitación anual de 1.200 a 1.600 mm. El bosque está relativamente bien desarrollado y el bosque alto comparte el 54%

del área. La zona de páramos en la cuenca está cubierta de prado como en los Tramos Superiores.

Los prados y árboles bajos están distribuidos extensamente en la zona forestal de estos tramos porque los árboles altos fueron cortados y la zona se utiliza para pastos. Esta tierra de pasto se desarrolla bien debido al suelo fértil y a la precipitación abundante, pero la erosión del suelo ha avanzado en algunos lugares.

### (3) Tramos Medios II

El clima en la mayoría de las partes de los Tramos Medios II corresponde al de la zona tropical. Las montañas de 2.000 a 3.000 m alrededor de la cuenca tiene la precipitación anual de 1.000 a 1.200 mm, y el clima cae bajo el ártico o la zona de páramos. Una amplia área semiárida con la precipitación anual de 600 a 800 mm está situada a lo largo del Río Chama.

La vegetación en esta área está compuesta de árboles bajos de 45%, árboles altos de 47% y prado de 8%. Hay muchas áreas con cuesta empinada superior a 40 grados, especialmente en el área de cuesta de la sierra a lo largo del curso del río donde la erosión del suelo ha avanzado con el progreso de devastación. El suelo superficial había sido llevado de la cuesta empinada superior a 45 grados y no existe vegetación.

La vegetación en la cuesta de la sierra que da al sur o al sudoeste es generalmente más pobre que la que da al este o al norte y la devastación está también más avanzada. La geología del área semiárida está compuesta principalmente de rocas metamórficas, por ejemplo, pizarra, filita, esquisto y gneis. El suelo en ese lugar tiene un gran contenido de arenas muy finas y es generalmente fácil de secarse completamente.

### (4) Tramos Medios III

El curso del río en los Tramos Medios III fluye hacia abajo desde El 3.400 m en el origen del Río Mocotíes a El 600 m en la

confluencia del mismo con el Río Chama. El clima cae bajo las zonas tropicales, templadas y árticas. Estos Tramos tienen mucha precipitación de 1.000 a 1.600 mm.

Los bosques cubren toda el área de estos tramos. Los árboles altos dominan el 78% del área y los árboles bajos crecen principalmente en el área de montañas altas en el lado este. Estos tramos tienen la vegetación más estable y el menor volumen de producción de sedimentos en toda la Cuenca del Río Chama.

#### (5) Tramos Inferiores

El curso del río fluye hacia abajo desde EL 110 m en la confluencia de los Ríos Chama y Mocotíes al Lago Maracaibo. La precipitación anual varía desde 2.200 mm hasta 1.600 mm. La temperatura media anual es superior a 24 grados y toda el área pertenece a la zona tropical.

La vegetación en esta área es compartida por la tierra agrícola del 56% y el bosque alto del 44%, pero la tierra de pasto o la plantación de plátanos está aumentando en el área que da a la desembocadura. Por consiguiente, el control de crecidas es necesario para los tramos inferiores, en lugar de la conservación de la vegetación.

### 2.6.2 Obras de Conservación del Suelo

#### Obras de Repoblación Forestal

Con objeto de reducir la producción de sedimentos, se ejecutaron de 1955 a 1981 las obras de conservación del suelo por la repoblación forestal que tiene por objeto extender el área forestal. Después de dicho período, se llevaron a cabo las obras de repoblación suplementaria en 115 hect. de 1982 a 1988 y en 147 hect. en la ciudad de Mérida en 1988.

Pinus sp. se utiliza principalmente para la repoblación porque las especies o árboles jóvenes son fáciles de obtener, el enraizar es fácil después de la repoblación, la renovación natural es fácil después del cultivo, etc.

## Obras de Protección en Cuesta de la Sierra

Alrededor de las áreas de ladera de montaña cerca del pueblo de Mucuchíes en los tramos superiores del Río Chama, las obras de zanjeo fueron ejecutadas a cierto intervalo a lo largo de la curva de nivel. Este método fue aplicado también para el área de repoblación cerca de Mucuchíes con algunas mejoras. Se ha comprobado que es útil para la conservación de las áreas de cuesta empinada, excepto los casos del baldío extremo o de la selección inadecuada de semillas para la repoblación.

## Obras de Protección de Taludes para Carreteras

Las obras de protección de taludes fueron ejecutadas con éxito en Ruta No. 7 de la carretera troncal que pasa en el área semiárida en los Tramos Medios del Río Chama. Estas obras fueron realizadas por la siembra directa del árbol de la familia de leguminosas y melinis minutiflora de la familia de poaceae.

### 2.7 Condiciones Socioeconómicas

#### 2.7.1 Planes Nacionales de Desarrollo

El Séptimo Plan Nacional de Desarrollo para el período de 1984 a 1988, el último plan de desarrollo de Venezuela, considera tres estrategias importantes; es decir, acelerar el desarrollo y expansión económica de la nación, subir el nivel de vida de todos los venezolanos, y distribuir ingresos más equitativamente. Aunque éstas son las mismas que las estrategias tradicionales, se reconoce a través de la experiencia de recesión económica que los axiomas en que las estrategias fueron basadas deben ser cambiados para una nación más productiva.

Los axiomas son la cooperación entre los sectores públicos y privados, elevación del valor de bolívar basado en la economía no petrolera, inversión de los ingresos por el petróleo en el desarrollo de recursos petrolíferos, establecimiento de la libertad y responsabilidad económicas, estabilización de los precios aumentando la productividad y el suministro.

La tasa de crecimiento anual del producto interior bruto (PIB), tasa de desempleo y otros índices importantes durante el período fueron estimados por el Plan, como se presenta en Cuadro 2.7-1.

## 2.7.2 Población

Los censos nacionales fueron llevados a cabo en 1971 y 1981, y los crecimientos de la población nacional y regional han sido estimados hasta 2000 por la Oficina Central de Estadísticas e Información (OCEI). Como se ha estimado, la población nacional alcanza unos 18,76 millones con una densidad de 20 personas/km<sup>2</sup> en 1988, casi 80% de los cuales se concentran en las áreas urbanas. La tasa de crecimiento anual es de 2,8% como promedio durante el período de 1980-1988.

Los tramos superiores y medios del Río Chama con un área de 3.517 km<sup>2</sup> se extienden a los ocho distritos ó 28 municipios del Estado de Mérida, y responden de casi 31% del área total del Estado de 11.300 km<sup>2</sup>. Cuatro áreas urbanas están ubicadas en el Estado de Mérida; es decir, Mérida, la capital del estado, El Vigía, Ejido y Tovar, con una población total de más de 300.000 en 1988. La concentración de la población en estas áreas es del 68% de los 28 municipios y del 51% del total del Estado.

La tasa de crecimiento anual en los tramos superiores y medios es del 3,0% durante el período de 1981-1988, la cual es más alta que el promedio estatal del 2,6% y el promedio nacional del 2,8%. Entre las áreas urbanas y rurales, aquéllas muestran una tasa de crecimiento del 3,5%, más alta que la de éstas (2,0%). La densidad de población es de 101 personas/km<sup>2</sup>, que es casi el doble y cinco veces de los promedios estatales y nacionales respectivamente (ver Cuadro 2.7-2).

La cuenca inferior está ubicada en el municipio de Uribarri en el Distrito de Colón, Estado de Zulia. Existe sólo un área rural en este municipio con una densidad demográfica de 22 personas/km<sup>2</sup>. La tasa de crecimiento anual es del 1,6% durante el período de 1981-1988, que es mucho más baja que el nivel nacional.

### 2.7.3 Economía Regional

La economía regional del Estado de Mérida depende mucho del tercer sector por 57% en términos del producto regional bruto en 1979, seguido por el segundo sector por 31% y el primer sector por 12%. Además, los segundos y terceros sectores están creciendo rápidamente como lo atestiguan las altas tasas de crecimiento interanual del 10,0% y 5,0% durante el período de 1970-1979 respectivamente (ver Cuadro 2.7-3).

Los principales productos agrícolas del Estado de Mérida y de los estados vecinos (Zulia y Táchira) son plátanos y verduras que contribuyen a la producción nacional por 46% y 18% respectivamente. Después de ser recogidos en El Vigía, 74% y 87% de su producción total se distribuyen a otras regiones tales como Caracas y Maracaibo (ver Cuadro 2.7-4). La proporción de distribución está en Cuadro 2.7-5.

Los precios de mercancías en diez ciudades principales han subido en estos cinco años a razón interanual, variando de 14,3% a 19,3%, y 17,2% como promedio. La tasa de subida de los precios en Mérida es casi la misma que el promedio, es decir, 17,6% como se muestra en Cuadro 2.7-6.

### 2.7.4 Uso de la Tierra

El Estado de Mérida, llamado "Techo de Venezuela", está en su mayor parte cubierto de áreas montañosas. Por eso, el área con vegetación natural justifica tanto como el 75% del Estado, mientras alrededor del 24% se usa para la agricultura y la explotación del ganado vacuno como se presenta en Cuadro 2.7-7.

El uso de la tierra en los tramos superiores y medios muestra casi el mismo modelo que el del Estado, aunque la proporción de las zonas urbanas e industriales es un poco más alta. Las áreas de tierras agrícolas y de pasto son de unos 400 y 400 km<sup>2</sup> respectivamente; la otra área es la tierra sin cultivar como se muestra en Fig. 2.7-1.

La tierra fértil en Venezuela que es adecuada para la agricultura y explotación del ganado vacuno comparte sólo el 2% del territorio nacional. Alrededor del 30% de esta tierra está en la región al sur del

Lago Maracaibo donde los tramos inferiores del Río Chama están ubicados. El área de 1.890 km<sup>2</sup> que se encuentran entre los Ríos Escalante y Mucujepe se utilizan de manera completa, principalmente por plantaciones de plátanos y explotación del ganado vacuno, compartiendo 14% y 77% como se muestra en Fig. 2.7-2. Se informó que su productividad anual fue de 25.000 - 30.000 Bs/hect. y 6.000 - 9.000 Bs/hect. respectivamente.

#### 2.7.5 Red de Carreteras

Dos importantes carreteras troncales, Rutas 2 y 7, pasan en la Cuenca del Río Chama. La Ruta 7 atraviesa los tramos superiores, conectando las importantes ciudades de Mérida y Tovar vía Estánquez. La Ruta 2 que se une con la Ruta 7 cerca de Estánquez, pasa en los tramos inferiores y medios y une las importantes ciudades de El Vigía y El Moralito.

Una nueva carretera está actualmente en construcción entre Estánquez y El Vigía como una parte de la Carretera Mérida - Panamericana, y está prevista para la terminación en 1991. Esta carretera pasa a lo largo del Río Chama, con una porción de túnel de casi 20% de su longitud. Después de la terminación, el tiempo de recorrido entre Estánquez y El Vigía se acortará por casi 70% en comparación con la Ruta 2.

El volumen de tráfico diario alcanza más de 8.000 entre Mérida y El Vigía, y varía de 3.000 a 4.500 entre Tovar y Estánquez. En Fig. 2.7-3 se muestran los detalles del volumen de tráfico diario.

#### 2.7.6 Condiciones Presupuestarias

El presupuesto nacional durante el Séptimo Plan Nacional de Desarrollo (1984-1988) ha aumentado al precio corriente desde 75.041 millones de bolívares en 1984 a 185.122 millones de bolívares en 1988 con un crecimiento medio anual de casi 25% (ver Cuadro 2.7-8). La mayor parte del presupuesto nacional se asigna al Poder Ejecutivo (98%), mientras el resto se distribuye a los Poderes Legislativo y Judiciales (0,7% y 0,9%) como se presenta en Cuadro 2.7-9.

El Poder Ejecutivo abarca actualmente 16 ministerios. Tres de los ministerios, los de Hacienda, Educación y Relaciones Interiores, están a la cabeza en cuanto a la asignación presupuestaria, compartiendo 35,0%, 15,0% y 14,7% del presupuesto nacional. El Ministerio de Hacienda usa alrededor de 85% de su presupuesto para la amortización y el pago de intereses para préstamos.

El Ministerio del Ambiente de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) está en el noveno orden, compartiendo 2,8% del presupuesto nacional, pero su tasa de aumento anual es de 36,5% en base al precio corriente, la cual es mucho más alta que el promedio del total. La proporción del presupuesto nacional con el Producto Interior Bruto (GDP) varía desde 18,8% hasta 24,8% durante el período de 1984-1987, y alrededor de 22% como promedio.

Con respecto a la conservación de la Cuenca del Río Chama, las oficinas encargadas son la Oficina de Zona No. 16 del MARNR y la oficina organizada bajo la Oficina de Zona No. 5 para la región al sur del Lago Maracaibo, las cuales están ubicadas en Mérida y El Vigía respectivamente. (La administración por la Oficina No. 16 cubre actualmente todo el Estado de Mérida). Los montos de inversión pública para el MARNR y estas oficinas son comparados con la inversión per cápita en Cuadro 2.7-10.

Calculado el promedio de la inversión per cápita de la Oficina de Zona No. 16, es de Bs 29, más bajo que el nivel nacional de Bs 41. Por el contrario, el de la región al sur del Lago Maracaibo alcanza Bs 386. Esto es debido a que un proyecto nacional está avanzando actualmente en esta región.

## 2.8 Organización y Reglamento

### 2.8.1 Organización

El Gobierno de Venezuela se compone del gobierno central formado por la Presidencia y los 16 ministerios, y del gobierno local formado por los gobiernos estatales y locales. El MARNR, MAC, MTC y los gobiernos estatales están interesados en los asuntos desde el estudio

hasta la ejecución de los proyectos de conservación de la cuenca fluvial; Corpoandes y CIDIAT están interesados en las etapas de estudio y planificación.

#### Administración del Río

El Río Chama es administrado por las oficinas regionales del MARNR, Oficinas de Zona No. 5 y No. 16. Estas oficinas administran la porción de la cuenca en los Estados de Mérida y Zulia respectivamente.

Ya que no hay estructura fluvial específico a ser administrada en el Estado de Mérida, la Oficina de Zona No. 16 no realiza inspecciones periódicas del canal de corriente excepto el monitoreo de nivel del agua en la Estación de Aforo de Ejido.

La Oficina de Zona No. 5 hace inspecciones periódicas, cada dos semanas, del dique de la orilla izquierda. Las obras de dragado fluvial se ejecutaron antes en 1985 en el tramo de 2 km desde la desembocadura a costa de 8 millones de bolívares, y los materiales de lecho del río se excavan cerca de El Vigía para usarse como materiales de construcción bajo la supervisión de esta oficina.

#### Previsión de Crecidas y Combate contra Crecidas

La responsabilidad de la previsión de crecidas y del combate contra crecidas se impone a la Oficina de Defensa Civil del Ministerio de Relaciones Interiores. Sin embargo, no se ejecuta la previsión de crecidas, y obras de salvamento y restauración se llevan a cabo sólo cuando ocurre un desastre.

Las obras de combate contra crecidas para proteger el dique de la rotura son ejecutadas por la Oficina de Zona No. 5 cuando el nivel del agua en la Estación de Aforo de Ejido esté superior a 2 m. La información sobre el nivel del agua se transmite desde la estación a la Oficina de Zona No. 5 por teléfono.

## 2.8.2 Reglamento

### Reglamento Relacionado con el Uso de la Tierra

El MARNR, que es la principal agencia responsable del reglamento de uso de la tierra, ha estado tomando las siguientes acciones en la Cuenca del Río Chama, especialmente en los tramos superiores desde la Ciudad de Mérida.

- En el Parque Nacional que cubre el 50% de la cuenca superior del Río Chama desde la Ciudad de Mérida, la condición actual se mantiene estrictamente sin más desarrollo de la tierra.
- Para otras áreas, el permiso del MARNR es necesario para el desarrollo de la tierra; no se permiten desarrollos de gran escala.
- Para promover la conservación de la cuenca fluvial entre los habitantes, se proporcionan educación y entrenamiento.
- Para desanimar las actividades ilegales, se hacen inspecciones periódicas en cooperación con los militares.

Además de lo susodicho, está llevándose a cabo el estudio para delimitar el nuevo parque nacional en la parte norte de la cuenca.

### Reglamento del Uso de la Tierra en la Cuenca de Mucujún

En las cuencas fluviales específicas consideradas como importante para preservar el ambiente natural, ordenanzas especiales se preparan para regular estrictamente el uso de la tierra. En la Cuenca del Río Mucujún que desempeña un papel importante como fuente de abastecimiento del agua municipal a la Ciudad de Mérida, así como a la zona residencial y de recreo, una ordenanza de uso de la tierra se promulgó en octubre de 1986.

## 2.9 Proyectos Relacionados

Entre los proyectos terminados y en curso en y alrededor de la Cuenca del Río Chama, los siguientes están relacionados específicamente con el proyecto en estudio.

### Proyecto al Sur del Lago Maracaibo

En 1963, el MARNR, luego el MOP, empezó la ejecución de un proyecto de desarrollo agrícola que incluyó el control de crecidas, mejoramiento de caminos y mejoramiento de sistema de drenaje para el área de 630.000 hect. ubicada al sur del Lago Maracaibo. El proyecto consiste en el mejoramiento del río de 486 km, construcción de la Presa Onia, mejoramiento del sistema de drenaje de 323 km y construcción de caminos de 247,4 km.

Como una parte del componente de control de crecidas, el MARNR ha estado promoviendo el mejoramiento de los principales ríos en el área tales como los Ríos Zulia, Catatumbo, Escalante y Chama en la escala de proyecto, los cuales varían de 50 a 100 años de período de retorno.

De los 486 km proyectados, el tramo de mejoramiento del río terminado en 1988 alcanza 327 km. El costo total de construcción para el proyecto de desarrollo de esta cuenca fue estimado en 1.100 millones de bolívares en 1979, los cuales fueron casi equivalentes al total del entonces presupuesto anual del MARNR.

En cuanto al Río Chama, las obras de mejoramiento del río fueron suspendidas debido al problema de sedimentación desde los tramos medios y superiores. Fig. 2.9-1 muestra el perfil del tramo de mejoramiento del río propuesto.

### Proyectos de Canal de Derivación del Río Chama al Río Mucujepe

Como una parte del plan de control de crecidas del antedicho proyecto, el proyecto de mejoramiento del río a lo largo del curso del Río Chama se formuló primero con objeto de mitigar el daño por crecidas en los tramos inferiores. Luego, el proyecto de canal de derivación que conecta el Río Chama lo sustituyó en 1972, porque éste llevaba ventajas técnicas y económicas al proyecto de mejoramiento. En este proyecto de

canal de derivación, se propuso que todo el caudal de crecidas que fluyera hacia abajo del Río Chama sería derivado al Río Mucujepe a 12 km aguas abajo de El Vigía.

El caudal de diseño de  $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$  con un período de retorno de 100 años fue adoptado para el tramo de canal de derivación de aproximadamente 40 km, y el costo total de construcción fue estimado en 215 millones de bolívares en 1980. Aunque las obras de excavación de canal en el Río Mucujepe fueron ejecutadas para 10 km desde la desembocadura, se suspendió el proyecto debido a los problemas de sedimentación.

#### Proyecto de Mejoramiento de la Qda. Milla

La Qda. Milla que pasa por la Ciudad de Mérida está causando el problema de inundación en caminos y casas a lo largo del curso de la quebrada, Para encontrar una solución de este problema, la Oficina de Zona No. 16 había llevado a cabo el estudio sobre el mejoramiento de la quebrada en 1985, y la construcción ha comenzado para el proyecto con un caudal de diseño del período de retorno de 50 años.

#### Proyecto de la Carretera Panamericana

Este proyecto fue propuesto para proporcionar una ruta más corta entre El Vigía y Estánquez. Al costo de construcción de 1.200 millones de bolívares a ser financiados por el Gobierno de Venezuela (MTC), 20 km de la carretera incluyendo un túnel de 4 km serán construidos durante 1978-1990. En este proyecto, se supone que el volumen de tierra de unos  $2.000.000 \text{ m}^3$  de los  $3.500.000 \text{ m}^3$  desde las obras de excavación deba abandonarse en el Río Chama.

#### Proyecto del Control de Sedimentos para 1989-1993

Para el control de sedimentos en el futuro, la Oficina de Zona No. 16 del MARNR ha preparado el "Plan de Inversiones desde 1989 hasta 1993, Grupo de Infraestructura, Zona No. 16, MARNR", el cual explica el plan quinquenal para el control de sedimentos que cubre no solamente la Cuenca del Río Chama sino también la Cuenca del Río Sto. Domingo.

El costo total de todas las obras fue proyectado provisionalmente en 31.691.788 bolívares. Más del 30% del costo se asignará a la

construcción de presas de retención en canales de corriente. Comparando esta asignación de inversión con la de los cinco años pasados (1984-1988), se reconoce que las medidas de tratamiento de la tierra tales como repoblación forestal, conservación del suelo y vivero han sido enfatizado más que las medidas para construcciones. Sin embargo, el plan se dirige todavía a la protección de las áreas sólo limitadas, pero formuladas desde el punto de vistas del control de sedimentos en toda la cuenca.

## CAPITULO 3. ESTUDIO Y ANÁLISIS

### 3.1 Análisis Hidrológico

#### 3.1.1 Análisis de la Precipitación

##### Productores de Precipitación

En cuanto a las precipitaciones en la Cuenca del Río Chama, son predominantes los chubascos de corta duración que se concentran localmente. Las precipitaciones en junio y julio, el punto máximo del modelo Llanos, son principalmente de tronadas provocadas por los frentes fríos desde el hemisferio austral. Tales precipitaciones se encuentran en el área más alta de aguas arriba de la cuenca.

La ola del este que se propaga hacia el oeste trae precipitaciones en mayo-junio y octubre-noviembre. Este período es la estación de las lluvias del tipo semianual, el tipo climático muy predominante en la Cuenca del Río Chama excepto en las áreas más altas de aguas arriba. La precipitación en la cuenca se caracteriza así como chubascos localmente concentrados.

No se considera que los huracanes establezcan el hidrograma de crecida en este estudio, porque no hay posibilidad de que los huracanes ataquen el área.

##### Distribución Zonal y de Tiempo de Precipitaciones

En Fig. 3.1-1 se muestran los mapas de isoyetas de precipitaciones diarias en 27 de abril de 1972 y en 2 de mayo de 1982, cuando ocurrieron crecidas notables en los tramos inferiores. Estos mapas de isoyetas revelan que la distribución zonal de precipitaciones que causan crecidas en los tramos inferiores tiende a presentar áreas de precipitación relativamente fuerte: una en los tramos medios del Chama con Mérida en el centro, y la otra cerca de la divisoria de la cuenca de los Ríos Chama y Mocotíes. La escala de precipitación media diaria de la cuenca durante crecidas es pequeña siendo menor de 30 mm.

Los registros pluviométricos horarios en la cuenca fueron compilados sólo después de 1983. Fig. 3.1-2 muestra la distribución

horaria de precipitaciones en principales estaciones durante la crecida en 6 de septiembre de 1988, junto con el hidrograma de crecida observada del Río Chama en Ejido. Los datos disponibles muestran que la precipitación causante de crecidas está en la escala de menos de 30 mm/día con duraciones de más o menos unas a varias horas.

#### Valor Máximo Anual de las Precipitaciones Medias Diarias de la Cuenca

Los valores probables de precipitación media de la cuenca para varios períodos de retorno se calculan por los métodos de Iwai basados en los datos desde 1967 hasta 1988 como se presenta en el siguiente cuadro:

Período de Retorno (año)	Valor (mm/día)
100	35,2
50	32,5
30	30,5
10	25,8
5	22,4
2	16,9

#### Intensidad de Precipitación - Curva de Duración

La curva de duración para la intensidad de precipitación de lluvia en un punto determinado del período de retorno de 100 años en las estaciones en la cuenca se clasifica en cuatro líneas como se ilustra en Fig. 3.1-3.

La curva de duración con la más alta intensidad se derivó de las estaciones de Tovar, El Meson, San Pedro Chiguara, La Palmita y El Vigía en el área desde la cuenca del Mocotíes, excepto las estaciones en las áreas más altas de aguas arriba, hasta los tramos inferiores del Río Chama.

La próxima curva es desde las estaciones en Valle Grande, Mérida, Mesa de Ejido, Jají, San Juan de Lagunillas, Tostós, Páramo El Molino en los tramos medios de Río Chama, El Moro, la estación en la Cuenca del Río Nuestra Señora, presenta una curva con pequeñas intensidades. La

curva más baja es de las estaciones en Páramo de Mucuchíes, Páramo Pico El Aguila Y Mucubají en el área más alta de aguas arriba de la Cuenca del Río Chama.

Las precipitaciones anuales en El Morro, Tostós y San Juan de Lagunillas en la zona semiárida de los tramos medios del Río Chama son de unos 500 a 600 mm. Entre ellas, Tostós y San Juan de Lagunillas presentan casi la misma intensidad que Mérida, Mesa de Ejido, Jají, etc., donde la precipitación anual es de 1.000 a 1.800 mm.

### 3.1.2 Modelo de Escorrentía de Crecida

#### Modelo de Función de Almacenamiento para la Cuenca Fluvial

El modelo de función de almacenamiento se aplicó para simular las crecidas de proyecto en este estudio. El modelo de función de almacenamiento se ha desarrollado para expresar características no lineales de fenómenos de escorrentía introduciendo la siguiente función entre el volumen de almacenamiento ( $S_1$ ) de una cuenca y el caudal ( $Q_1$ ) desde el mismo.

$$S_1 = K \cdot Q_1^p$$

donde, K y p son constantes.

Esta es la ecuación del movimiento que expresa escorrentía como número proporcional al exponente del volumen del almacenamiento. El cálculo de la escorrentía se hace en combinación con la siguiente ecuación de continuidad para una cuenca.

$$\frac{dS_1}{dt} = \frac{1}{3,6} \cdot f \cdot r_{ave} \cdot A - Q_1$$

donde,

$S_1$  : volumen de almacenamiento aparente en la cuenca  
( $m^3/s \cdot hr$ )

f : coeficiente de caudal afluyente

- $r_{ave}$  : precipitación media de la cuenca (mm/hr)
- $A$  : área de la cuenca (km<sup>2</sup>)
- $Q_1 = Q (t + T_1)$  : altura de escorrentía directa con tiempo de retardo (m<sup>3</sup>/s)
- $T_1$  : tiempo de retardo (hr)

En el modelo de función de almacenamiento, se supone que en las primeras etapas de precipitación  $f$  sea  $f_1$  y cuando la precipitación acumulada sobrepasa  $R_{sa}$ , sea  $f=1$ .

#### Modelo de Función de Almacenamiento para Canal de Corriente

La función de almacenamiento del canal de corriente se expresa como sigue:

$$S_1 = K \cdot Q_1^p - T_1' \cdot Q_1$$

donde,

- $S_1$  : volumen de almacenamiento aparente en el canal de corriente (m<sup>3</sup>/s·hr)
- $Q_1$  : escorrentía (m<sup>3</sup>/s)
- $K, p$  : constantes
- $T_1'$  : tiempo de retardo para el canal de corriente (hr)

#### División de la Cuenca

La Cuenca del Río Chama se ha dividido en 21 subcuencas. Además, cuatro canales de corriente se han introducido en el modelo como se presenta en el diagrama de modelos mostrado en Fig. 3.1-4.

### K, p y T<sub>1</sub> de la Cuenca

Como se explicó en la parte anterior, la función de almacenamiento de la cuenca se expresa como:

$$S_1 = K \cdot Q_1^p$$

Las constantes K y p se determinan como sigue:

"p" se ha determinado para cada subcuenca aplicando la siguiente fórmula experimental:

$$p = 0,175 (I-1)^{0,235}$$

donde,

I : gradiente medio de la cuenca de captación.

Se supone que "K" esté en la siguiente relación con el gradiente medio de la cuenca (I).

$$K = \alpha \cdot (I-1)^{-0,3}$$

$\alpha$  en la susodicha fórmula fue determinada por la simulación sobre crecidas reales a 25. Por consiguiente, K de  $S = KQ^p$  se expresa como la siguiente fórmula:

$$K = 25 (I-1)^{-0,3}$$

El tiempo de retardo T<sub>1</sub>, explicado en la parte anterior, ha sido determinado por la siguiente fórmula:

$$T_1 = 0,0470 L - 0,56 \quad (L \geq 11,9 \text{ km})$$

$$T_1 = 0 \quad (L < 11,9 \text{ km})$$

### K, p y T<sub>1</sub> del Canal de Corriente

Cuatro canales de corriente se consideraron en el modelo como se ha presentado en el diagrama de modelos (Fig. 3.1-4). Sólo el tiempo de retardo se consideró para los Canales No. 1, 2 y 4, y el efecto de almacenamiento se dio para el Canal No. 3.

La función de almacenamiento para el Canal No. 3 se consideró presumiendo el caudal como corriente uniforme de Manning.

Coefficiente de Rugosidad de Manning:  $n = 0,04$

Gradiente de Río :  $I = 1/73$

Ancho Medio del Río :  $W = 200 \text{ m}$

Longitud del Canal :  $L = 30 \text{ km}$

La función de almacenamiento del Canal de Corriente No. 3 se ha desarrollado como sigue:

$$S = 36,4 Q^{0,6}$$

#### $f_1$ y $R_{sa}$

$f_1$  y  $R_{sa}$  se estiman basándose en las curvas de altura de escorrentía acumulativa observada y simulada. El gasto de la escorrentía para la estimación del hidrograma de diseño se presume en 0,6 para las áreas de bosques y prado y en 0,8 para la tierra en barbecho, no relacionándose con la cantidad de precipitación.

#### Resumen de Parámetros

Las varias constantes por cada subcuenca y cada canal de corriente para el modelo de función de almacenamiento fueron determinadas así como se clasifica en Cuadro 3.1-1.

#### Diagrama de Caudales de Punta Específicos

La Fig. 3.1-5 muestra los caudales de punta de diseño específicos con período de retorno de 100 años para los ríos en el área del Lago Maracaibo Meridional. Los para el Río Chama en El Vigía son de 0,4 ó menos según la ilustración.

### 3.1.3 Hidrograma de Crecida de Proyecto en El Vigía

#### Duración y Cantidad de Precipitación de Proyecto

La duración de precipitación de proyecto se ha determinado en un día considerando lo siguiente:

- Las duraciones de la precipitación que causa crecidas son generalmente de unas a varias horas (aproximadamente 2 a 10 horas) como se discutió en la sección anterior.
- La precipitación diaria es la cantidad de precipitación desde las nueve de la mañana hasta las nueve de la mañana en Venezuela. De la distribución de precipitación horaria observada, se puede decir que la precipitación causante de crecidas ocurre por la tarde hasta la noche y ocurre raramente en dos días hidrológicos.
- El tiempo de concentración de punta del Río Chama en El Vigía es de unas 6 horas.

El valor probable para el máximo anual de las precipitaciones medias diarias de la cuenca se calculó en base a los datos de 22 años desde 1967 hasta 1988 como se presentó en la sección anterior.

#### Distribución Zonal y de Tiempo de Precipitación de Proyecto

La distribución zonal y de tiempo de la precipitación de proyecto se determinó en base a la precipitación observada. Ya que suficientes datos de la precipitación horaria observada son disponibles sólo para cuatro años desde 1985 hasta 1988, se prepararon cuatro modelos de precipitación como precipitaciones de proyecto aplicando la precipitación horaria observada durante el período cuando el valor máximo anual de las precipitaciones medias diarias de la cuenca ocurrió en 1985 a 1988.

#### Limitación por Curva de Duración

Se prepararon las precipitaciones de proyecto ampliando la precipitación real observada como se discutió arriba. Sin embargo, la cantidad máxima por duración se da mencionando la intensidad duración de

la precipitación de lluvia en un punto determinado. Se aplicó el factor de reducción zonal por el método de Fretcher para obtener la precipitación zonal probable desde la probable precipitación de lluvia en un punto determinado.

#### Hidrograma de Crecida Proyecto

Se prepararon los hidrogramas de crecida aplicando las precipitaciones de proyecto obtenidas arriba al modelo de función de almacenamiento de las subcuencas y canales de corriente. Los hidrogramas de crecida calculada en El Vigía se muestran en Fig. 3.1-6; los valores de pico son como sigue:

Tipo de Precipitación de Proyecto	Caudal de Punta del Período de Retorno de 100 Años en El Vigía (m <sup>3</sup> /s)
1985	1.912
1986	2.239
1987	1.642
1988	1.947

De estos resultados, un caudal de proyecto del período de retorno de 100 años del Río Chama en El Vigía se determinó en 2.300 m<sup>3</sup>/s, y el hidrograma del tipo 1986 se eligió como el hidrograma de crecida de proyecto. Los caudales de proyecto del Río Chama en El Vigía para varios períodos de retorno se determinaron como sigue:

Período de Retorno (año)	100	50	30	10	5	2
Caudal de Punta (m <sup>3</sup> /s)	2.300	2.100	1.850	1.450	1.200	750

#### 3.1.4 Caudales de Proyecto a Lo Largo del Curso del Río Chama

El hidrograma de crecida de proyecto en El Vigía se determinó como el tipo 1986 de hidrograma. Aunque este hidrograma da el valor de pico

más alto entre los cuatro tipos en El Vigía, la precipitación se concentra más bien en los tramos inferiores.

Para determinar los caudales de proyecto a lo largo del Río Chama en los tramos medios, se eligió el tipo 1988 que tiene una precipitación relativamente más alta en el área de aguas arriba. Los caudales de proyecto en principales puntos de los tramos medios se determinaron como sigue:

Río	Punto	Caudal de Punta (m <sup>3</sup> /s)
Nuestra Señora	Justo aguas arriba de la confluencia con el Río Chama	610
Río Chama	Aguas abajo de la confluencia con el Nuestra Señora a la confluencia con la González	1.800
Río Chama	Aguas abajo de la confluencia con la González a la confluencia con el Río Mocotíes	1.950
Río Chama	Aguas abajo de la confluencia con el Río Mocotíes a la confluencia con la Qda. La Sucia	2.250

### 3.1.5 Caudales de Proyecto en los Afluentes de Aguas Arriba

#### Afluentes Sujetos

El modelo de función de almacenamiento se aplicó también para estimar caudales de proyecto en los afluentes de aguas arriba, es decir, Qdas. Milla y Montalbán, y ríos Albarregas y Portuguesa. El área de captación, longitud del río, etc. de estos afluentes son como se clasifica en el siguiente cuadro:

Milla Albarregas Montalbán Portuguesa

Area de Captación (km <sup>2</sup> )	7,7	39,5	14,8	20,0
Longitud del Río (km)	5,5	16,0	6,0	9,8
Gradiente Medio	1/4,5	1/6,3	1/2,5	1/4,7
Tiempo de Concentración (hr)	0,44	1,27	0,48	0,78

Precipitación de Proyecto

Un mapa pluviométrico de modelos (tipo centro) se adoptó para la precipitación de proyecto. Aplicando las curvas de duración en Valle Grande, Páramo da Culata, Mesa de Ejido y Mérida, la siguiente intensidad de precipitación se preparó con la reducción zonal por el método de Fretcher.

Milla Albarregas Montalbán Portuguesa

Area de Captación (km <sup>2</sup> )	7,7	39,5	14,8	20,0
Factor de Reducción Zonal	0,95	0,83	0,93	0,91
Precipitación (mm)				
30 min.	35,6	31,1	34,9	34,2
1 hr. 30 min.	54,2	47,4	53,1	52,0
3 hrs. 30 min.	75,5	66,0	73,9	72,3

Caudales de Proyecto

Los caudales de punta por un período de retorno de 100 años para los ríos Albarregas, Montalbán y Portuguesa y un período de retorno de 50 años para la Qda. Milla se determinaron como sigue en base a los cálculos usando el modelo de función de almacenamiento:

---

Milla Albarregas Montalbán Portuguesa

---

Caudal de Proyecto	60	180	110	130
--------------------	----	-----	-----	-----

---

### 3.1.6 Caudal Diario

#### Datos Disponibles

Los datos disponibles del caudal diario en la Cuenca del Río Chama se limitan como sigue:

Chama - Ejido (simulados)	1953-1975
(observados)	1976, 1978-1986
Chama - Mucurubá (observados)	1975-1976, 1978-1987
Mocotíes - La Victoria (simulados)	1953-1975

#### Caudal Diario

Del período de datos presentado arriba, se prepararon los caudales diarios para 1967-1975. Las siguientes tasas de conversión se aplicaron para estimar el caudal diario desde los datos de Chama - Ejido y Mocotíes - La Victoria.

Zona	Subcuenca	Precipitación Anual (mm)	Tasa de Conversión Tasa de Conversión
Zona 1	1,2,3,4,5,6,7,10,11	1.200	1,0 contra Ejido
Zona 2	8,9,12,13,14,15	650	0,54 contra Ejido
Zona 3	16 a 21	1.170	1,0 contra La Victoria

---

Los caudales diarios medios mensuales obtenidos del susodicho cálculo se presentan por subcuencas en Cuadro 3.1-2.

## 3.2 Estudio Sobre la Sedimentación

### 3.2.1 Generalidad

La Cuenca del Río Chama se clasifica como "activa" en términos de la sedimentación, es decir, producción, transporte y depósito de sedimentos son continuos durante todo el año, a diferencia de las cuencas "inactivas" donde una gran cantidad de sedimentos se mueve sólo durante una crecida extraordinaria. Por lo tanto, el caudal de sedimentos debe calcularse a base anual para la formulación del plan de control de sedimentos.

La producción y transporte de sedimentos en un canal de corriente se estimó en primer lugar aplicando la ecuación más apropiada, y en segundo lugar, el balance de sedimentos se estudió para el cálculo del caudal de sedimentos de proyecto en el punto de referencia, es decir, El Vigía.

### 3.2.2 Producción

#### Tipo de Producción

De los resultados de las investigaciones de campo sobre la topografía, geología suelo y meteorología, se cree que la producción de sedimentos en la Cuenca del Río Chama ocurre por tres causas: es decir, (1) erosión de ladera en las áreas desnudas; (2) desprendimiento de ladera en cuestas de la sierra; y (3) erosión por torrentos en cursos de agua de gran pendiente.

Se observan cuestas desnudas principalmente en el área semiárida en los tramos medios de la Cuenca del los Ríos Chama y Nuestra Señora, donde la precipitación anual es sólo de unos 600 mm. Debido a la precipitación escasa, las erosiones torrenciales son de erosiones abarrancadas más bien que erosiones por arroyada em manto.

Los desprendimientos de ladera se observan principalmente en las áreas montuosas formadas con las rocas meteorizadas de las capas terciarias, mesozoicas y paleozoicas. Los desprendimientos se estiman en aproximadamente 2.000 m<sup>2</sup> en área y 20.000 m<sup>3</sup> en volumen.

Las erosiones por torrentes se observan de modo predominante a lo largo de los Ríos Nuestra Señora y San Pablo y la Qda. La Vizcaína y sus afluentes. Las quebradas superiores al segundo orden son las fuentes de sedimentos erosionados que se depositan en el lecho de la quebrada. Las principales quebradas superiores al cuarto orden tienen erosiones de las orillas.

### Volumen de Producción

De acuerdo con la susodicha clasificación de la producción de sedimentos, el volumen de producción se calculó empleando la ecuación más apropiada en consideración a las siguientes condiciones:

- El volumen de producción, caudal y transporte de sedimentos se estimarán para varias precipitaciones y varios caudales de corriente.
- Volumen tanto en cada punto de referencia como en cada subcuenca se calcularán; las condiciones topográficas y geológicas de cada subcuenca se reflejarán en cálculos.

En vista de las susodichas consideraciones, las siguientes ecuaciones se adoptaron para el cálculo del volumen de producción de sedimentos:

#### (1) Erosión de Ladera

Se ha adoptado la siguiente ecuación desarrollada por S. Kohmura para grandes cuencas fluviales:

$$E_v = \frac{476 \text{ Ca Ce}}{d} q^{15/8} \cdot L^{3/8} \cdot S_0^{3/2}$$

donde el caudal afluente vierte en una cuesta,  $q$  se expresa como sigue:

$$q = 2,778 \times 10^{-7} \cdot f \cdot i \text{ (m}^3\text{/s/m}^2\text{)}$$

$E_v$  : volumen erosionado (m<sup>3</sup>/s/m<sup>2</sup>)  
 $Ca$  : proporción areal de la tierra desnuda  
 $Ce$  : coeficiente de erosionabilidad

- f : coeficiente de escorrentía
- i : intensidad de precipitación (mm/hr)
- L : longitud de cuesta (m)
- d : tamaño medio de partícula sedimentaria
- So : gradiente de cuesta

### (2) Desprendimiento de Ladera

Se adoptó la siguiente ecuación desarrollada por Uchiogi en base a la observación continua de desprendimientos de ladera. El volumen de desprendimiento de ladera  $C_v$  se expresa como sigue:

$$C_v = D \cdot K \cdot A (\sum Y - \gamma n)^2 \quad (m^3)$$

donde,

- D : profundidad de desprendimiento medio
- K : coeficiente ( $4,0 \times 10^{-6}$ )
- $\gamma n$  : desprendimiento precipitación ineficaz (mm)
- A : área de cuenca ( $m^2$ )
- $\sum Y$  : precipitación acumulativa (mm)

### (3) Erosión por Torrentes

La siguiente ecuación derivada de la ecuación de Brown se adoptó para el cálculo de la erosión por torrentes.

$$Q_b = \frac{1,925 \times 10^3}{d} \left[ \frac{nQ}{B} \right]^{3/2} \cdot i^{7/4} \cdot B$$

donde,

- $Q_b$  : volumen de erosión por torrentes ( $m^3/s$ )
- B : ancho del torrente (m)
- i : gradiente del lecho de torrente
- n : coeficiente de rugosidad de Manning
- Q : caudal de corriente ( $m^3/s$ )

Usando las susodichas ecuaciones, el volumen de producción de sedimentos se estimó como se presenta en Cuadro 3.2-1. El volumen de producción anual de sedimentos se estima en  $25.560.000 m^3$ , consistente

en 5.240.000 m<sup>3</sup> de material grueso transportado y en 20.320.000 m<sup>3</sup> de material fino transportado. La producción de sedimentos de material grueso de 5.240.000 m<sup>3</sup> se compone de 2.775.000 m<sup>3</sup> por la erosión de ladera, 55.000 m<sup>3</sup> por el desprendimiento de ladera y 2.410.000 m<sup>3</sup> por la erosión por torrentes.

### 3.2.3 Transporte y Balance

#### Procedimiento del Estudio de Transporte y Balance

Para captar el movimiento de sedimentos producidos desde cuevas y torrentes, se llevó a cabo el estudio sobre el transporte y balance de sedimentos a lo largo de la corriente principal del Chama y sus afluentes importantes según un procedimiento mostrado en Fig. 3.2-1.

El punto de referencia del plan de control de sedimentos se estableció en El Vigía, de manera que el caudal de sedimentos se calculó principalmente en El Vigía. Algunos otros puntos se determinaron como puntos de base para comprender el movimiento de sedimentos en la cuenca fluvial.

Los caudales de sedimentos se calcularon para el punto de referencia, así como para todos los puntos de base, mientras los caudales mismos se estimaron por año unitario. Por consiguiente, todos los volúmenes de producción de sedimentos desde subcuencas se convirtieron en los caudales de sedimentos medidos en una unidad de m<sup>3</sup>/año, que se usaron para el análisis del transporte y balance de sedimentos.

#### Punto de Base y División de Cuencas

Los 33 puntos de base para el cálculo del volumen de sedimentos se eligieron a lo largo del Río Chama y sus afluentes importantes, teniendo en cuenta la necesidad de formular el plan de control de sedimentos. Luego, se dividió la Cuenca del Río Chama en 21 subcuencas y 12 canales de corriente como se muestra en el diagrama de modelos de transporte y balance de sedimentos (Fig. 3.2-2).

### Caudal de Sedimentos

Las curvas de caudales de sedimentos que muestran la relación entre caudal fluvial y volumen de los materiales de lecho del río a transportarse en el canal de corriente se desarrollaron en los puntos de base, aplicando una fórmula de transporte de sedimentos en base a la distribución de tamaño de grano obtenida por medio del estudio de los materiales de lecho del río.

Como una fórmula de transporte de sedimentos para estimar la carga de fondo bajo la condición actual del río, se empleó la fórmula de Ashida, Takakashi y Mizuyama (referirse al Informe de Apoyo). Esta fórmula se aplica mucho para la estimación de la carga de fondo en los ríos de montaña con cuesta empinada de lecho del río y distribución extensa de los materiales de lecho del río.

En Fig. 3.2-3 se presentan las curvas de caudales obtenidas en varios puntos de base. Además, las constantes determinadas de curvas de caudales por puntos de base se muestran en Cuadro 3.2-2.

### Caudal Crítico

Dos condiciones del lecho del río, a saber, lecho fijo y lecho móvil, se consideraron en el modelo de transporte de sedimentos. En la sección de lecho fijo, los materiales para el transporte de sedimentos son los producidos en la cuenca y/o los transportados desde el canal superior. En la sección de lecho móvil, los materiales de lecho del río en el canal son también sujetos al transporte.

Sin embargo, como se describió en la Sección 2.3-2, los revestimientos se han formado sobre el lecho del Río Chama y sus afluentes importantes. Por consiguiente, los materiales de lecho del río no se transportan a menos que los revestimientos sean removidos por un caudal de crecida considerable. Los materiales componentes del revestimiento están forzados a moverse cuando la fuerza tractora llega a ser mayor que la fuerza de fricción de los materiales. La fuerza tractora en esta condición se conoce como la fuerza tractora crítica.

El caudal que mueve los materiales en el revestimiento se llama aquí el caudal crítico. Los caudales críticos se estimaron en los respectivos puntos de base, como se resume en Cuadro 3.2-3.

#### Balance de Sedimentos

El cálculo del balance de sedimentos se llevó a cabo en 33 puntos de base componentes de 21 subcuencas y 12 secciones de canal con objeto de examinar el movimiento de sedimentos bajo la condición de río existente con los caudales diarios. El procedimiento de cálculo del balance de sedimentos para cada canal de corriente se explica a continuación.

##### (1) Caudal Afluyente de Sedimentos

Para las subcuencas, el caudal afluyente de sedimentos se estimó a base del rendimiento de producción de sedimentos desde la cuenca de captación como se calculó en la Subsección 3.2-2. El caudal afluyente de sedimentos para la secciones de canal se calculó sumando los siguientes:

- Caudal efluente de sedimentos desde el canal de corriente superior.
- Caudal efluente de sedimentos desde los canales tributarios, si los hay.

##### (2) Caudal Efluente de Sedimentos

Los caudales efluentes de sedimentos son dominados por las capacidades de transporte de sedimentos caracterizados por las condiciones hidráulicas de los respectivos canales de corriente tales como sección transversal del río, gradiente del lecho del río y coeficiente de rugosidad, y la distribución de tamaño de grano de los materiales del lecho del río. El caudal efluente de sedimentos se estimó usando la curva de caudales de sedimentos.

### (3) Balance de Sedimentos

El balance de sedimentos se expresa como sigue:

$$S_b = S_i - S_o$$

donde,

$S_b$  : volumen de balance de sedimentos ( $m^3$ )

$S_i$  : volumen de caudal afluente de sedimentos ( $m^3$ )

$S_o$  : volumen de caudal efluente de sedimentos ( $m^3$ )

Si el volumen de balance de sedimentos ( $S_b$ ) es positivo, los sedimentos se depositan en una subcuenca o un canal de corriente, y si es negativo, ocurre la erosión hidráulica.

### (4) Condición de Cálculo del Balance

Para el cálculo del balance de sedimentos, se aplicaron dos condiciones de lecho del río, a saber, el lecho fijo y el lecho móvil. En caso del canal de lecho fijo, no ocurrirá la erosión hidráulica. Se supone que los canales de corriente de No. 1, 2, 3, 9 y 10 y todas las subcuencas sean del canal de lecho fijo. Se considera que los otros canales de corriente, por ejemplo, No. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 y 12 son de la condición de lecho móvil donde ocurrirán tanto la erosión hidráulica como la sedimentación.

### Resultados del Cálculo

Los caudales de sedimentos se estimaron con el caudal diario de agua durante el período de 9 años des 1967 hasta 1975. El caudal afluente medio de sedimentos se estimó en  $6.260.000 m^3/año$ , y el caudal medio de sedimentos en el punto de referencia es de  $9.600.000 m^3/año$  como se presentó en Cuadro 3.2-4.

Consecuentemente, el balance de sedimentos se estima en  $-3.340.000 m^3/año$ ; este volumen se produce desde la corriente principal por la erosión del lecho y de las orillas. La proporción del caudal de sedimentos con relación al caudal de agua de  $2 \times 10^9 m^3/año$  como promedio se calcula en aproximadamente 0,5%.

### 3.2.4 Caudal de Sedimentos de Proyecto

En cuanto a la formulación del plan maestro para el control de sedimentos en toda la cuenca, los caudales de sedimentos se definen como sigue:

- El caudal de sedimentos de proyecto es el caudal llevado al punto de referencia por el caudal de agua de régimen medio anual.
- El caudal de sedimentos admisible es el caudal que pueda transportarse a través del canal de corriente existente o propuesto aguas abajo del punto de referencia sin causar ningún daño y efecto adverso al canal y su área.
- El caudal de sedimentos de diseño es el resto del caudal de sedimentos de proyecto después del caudal de sedimentos admisible.

En el caudal de sedimentos, sólo el material grueso transportado que pueda depositarse en el canal de corriente se contó en la estimación.

#### Caudal de Sedimentos de Proyecto

El caudal de sedimentos de proyecto se estima en 9.600.000 m<sup>3</sup>/año que es el caudal medio de sedimentos durante 9 años desde 1967 hasta 1975. Para obtener los caudales de sedimento afluentes y efluentes y el balance de los mismos en todos los puntos, se realizó un análisis del modelo de transporte y balance bajo las siguientes condiciones:

- El caudal afluente de sedimentos se estima en 5.850.000 m<sup>3</sup>/año, producidos por la erosión de ladera de 3.100.000 m<sup>3</sup>/año, la erosión de torrentes de 2.690.000 m<sup>3</sup>/año y el desprendimiento de ladera de 60.000 m<sup>3</sup>/año, los cuales se pronostica aumenten por 11,7% en 2020, usando la fórmula de Conservación del Suelo de EE. UU. que expresa un avance anual de la cabeza de cárcava.
- El hidrograma de descarga diaria de 1971 se adopta como un hidrograma modelo para calcular el transporte y balance de sedimento en la cuenca.

Los caudales afluentes y efluentes de sedimentos y el balance de los mismos en todos los puntos de base se calcularon como se presenta

esquemáticamente en Fig. 3.2-4. Las principales fuentes de sedimentos se concentran en los tramos medios del área semiárida, especialmente las Cuencas de los Ríos Nuestra Señora y San Pablo y de la Qda. La Vizcaína.

Aparte de dichas fuentes de sedimentos en las cuestas de la sierra, hay otra fuente en el canal principal del Río Chama. Debido a la erosión del canal principal, se produce un caudal de sedimentos de 3.750.000 m<sup>3</sup>/s.

#### Caudal de Sedimentos Admisible

En el supuesto de que el canal de corriente aguas abajo de El Vigía se mejore para llevar la crecida de proyecto de un período de retorno de 100 años, el caudal de sedimentos admisible se evaluó para el mejoramiento del río propuesto. Se considera que el caudal de sedimentos admisible se transporta al Lago Maracaibo sin depositar sedimentos o degradarse.

El plan de mejoramiento del río propuesto se caracteriza como sigue:

Longitud de Mejoramiento	: 53,4 km
Sección Transversal Normal	: Simple con una anchura de 600 m
Dique	: De tierra con una pendiente de 1 : 2,0

La fórmula de Ashida, Takakashi y Mizuyama se empleó para el cálculo. Una sección transversal representativa, donde la capacidad de transporte de sedimentos se considera mínima, se eligió en el extremo del abanico aluvial.

El volumen de sedimentos calculado utilizando el hidrograma modelo de 1971 fue de 2.120.000 m<sup>3</sup>/año en la sección representativa; por lo tanto, se determinó que este volumen fue el caudal de sedimentos admisible.

### Caudal de Sedimentos de Diseño

El caudal de sedimentos de diseño, que es una parte del caudal de sedimentos de proyecto excediendo el caudal de sedimentos admisible, se estimó consecuentemente en 7.480.000 m<sup>3</sup>/año, como los movimientos de sedimento se presentar esquemáticamente en Fig. 3.2-5. Este caudal de sedimentos se controlará para evitar el elevamiento del lecho del río aguas abajo del El Vigía.

#### 3.2.5 Probabilidad de Ocurrir el Desastre por Sedimentos

En la sección anterior, se estimó el volumen de sedimentos de diseño que se usa al formular el plan de control de sedimentos para el punto de referencia de El Vigía, que cubre la mayor parte de la Cuenca del Río Chama. Por otra parte, desastres por sedimentos ocurren aun en el área local y es necesario aclarar las características básica salientes del sedimento para la formulación del plan local de control de sedimentos.

Ya que existen unos 170 sitios de desastre potencial (Fig. 3.2-6), es difícil estimar el cuadal de sedimentos para cada sitio a juzgar por la disponibilidad de datos exactos y el propósito de la formulación. Por lo tanto, se hizo un estudio para determinar el número de sitios de desastre probable por sedimentos con us parámetro de precipitación.

#### Número Probable de Sitios de Desastre

El número de sitios de desastre por sedimentos se estimó desde la precipitación diaria probable para formular un plan preventivo. Los sitios más sobresalientes se reconocieron entre los sitios dañados durante estos cinco años pasados.

La precipitación diaria inefectiva al desastre por sedimentos se evaluó de los registros pesados de 15 mm/día correspondiente a la precipitación media de la cuenca en El Vigía. Se estableció a relación entre la precipitación media de la cuenca y la precipitación máxima en un punto determinado, la precipitación media diaria de la cuenca en El Vigía de 15 mm/día corresponde a 60 mm/día de la máxima precipitación diaria en cierta ubicación.

Ya que los sitios de desastre potencial están esparcidos en toda la cuenca, el número de sitios de desastre se estimó a base de la precipitación media diaria de la cuenca. Suponiendo que el número de sitios de desastre está en proporción con el cuadrado de la diferencia entre la precipitación diaria probable y la precipitación inefectiva, se estimaron la probabilidad de ocurrir y el número de sitios de desastre incluyendo sus tipos, como se muestra en el siguiente cuadro:

Período de Retorno	Número de Sitios de Desastres por Sedimentos			Total
	Coñada de Derrubios/Sedimentos	Desprendimiento de Ladera	Erosión de las Orillas	
100 años	88	6	6	100
50	63	6	6	75
30	48	6	6	60
10	20	2	6	28
5	7	2	6	15
2	0	0	0	0

### Selección de los Sitios de Desastre Probable

Los sitios de desastre probable para cada período de retorno se seleccionaron de entre los 170 sitios potenciales (Fig. 3.2-6), considerando el grado de peligro que se clasificó a base de las condiciones naturales tales como área de captación, longitud del canal, gradiente del canal/cuesta, geología y cubierta vegetal natural.

### 3.3 Estudio Sobre la Inundación de Crecida

#### 3.3.1 Características de la Inundación de Crecida

##### Inundaciones en 1972, 1982 y 1988

En vista de la condición de inundación en 1972, 1982 y 1988 (Fig. 2.5-1 a 2.5-3), se dividieron los tramos inferiores en cinco tramos: (1) tramo de 12 km desde El Vigía con un dique en la orilla izquierda; (2) tramo de 16 km en los tramos más inferiores; (3) tramo entre 45 km y 32 km desde la desembocadura; (4) tramo de 16 km aguas abajo desde Puente de Puerto Chama; e (5) tramo de 16 km de los tramos superiores desde la desembocadura.

Según los registros de inundación pasados, el área de inundación es grande en los tramos (1), (2), (4) y (5), mientras se dice que la inundación en tramo (3) no es tan grande. Se presume que el agua de inundación, fluyendo hacia abajo a lo largo del curso del río en tramo (1) y tramo (2), vuelva al curso del río en su camino al tramo (3).

#### Características Topográficas del Area Inundada

Las áreas inundadas están principalmente en el abanico aluvial que se ha desarrollado hacia abajo desde El Vigía. Ya que el comportamiento del agua de inundación es dominado por las menores ondulaciones del área, es necesario un estudio sobre las menores ondulaciones.

Las secciones transversales del área de abanico aluvial, donde el agua de inundación de crecida se supone fluya hacia abajo, se obtuvieron desde el mapa topográfico a la escala de 1/25.000, como se muestra en Fig. 3.3-1. Desde el estudio de estas secciones transversales, se ha encontrado que diques naturales con una anchura de canal de 200 a 1.500 m se habían formado a lo largo del curso del Río Chama, y además se puede ver la microaltiplanicie con una anchura de 4.000 a 5.500 m.

En caso de una crecida de pequeña escala, el agua de inundación se confinará en esta sección transversal dentro de este dique natural con el alcance entre 200 y 1.500 m, que se espera tenga una capacidad de conducción de unos  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ . El agua excedente superior a dicha capacidad de conducción en caso de una gran crecida fluirá principalmente hacia abajo con una anchura de inundación de 4.000 a 5.500 m, que puede tener una capacidad de conducción de unos  $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . En los tramos inferiores de 16 km desde la desembocadura, tal dique natural no se encuentra y las aguas de crecida tienden a esparcirse sobre un área extensa.

En Fig. 3.3-2 se muestra el área de inundación probable basada en la antedicha consideración.

### 3.3.2 Capacidad de Conducción del Canal de Corriente

#### Condición de Cálculo

Antes de la formulación del modelo de inundación de crecida, se examinó la capacidad de conducción del canal de corriente del Río Chama en los tramos inferiores desde El Vigía en las siguientes condiciones, usando los resultados del reconocimiento realizado durante este período del Estudio:

- Se aplica el método de cálculo no uniforme;
- Se adopta el coeficiente de rugosidad de Manning, a juzgar por las condiciones fluviales; y
- Tres casos de caudal, 50, 100 y 150 m<sup>3</sup>/s, se examinan en primer lugar para todo el tramo y los otros tres casos de 1.000, 2.000 y 3.000 m<sup>3</sup>/s se aplican para el tramo de 12 km con dique, porque esta porción tiene una mayor capacidad de conducción en comparación con el otro tramo sin dique.

#### Método de Cálculo No Uniforme

##### (1) Ecuación Básica

La siguiente ecuación se usa para el análisis del caudal de crecidas:

$$\left[ H_2 + \frac{1}{2g} \left( \frac{Q_2}{A_2} \right)^2 \right] - \left[ H_1 + \frac{1}{2g} \left( \frac{Q_1}{A_1} \right)^2 \right] = h_e \quad \dots (1)$$

$$h_e = \frac{1}{2} \left[ \frac{N_1^2 Q_1^2}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{N_2^2 Q_2^2}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right] \Delta x \quad \dots (2)$$

donde, los subíndices 1 y 2 indican las dimensiones de las secciones de aguas arriba y de aguas abajo respectivamente.

H = nivel del agua

g = aceleración gravífica

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

- A = área de sección transversal ( $m^2$ )  
R = radio hidráulico  
 $\Delta X$  = distancia entre dos secciones transversales adyacentes  
n = coeficiente de rugosidad

(2) Procedimiento de Cálculo

(a) Determinación de las Características de la Sección Transversal

Usando las secciones transversales, se preparan los cuadros del nivel del agua H y los valores correspondientes A y R.

(b) Determinación del Nivel del Agua en el Extremo de Aguas Abajo

El nivel del agua en el extremo de aguas abajo se determina tomando en consideración el caudal a usarse y las condiciones en el extremo de aguas abajo tales como nivel de marea y principal nivel de río.

(c) Cálculo del Caudal No Uniforme

Basándose en las condiciones anteriormente mencionadas y según las Ecuaciones (1) y (2), el cálculo sucesivo del caudal no uniforme empezó desde la sección transversal de aguas abajo y sucesivamente hasta la de aguas arriba para calcular el nivel y áreas del agua de inundación.

Resultados del Cálculo

Los resultados del cálculo se muestran en Fig. 3.3-3 y 3.3-4. Se presume de estas figuras que la capacidad de conducción sin desbordarse del Río Chama, la cual es obtenible en la comparación entre la altura de la orilla y el nivel del agua calculado, sea de unos  $1.000 m^3/s$  en el tramo con dique.

Sin embargo, la capacidad de conducción en el tramo con dique se reduce a unos  $300 m^3/s$  cuando el dique está roto, como se observó desde el hecho de que la crecida en 1988 con un caudal de unos  $700 m^3/s$  tuvo inundación en este tramo cuando el dique estaba roto.

### 3.3.3 Análisis de la Inundación de Crecida

El procedimiento del análisis de la inundación de crecida es como sigue:

- Selección de la metodología para el análisis de la inundación de crecida.
- Formulación del modelo de simulación de la inundación de crecida;
- Determinación de las constantes del modelo; y
- Cálculo del caudal de inundación de crecida y del nivel del agua.

#### Selección del Método para el Análisis de la Inundación de Crecida

El área inundada de los tramos inferiores se encuentra en la cuesta relativamente empinada con una pendiente superior a 1/1.000. El agua de inundación fluye en la cuesta hacia abajo a lo largo del curso del río hasta el Lago Maracaibo.

Entre los tipos de inundación de crecida que se clasifican generalmente en el tipo de almacenamiento y el tipo de difusión, puede que la condición de inundación en esta área pertenezca al tipo de almacenamiento a juzgar por la condición topográfica anteriormente mencionada en el área inundada.

En consideración al tipo de inundación de crecida y a la topografía del área propensa a la crecida, el modelo de función de almacenamiento se eligió antes que los otros modelos de inundación tales como Modelo de Muskingum, Modelo de Flujo Variable Simplificado, Flujo Variable Bidimensional, etc., para la consistencia con el método de análisis de escorrentía.

#### Formulación del Modelo de Simulación de la Inundación de Crecida

Basándose en el área de inundación registrada en 1972, 1982 y 1988, así como en el mapa topográfico, se presumió el área de inundación probable que podría subdividirse en cinco tramos (referirse a Fig. 3.3-2). Para reflejar estas condiciones de inundación de crecida,

el modelo de simulación se caracterizó por los tramos subdivididos de los tramos inferiores.

#### Determinación de las Constantes del Modelo

En el modelo de función de almacenamiento, la siguiente ecuación exponencial se usa para expresar la relación entre caudal de crecidas (Q) y volumen de almacenamiento (S) del área de inundación incluyendo el canal de corriente.

$$S = KQ^p$$

donde,

S : volumen de almacenamiento ( $m^3/s \cdot hr$ )

Q : caudal ( $m^3/s$ )

K,p: constantes

La relación entre Q y S cambia considerablemente cuando el caudal de crecidas es superior a la capacidad de conducción del canal de corriente, porque el volumen de almacenamiento para el caudal de crecidas inferior a la capacidad de conducción se cuenta sólo para el del canal de corriente, mientras el volumen de almacenamiento superior a la capacidad de conducción incluye el del área de inundación y el del canal de corriente.

Así, la relación entre Q y S se supone generalmente con una función exponencial de dos escalones. Las constantes "K" y "p" del modelo de función de almacenamiento se determinaron a base de la relación hidrológica entre caudales de crecidas y su correspondiente volumen de almacenamiento del canal de corriente y del área de inundación.

#### Cálculo del Caudal de Inundación de Crecida y del Nivel del Agua

El cálculo del caudal de inundación de crecida se hizo basándose en las siguientes condiciones. Los resultados del cálculo se muestran en Cuadro 3.3-1.

- Se emplean seis casos de estudio con la probabilidad de período de retorno de 2,5 10, 30, 50 y 100 años.

- Se aplica una semana como duración de cálculo para evaluar el daño por crecidas a los productos agrícolas, puesto que la magnitud del daño depende no sólo de la profundidad del agua de inundación, sino también de la duración de inundación.
- El caudal de crecidas calculado se convierte en el nivel del agua por la curva de caudales basada en el cálculo no uniforme.

## CAPITULO 4. PRINCIPIOS DE FORMULACION DE PROYECTO

### 4.1 Identificación de las Propiedades Objetivo

Los desastres por sedimentos y crecidas ocurren en diferentes ubicaciones afectando las actividades sociales y económicas en la Cuenca del Río Chama. Se clasifican los desastres en cuatro según el tipo y magnitud como sigue:

- Desastres por inundaciones que se propagan sobre un área extensa y causan daños considerables a la agricultura, infraestructuras y pequeñas zonas urbanas en los tramos inferiores;
- Desastres debido al desprendimiento de ladera, a la colada de derrubios y a otras causas que ocurran en puntos pero afecten las actividades sociales y económicas en gran parte debido a la interrupción de tráfico en los caminos troncales tales como Ruta 2 y Ruta 7;
- Desastres por inundaciones que no son tan graves, pero se supone aumenten en el futuro debido al desarrollo urbano tales como los que ocurran en las zonas urbanas de las ciudades de Mérida y Ejido; y
- Desastres por sedimentos y crecidas que ocurren en puntos y no se propagan a las áreas contiguas tales como los que ocurran en los caminos rurales, casas en pequeñas aldeas, pequeñas áreas agrícolas y otras.

Ya que los daños a las propiedades en las primeras tres categorías tendrán una gran influencia sobre las actividades sociales y económicas en la Cuenca del Río Chama, las propiedades cubiertas por estas tres categorías se eligieron como propiedades objetivo para este proyecto de conservación de la cuenca.

## 4.2 Manera de Formulación del Proyecto

### Plan Maestro y Plan de Acción

El plan maestro para la conservación de la cuenca fluvial, que consiste en las obras de control de sedimentos y crecidas, se formula primero con su año objetivo fijado en 2020. En el marco del plan maestro, un plan de acción se formula también para los proyectos urgentes seleccionados con el año objetivo fijado en 2000.

### Proyecto de Toda la Cuenca y Proyecto Local

El área de planificación para las obras preventivas de desastres depende de las propiedades objetivo como se describe a continuación.

#### (1) Areas Agrícolas y Residenciales en los Tramos Inferiores

Los desastres son causados fundamentalmente por el caudal de sedimentos y crecidas desde los tramos superiores y medios y por la inundación en los tramos inferiores. Por lo tanto, el área de planificación cubrirá toda la Cuenca del Río Chama.

#### (2) Caminos Troncales Ruta 2 y Ruta 7

Los desastres debido al desprendimiento de ladera, a la colada de derrubios, al deslizamiento de tierras y a otras causas ocurren en puntos en los caminos independientemente de uno a otro. Por consiguiente, el área de planificación para cada desastre se limita a un área relativamente pequeña.

#### (3) Zonas Urbanas de Mérida y Ejido

Las zonas urbanas en las ciudades de Mérida y Ejido pertenecen a las pequeñas cuencas fluviales de los Ríos Albarregas y Portuguesa y de la Qda. Milla. En consecuencia, el área de planificación se limita también al área pequeña de las cuencas.

Ya que hay mucha diferencia en tamaño entre las áreas de planificación mencionadas arriba, es difícil formular el plan preventivo de desastres para cada área de planificación al mismo nivel. Para un planteamiento más objetivo, se divide el proyecto de conservación de la

cuenca fluvial en dos subproyectos, es decir, proyecto de toda la cuenca y proyecto local, como se presenta en el siguiente cuadro. Los planes maestro y de acción para los subproyectos se formulan separadamente, pero la evaluación del proyecto se hace para ambos proyectos en conjunto.

Subproyecto	Propiedades Objetivo	Area de Planificación	Objetivo
1. Proyecto de Toda la Cuenca	Area agrícola y residencial	Toda la Cuenca Fluvial	Control de Crecidas y Sedimentos
2. Proyecto Local	Rutas 2 y 7 de los caminos troncales	Corriente y Cuesta	Control de Sedimentos
	Zonas urbanas de las ciudades de Mérida y Ejido	Corriente	Control de Crecidas

#### 4.3 Concepto de Formulación del Proyecto

##### 4.3.1 Proyecto de Toda la Cuenca

###### Objetivo

El objetivo del proyecto de toda la cuenca es mitigar el daño por la inundación de crecida en los tramos inferiores. Para lograr este objetivo, crecidas se controlarán en los tramos inferiores y sedimentos se controlarán en los tramos superiores/medios para prevenir el depósito de sedimentos y para la disminución resultante en la capacidad de conducción del curso del río en los tramos inferiores.

###### Escala del Proyecto

###### (1) Escala del Proyecto para el Control de Sedimentos

La escala del proyecto para el control de sedimentos bajo el proyecto de toda la cuenca se establece para controlar todos los sedimentos dañinos, que puedan disminuir la capacidad de conducción, mediante el plan maestro con el año objetivo fijado en 2020.

## (2) Escala de Proyecto para el Control de Crecidas

La escala del proyecto para el plan maestro de control de crecidas se determina en términos de la probabilidad de ocurrir, considerando los aspectos técnicos, sociales, económicos y financieros, con énfasis especial en el aspecto social. Las escalas del proyecto empleados en los similares se examinaron y tomaron en consideración como un índice de requerimientos sociales.

La escala del plan de acción se decide en el marco del plan maestro, considerando los aspectos técnicos, económicos y financieros.

### Casos de Estudio Alternativo

Los casos de estudio alternativo de las medidas estructurales para el plan maestro de control de sedimentos y crecidas se eligen en los realistas en vista de las condiciones naturales de la cuenca, por ejemplo, topografía, geología, meteorología, hidrología, etc. Por otra parte, el estudio alternativo sobre las medidas estructurales para la formulación del plan de acción se prepara poniendo énfasis en puntos más detallados, por ejemplo, tipo estructural, materiales utilizados, etc., de las estructuras individuales.

En cuanto a las medidas no estructurales que puedan suplir las estructurales a un costo menor, las medidas óptimas se examinan conjuntamente con la formulación del plan de acción.

### Selección del Plan Optimo

Entre los casos de estudio alternativo, la combinación óptima de las medidas estructurales se elige desde los aspectos técnicos y económicos y, en consecuencia, se formula el plan de control de sedimento y crecidas. La adecuación del plan formulado se confirma en consideración a la viabilidad económica y a la suministrabilidad financiera.

#### 4.3.2 Proyecto Local

##### Objetivo

El proyecto local tiene por objeto proteger los caminos y las zonas urbanas del caudal de sedimentos, desprendimiento de ladera, deslizamiento de tierras e inundación de crecida. Los objetivos del proyecto para la prevención de desastres por sedimentos son Ruta No. 2 y No. 7 del camino troncal y los de la prevención de daños por crecidas son las zonas urbanas de Mérida y Ejido.

##### Escala del Proyecto

La escala del proyecto para la formulación del plan maestro del proyecto local con objeto de prevenir tanto desastres por sedimentos como daños por crecidas se determina en términos de la probabilidad de ocurrir, considerando los puntos de vista técnicos y sociales.

##### Método Aplicable

Las medidas estructurales aplicables se ponen en una lista, considerando los usados generalmente en Venezuela y en otros países, así como las condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas y otros aspectos. Como en el proyecto de toda la cuenca, las medidas no estructurales se consideraron sólo en el plan de acción.

##### Método Óptimo

El método óptimo para la prevención tanto de desastres por sedimentos como de daños por crecidas se elige mediante un estudio conceptual sobre los métodos aplicables a juzgar por las características de los sitios tales como topografía, geología, etc.

El plan óptimo de las medidas no estructurales se elige en consideración a la capacidad y disponibilidad del personal e instalaciones de las agencias interesadas.