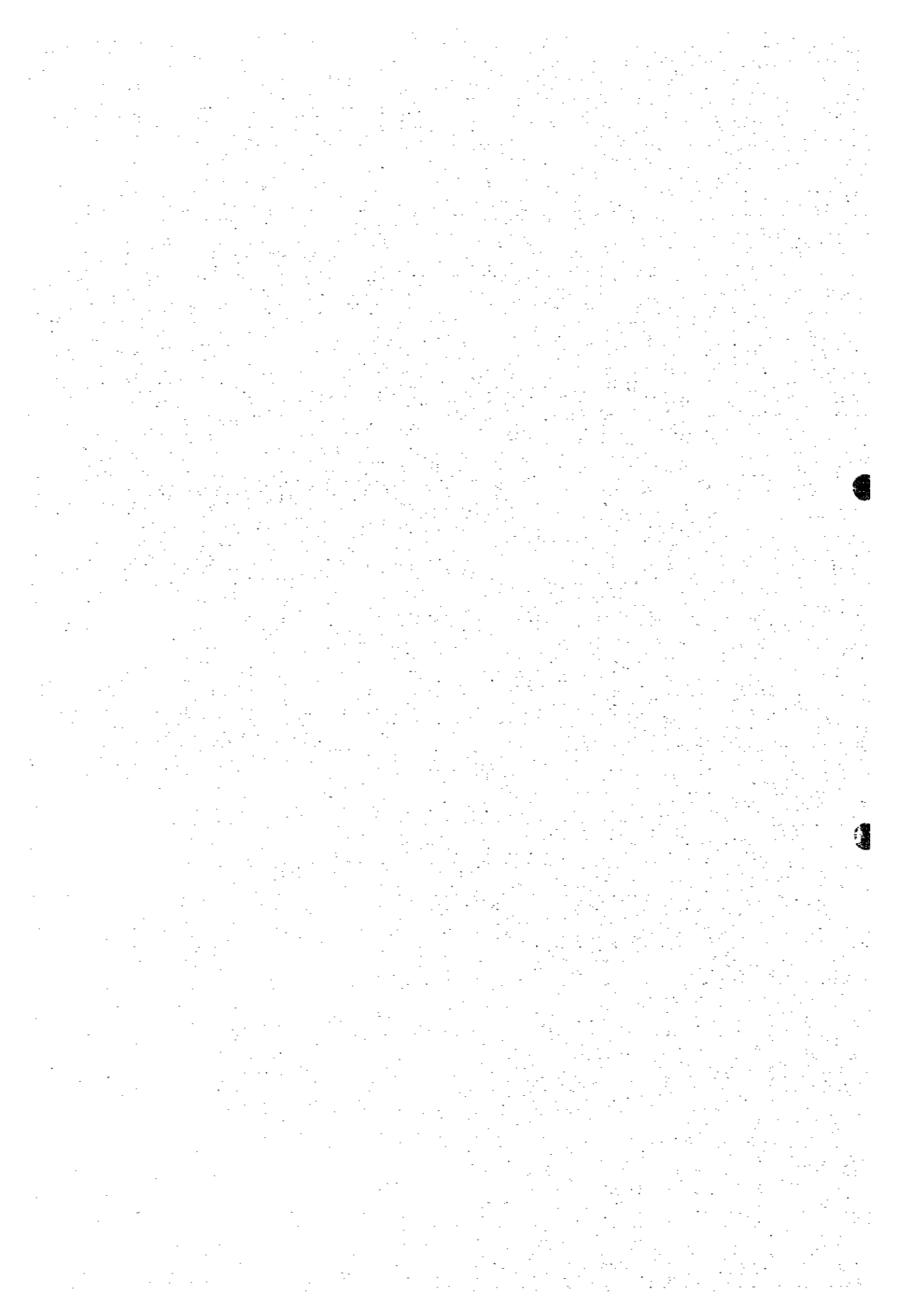




3: CONDICIONES DEL RIO





CAPITULO 3. CONDICIONES DEL RIO

3.1 Condiciones de la Cuenca

3.1.1 Sistema Fluvial

Existen diez (10) sistemas importantes de ríos en El Salvador como se muestra en la Fig. 3.1. La cuenca del Río Grande de San Miguel es la segunda en tamaño en el país y su área total es de 2,247 km², después de la cuenca del Río Lempa. La Cuenca del Río Lempa tiene un área total de 18,246 km², de los cuales 10,255 km² (56 %) se encuentran localizados dentro del territorio de El Salvador y el resto en Honduras (30 %) y Guatemala (14 %).

El sistema del Río Grande de San Miguel se muestra en la Fig. 3.2. El Río Guayabal y el Río Villerías se originan en las áreas montañosas cerca de Cacaopera, las Delicias de Concepción y Ciudad Barrios, los cuales son los principales tributarios en la cuenca Alta del Río Grande de San Miguel. Después de que estos dos ríos se unen cerca de Agua Zarca, éste se convierte en el Río Grande de San Miguel y fluye hacia el sur saliendo del área montañosa. Cerca de la Laguna de Olomega, el río cambia su curso hacia el oeste, pasando por la Laguna El Jocotal, cambiando de nuevo hacia el norte hasta la confluencia del Río Ereguayquín y finalmente fluye hacia el Océano Pacífico.

La longitud total del Río Grande de San Miguel es de aproximadamente 124 km desde la confluencia de los Ríos Guayabal y Villerías hasta el mar. El Río Grande de San Miguel tiene un área de captación de 2,247 km². La cuenca se subdivide en tres secciones: la cuenca alta, media y baja, dependiendo de las condiciones topográficas de ésta.

Cuenca Alta: La cuenca se encuentra ubicada aguas arriba de la confluencia de los Ríos Guayabal y Villerías. La Cuenca Alta es montañosa y las pendientes del canal son relativamente empinadas. La estación limnimétrica de Villerías se localiza cerca de la parte más baja de la Cuenca Alta.

Cuenca Media: Empieza donde los Ríos Guayabal y Villerías convergen, hasta El Delirio. La Laguna de Olomega se encuentra ubicada en la porción baja de esta cuenca.

Cuenca Baja: Empieza en El Delirio hasta la desembocadura del río. La Cuenca Baja se subdivide en tres porciones: la porción de la Laguna El Jocotal, desde El Delirio hasta Vado Marín, la porción de las colinas desde Vado Marín hasta la convergencia del Río Ereguayquín, y la porción de Usulután/costa que empieza en dicha confluencia hasta el mar.

La elevación de la tierra en esta porción del río es muy baja y el río serpentea intensamente. La Laguna El Jocotal se encuentra localizada en la ribera derecha. Las áreas pantanosas, que se extienden a lo largo del río y de la laguna, han estado sufriendo de inundaciones frecuentes. La estación limnimétrica de Vado Marín se encuentra en el salto de las cascadas.

Desde Vado Marín hasta la confluencia del Río Ereguayquín, el río toma su curso por la colina, del lado izquierdo de la ribera. El lado derecho es plano y empieza a formar la pendiente de la falda del Volcán de San Miguel. La pendiente del lecho del río es mínima o inversa. La cuenca del Río Ereguayquín tiene áreas de depósitos de lodo en donde la erosión de la tierra es notable. Después de que el Río Grande de San Miguel se une al Río Ereguayquín, éste fluye entre las colinas con una pendiente relativamente empinada y sale de las colinas cerca de Las Conchas. En los tramos aguas abajo de Las Conchas, el río fluye hacia una planicie aluvial y luego hacia los esteros y manglares.

3.1.2 Observatorios Meteo-hidrológicos.

De las veintitrés (23) estaciones pluviométricas, dentro y alrededor del Area de Estudio, ocho (8) de ellas que se encuentran situadas en la parte sur del Area de Estudio y no se encuentran en operación.

En el Area de Estudio había ocho (8) estaciones limnimétricas y solamente dos (2) de ellas (Vado Marín y Villerías), se encuentran funcionando actualmente como se muestra en la Fig. 3.3. La disponibilidad de los registros en estas estaciones se presenta en el Cuadro 3.1.

(Estaciones Limnimétricas Existentes)

No.	Nombre de la Estación	Período de Operación	Condición
1	Moscoso	1958-1978	Suspendida
2	Vado Marín	1959-81,1993-96	En operación
3	El Delirio (La Canoa)	1962-82	Suspendida
4	Las Conchas	1963-82	Suspendida
5	Villerías	1965-80,1995-96	En operación
6	La Forma	1965-78	Suspendida
7	Puerto Viejo	1966-82	Suspendida
8	Hato Nuevo	1967-77	Suspendida

Alrededor de las Lagunas de Olomega y El Jocotal, ninguna estación pluviométrica se encuentra en funcionamiento. Se instalaron dos (2) juegos de pluviómetros proporcionados por JICA, uno en Olomega (código NI) y otro en Jucuarán (U13) cerca de la Laguna El Jocotal. En la estación de Olomega, es especialmente imperativo empezar a medir de nuevo lo más pronto posible, pues los datos disponibles son de 1927.

Es necesario instalar limnómetros en la Laguna de San Juan, Laguna El Jocotal y tramos bajos del Río Ereguayquín, además de las ocho (8) estaciones mencionadas anteriormente. Cuatro (4) escalas hidrométricas han sido proporcionadas por JICA para Puerto Viejo (Laguna de Olomega), La Canoa (Río Grande de San Miguel), El Borbollón (Laguna El Jocotal) y Las Conchas (Río Grande de San Miguel).

Las ubicaciones de estos sitios se muestran en la Fig. 3.3.

3.2 Características de los Canales del Río

Para facilitar la presentación, el Río Grande de San Miguel se ha dividido en los siguientes tramos, dependiendo de las características topográficas y la confluencia de los tributarios.

- 1) El Tramo Bajo cubre desde la desembocadura del río (0.0 km) hasta El Delirio (75.1 km): este tramo se subdivide en las secciones L-1 hasta L-4, empezando en la desembocadura y yendo aguas arriba.
- 2) El tramo Medio cubre desde El Delirio (75.1 km) hasta la confluencia de los ríos Guayabal y Villerías (123.9 km): este tramo se subdivide en las secciones M-1 hasta M-6, yendo aguas arriba.

La capacidad de descarga en el Río Grande de San Miguel existente, fue evaluada basándose en los resultados del último estudio del río, llevado a cabo por el Equipo de

Estudio. La capacidad máxima del canal se estimó con la fórmula del flujo uniforme asumiendo el coeficiente de aspereza de Manning $n = 0.035$ para la extensión completa del río, de la siguiente manera:

(Pendiente y Capacidad del Canal)

Tramos	Pendiente Promedio	Capacidad del Canal (m ³ /s)
Tramos Bajos (Desembocadura hasta El Delirio)		
L-1: Desembocadura (0.0km) hasta El Limón (18.3 km)	1/1,450	-
L-2: Del km 18.3 hasta Río Ereguayquín (27.7 km)	1/1,080	340
L-3: Del km 27.7 hasta Vado Marín (42.9km)	1/2,880	450
L-4: Del km 42.9 hasta Puente El Delirio (75.1 km)	1/2,260	70
Tramos Medios (El Delirio hasta Ríos Guayabal/Villerías)		
M-1: Del km 75.1 hasta Desagüe de Olomega (76.6 km)	1/1,660	1,320
M-2: Del km 76.6 hasta Río La Pelota (85.6 km)	1/1,660	265
M-3: Del km 85.6 hasta L. Aramuaca (96.7 km)	1/1,660	580
M-4: Del km 96.7 hasta Puente Moscoso (108.8 km)	1/1,590	450
M-5: Del km 108.8 hasta Río Taisihuat (112.8km)	1/1,040	1,870
M-6: Del km 112.8 hasta Río Villerías (123.9 km)	1/1,040- 1/800	1,180-920

El perfil longitudinal del río y sus características hidráulicas se muestran en la Fig. 3.4. Las características más notables del Río Grande de San Miguel son las siguientes:

- 1) Existe una caída significativa del lecho del río de aproximadamente 30 m en El Delirio (rápidos de El Delirio) y una más pequeña de unos cuantos metros en Vado Marín (rápidos de Vado Marín).
- 2) En los tramos aguas abajo de la confluencia del Río Ereguayquín (tramos L-1 y L-2), la pendiente del canal cambia abruptamente y se hace más empinada. Aguas arriba de la confluencia (tramo L-3), la pendiente del lecho del río se nivela o se invierte hasta Vado Marín.
- 3) La capacidad del canal es alta en los tramos aguas arriba del Puente Moscoso (tramos M-5 y M-6) y en El Delirio (tramo M-1).

- 4) La capacidad del canal es bastante reducida en los tramos L-4 y M-2. Especialmente en el tramo L-4 a lo largo de la Laguna El Jocotal, el canal es muy estrecho y su capacidad es de solamente 70 m³/s.

Los materiales del lecho y de las orillas del río consisten en arena y arcilla en los tramos aguas abajo, arcilla con materia orgánica (depósitos pantanosos) alrededor de las Lagunas de Olomega y El Jocotal, arcilla y arena en los tramos aguas arriba, rocas suaves y parcialmente duras en los tramos cerca de El Delirio y aguas abajo de Vado Marín.

3.3 Instalaciones en el Río

(1) Estructuras para el Control de Inundaciones

Según el reconocimiento del río llevado a cabo por el Equipo de Estudio, aproximadamente una décima parte de la longitud del río, desde el No. 0 (la desembocadura) hasta el No. 183 (la confluencia de los ríos Villerías y Guayabal) está equipada de diques. El lugar en donde el Río La Pelota se desvía del canal principal del Río Grande de San Miguel, se encuentra el dique principal del Río Grande de San Miguel. Los diques existentes se muestran en la Fig. 3.5 y Cuadro 3.2.

(2) Laguna de Olomega

La estructura de drenaje de la Laguna de Olomega ha tenido una historia conflictiva entre los pescadores y agricultores:

- | | |
|---------------|---|
| Antes de 1940 | El curso principal del Río Grande de San Miguel estaba situado al sur de su posición actual (Fig. 3.6). |
| 1940s | Hubo una sequía severa en el área que causó la reducción del espejo de agua de la Laguna. Los agricultores tomaron ventaja este retroceso y pusieron sus mojones dentro del área actual de la laguna. |
| 1960-1970 | MAG y los terratenientes cambiaron el curso del río hacia el norte, a la posición actual, para proteger esta área contra más inundaciones. |
| 1977, 1978 | Vuelve a azotar otra sequía y la laguna se vuelve a encoger. Los pescadores tienen que trasladarse a lagos artificiales a lo largo del Río Lempa para pescar. |
| 1977, 1978 | Se construye un dique para proteger el área al norte de la laguna. |

1984-1986	El grupo de pescadores cierra la salida del Desagüe de la Laguna de Olomega para mantener el nivel de la laguna.
1986-1992	El nivel de la laguna subió y se desbordó hacia el Desagüe de la Laguna de una manera incontrolable
1992	El flujo del agua empieza a formar un arroyo hacia el Desagüe. El desagüe de la laguna todavía no era un canal sino solamente desbordamiento.
1993-1995	Una ONG que representa a los pescadores construye un vertedero de concreto al comienzo del Desagüe (Fig. 3.5).
1995-1996	Un lado del vertedero de concreto fue estriado por el flujo de inundaciones.
Presente	La ONG ha presentado una solicitud a MAG para reparar esta estructura.

Existen diez (10) puentes a lo largo del Río Grande de San Miguel, los cuales tienen bastante anchura y despeje.

(3) Laguna El Jocotal

El Desagüe de Jocotal es el único canal que conecta a la Laguna El Jocotal con el Río Grande de San Miguel. Existe un puente de alcantarilla cerca de la Hacienda El Milagro que cruza el Desagüe de Jocotal como se muestra en la Fig. 3.5. A pesar de que no tiene una compuerta, la alcantarilla controla el afluente y efluente de la Laguna El Jocotal.

(4) Estructuras de Bocatoma

MAG ha instalado tres bombas de bocatoma en el Río Grande de San Miguel, con propósitos de riego, de las cuales dos han sido abandonadas y una está siendo utilizada por una cooperativa de agricultores. La capacidad de esta bomba se calcula en $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig. 3.5).

Aguas arriba del Río San Esteban, existe un vertedero para la planta Hidroeléctrica de San Esteban. Esta planta fue abandonada en 1991.

3.4 Condiciones Hidráulicas

3.4.1 Características de las Inundaciones

Las descargas mensuales y anuales máximas en cinco de las estaciones en el Río Grande de San Miguel, se resumen en el Cuadro 3.3. Algunos puntos sobresalientes de la descarga máxima se presentan a continuación:

- 1) Descarga máxima registrada:
 - Inundación de 1975 (septiembre) en Villerías
 - Inundación de 1969 (septiembre) en Moscoso
 - Inundación de 1980 en Las Conchas
- 2) Las descargas de la inundación de 1969 (septiembre) en Moscoso y la de 1980 en Las Conchas son demasiado grandes, comparándolas con los otros registros. Estas descargas fueron examinadas y revisadas por el Equipo de Estudio.
- 3) La descarga pico de inundación en el Río Grande de San Miguel disminuye al ir aguas abajo. Esto indica que el almacenamiento de las aguas de inundación juega un papel muy importante.

Los valores promedio mensuales de precipitación en San Francisco Gotera, de la escorrentía en las estaciones principales y de los niveles de la Laguna de Olomega se muestran comparativamente en la Fig. 3.7, basándose en los datos de 1970 a 1978. Las características de las inundaciones se han analizado a continuación:

- 1) Las áreas cerca de las Lagunas de Olomega y El Jocotal han estado sufriendo de frecuentes y prolongadas inundaciones, y como resultado, la inundación de estas áreas, incluyendo las lagunas, retrasa las aguas de inundación.
- 2) En julio y agosto, el nivel de la Laguna de Olomega no disminuye, a diferencia del patrón de la precipitación mensual.
- 3) El nivel pico de agua de la Laguna de Olomega ocurre en septiembre u octubre, según las variaciones de la descarga del río.
- 4) No existen registros de nivel de agua de la Laguna El Jocotal. Juzgando las descargas promedio mensuales en Vado Marín y Las Conchas, el nivel pico de agua de la Laguna El Jocotal podría ocurrir en octubre.

El período de concentración de la escorrentía en Villerías se ha evaluado en seis (6) horas, basándose en lo siguiente:

- 1) De acuerdo a la fórmula de Kraven, el tiempo de recorrido se calculó como de aproximadamente 5 horas adoptando una velocidad media de flujo de 2.1 m/s.
- 2) De acuerdo a los hietógrafos de precipitación real e hidrógrafos de escorrentía en Villerías, los períodos de concentración, que se definieron como el tiempo entre el

comienzo de la precipitación hasta el pico de escorrentía, fueron de 8 horas para la inundación de 1975 (septiembre), 5 horas para la de 1980 (junio) y 6 horas para la de 1995 (julio a septiembre).

El período de concentración en la Estación Las Conchas se valorizó en 7 días basándose en lo siguiente:

- 1) Según los hidrogramas de descarga diaria de septiembre y octubre en 1966, 1973, 1975, 1978 y 1980, el período de concentración se estimó entre 5 y 6 días para el tramo desde el límite de la cuenca hasta la Estación Las Conchas.
- 2) El análisis de la descarga máxima anual en Vado Marín y la correspondiente precipitación media de cuenca de 7-días, muestra una buena relación, como se muestra en la Fig. 3.8.

Basándose en la descarga máxima anual y en los datos de precipitación media de cuenca de 7 días, las principales inundaciones ocurridas desde 1959 se han puesto en orden y se muestran a continuación. No existen datos de descarga después de 1980.

(Inundaciones Anteriores por Orden)

Orden	Año	Q Pico en Vado Marín	Precipitación Media de cuenca de 7-días
1	1988	-	326.8 mm
2	1992	-	299.8 mm
3	1982	-	285.3 mm
4	1974	307.9 m ³ /s	271.9 mm
5	1969	296.0 m ³ /s	-
6	1966	289.8 m ³ /s	-

3.4.2 Descarga de Flujo Mínima

La duración del flujo en Villerías se ha calculado y se muestra en el Cuadro 3.4 basándose en los datos de descarga diaria en Villerías, datos complementarios de Moscoso de 1971 hasta 1980.

3.4.3 Nivel de Mareas

Solamente existe una estación mareográfica en El Salvador y se encuentra en Cutuco (La Unión). El cuadro de mareas proyectadas en los puertos de El Cutuco, La Libertad y Acajutla es publicado cada año en el "Almanaque de Mareas", por IGN. Las mareas en el Puerto El Triunfo pueden aplicarse a la desembocadura del Río Grande de San Miguel. Tanto los niveles de mareas en El Triunfo, así como los de La

Libertad y Acajutla se predicen basándose en la marea del Puerto Cutuco ajustando el tiempo y la amplitud como se muestra a continuación:

(Factores de Ajuste para la Obtención del Nivel de Mareas)

Puerto	Ubicación	Tiempo de Retraso (min.)		Multiplicador de la amplitud de marea		m.s.n.m sobre nivel bajo de agua (m)
		Alta	Baja	Alta	Baja	
Cutuco (La Unión)	N 13.20, W 87.49	0	0	1.00	1.00	1.53
La Libertad	N 13.29, W 89.19	-26	0	0.67	0.67	1.01
Acajutla	N 13.34, W 89.50	-25	-3	0.64	0.64	0.98
El Triunfo	N 13.16, W 88.33	-10	-10	0.85	0.85	1.28

Para calcular la marea alta media (MAM) y la marea baja media (MBM) en El Triunfo, la marea alta y la baja en La Unión se extraen de los cuadros de mareas de 1994 a 1996, y se convierten en los niveles de El Triunfo (Cuadro 3.5). Los cálculos de la MAM y la MBM del Puerto El Triunfo que se aplican a la desembocadura del Río Grande de San Miguel son los siguientes:

- MAM 1.39 m.s.n.m.
- MBM 1.43 m.s.n.m.

3.5 Calidad del Agua

El agua del río está contaminada debido al derrame de desperdicios domésticos e industriales. Los valores de DBO en Moscoso y Villerías durante la estación seca en 1981 registraron concentraciones altas de 15.2 y 6.6 ppm, respectivamente. Los valores de DBO durante la estación lluviosa eran menos de 3.0 ppm.

Un estudio sobre la calidad del agua se ha llevado a cabo durante este Estudio. Las muestras de agua se hicieron una vez durante la estación seca (mayo) y una vez durante la estación lluviosa (julio). Los valores de DBO en mayo de 1996 en Moscoso y Urbina eran de 4.7 y 9.3 ppm respectivamente.

De acuerdo a los datos observados en este estudio, las características de la calidad del agua del Río Grande de San Miguel se pueden resumir de la siguiente manera:

- El agua del Río Grande De San Miguel es de mala calidad en cada una de las ubicaciones, especialmente aguas abajo de la Ciudad de San Miguel.

TP (Total Fósforo):	0.64 a 4.13 ppm (mayo)
TN (Total Nitrógeno):	7.9 a 15.3 ppm (mayo)
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno):	1.75 a 20.2 ppm (mayo)

- Las fuentes de contaminación se consideran de la siguiente manera:
 - (1) aguas residuales de la Ciudad de San Miguel
 - (2) desechos de ganado dispersos por toda el área
 - (3) desechos de sitios en donde se procesa la caña de azúcar y el café
- La calidad del agua en la Laguna de Olomega es también mala, en términos de TP, TN, DBO y COD.
- Las posibles fuentes de contaminación son las siguientes:
 - (1) Aguas residuales y otros contaminantes de la propia cuenca
 - (2) Aguas de inundación del Río Grande de San Miguel

3.6 Características de la Sedimentación

3.6.1 Generalidades

El Area de Estudio tiene las siguientes características desde el punto de vista de escorrentía de sedimentación:

- La cuenca se usa especialmente para pastizales (65 %) con arbustos o pastos, y las áreas forestales son pequeñas (15 %).
- La Cuenca Alta está cubierta principalmente con rocas volcánicas y la erosión no es tan notable.
- Las áreas de depósito de lodo están distribuidas en las cuencas Media y Baja, las cuales producen mucha escorrentía de sedimentación. Estas áreas se localizan entre los volcanes de Usulután y San Miguel, y las faldas del Volcán de San Miguel, afectando los Ríos San Esteban y Ereaguayquín. La escorrentía de esta área es bastante y se debe a que la vegetación es tan pobre. En el reconocimiento de la cuenca del Río Ereaguayquín, las áreas se encuentran erosionadas y se están derrumbando.
- En la Cuenca Alta, se considera que la mayoría de los sedimentos se producen en áreas pequeñas con escasa vegetación, tales como ciertos campos, áreas descubiertas a lo largo de los caminos y canteras.

3.6.2 Descarga de Sedimentos

Las mediciones de los sólidos en suspensión y arrastre de fondo del Río Grande de San Miguel y sus tributarios se llevaron a cabo por el Equipo de Estudio en mayo y junio de 1996. Los valores de los sólidos en suspensión varían desde 13 a 527 ppm. Aguas arriba de la Ciudad de San Miguel, el valor es menor de 100 ppm tanto para el río principal como para los tributarios. Los valores más altos se tomaron en los tributarios del Río Ereguayquín.

Dos tipos de datos estuvieron disponibles para el rendimiento de sedimentación, o sea, datos en el MAG, de sólidos en suspensión en el Río Grande de San Miguel y en CEL, datos de la sedimentación en los embalses del Río Lempa.

Basándose en los datos de sólidos suspendidos de 1970 hasta 1980, el promedio del rendimiento anual se calculó de la siguiente manera (Cuadro 3.5):

1) En Villerías:

$$358,000 \text{ m}^3/\text{año} = 393 \text{ m}^3/\text{año}/\text{km}^2$$

2) En Moscoso:

$$393,000 \text{ m}^3/\text{año} = 366 \text{ m}^3/\text{año}/\text{km}^2$$

El rendimiento total de sedimentos sería mayor, pues el arrastre de fondo no está incluido en los sólidos en suspensión y las mediciones durante las inundaciones no fueron suficientes.

Como no existe ninguna presa en la Cuenca del Río Grande de San Miguel, se reunieron los datos de sedimentación de los embalses del Río Lempa para el estudio del rendimiento de sedimentos. A lo largo del Río Lempa, existen cuatro presas, Güija, Cerrón Grande, 5 de Noviembre y 15 de Septiembre. El rendimiento promedio anual de sedimentos se estimó en $948 \text{ m}^3/\text{año}/\text{km}^2$ como se muestra en el Cuadro 3.6.

**4: CONDICIONES DE LAS
INUNDACIONES Y DAÑOS
POR INUNDACIÓN**

CAPITULO 4. CONDICIONES DE LAS INUNDACIONES Y DAÑOS POR INUNDACION

4.1 Condiciones de Inundación

4.1.1 Areas Propensas a Inundación en El Salvador

Según las "Regiones Criticas de Desastres Naturales de El Salvador", las áreas propensas a inundaciones en el país suman un área total de 2,573 km² y alrededor de un tercio de esta área (870 km²), se encuentra ubicado en el Area de Estudio como se muestra a continuación:

(Áreas Propensas a Inundación en El Salvador y el Area de Estudio)

Departamento	Area Propensa a las Inundaciones (km ²)	
	En el País	Area de Estudio
San Miguel	773	725
La Unión	459	133
Usulután	169	12
La Paz	290	-
San Vicente	495	-
Sonsonate	169	-
Ahuachapán	218	-
(Total)	2.573	870

La información de los daños por inundaciones anteriores se han recolectado de varias fuentes y se han resumido en el Cuadro 4.1. Las inundaciones más grandes en el Area de Estudio fueron en 1961, 1966, 1969, 1974, 1988, 1989, 1991, 1992 y 1995.

4.1.2 Encuesta de Inundaciones

El Equipo de Estudio llevó a cabo en 1996, una encuesta primordialmente de la inundación de 1995 y los resultados son los siguientes:

Las áreas inundadas se han clasificado en las siguientes tres categorías:

- Areas afectadas por la inundación de 1995.
- Las áreas de máxima inundación que han experimentado alguna inundación en el pasado (áreas con potencial de inundación)
- Areas frecuentemente inundadas, una vez en 2 años o más (áreas de frecuente inundación)

(1) Inundación Máxima

Las inundaciones recordadas por los residentes como los eventos mayores son las ocurridas en 1969, 1988, 1989, 1991 y 1992. El total de las personas entrevistadas que sufrieron estas inundaciones y sus condiciones se muestran en el Cuadro 4.2. La inundación de 1988 fue, juzgándola por su duración y profundidad, la más desastrosa en el área de Jocotal y Usulután al compararla con las otras cuatro inundaciones ocurridas después de 1988. La profundidad y la duración de la inundación de 1988 en las áreas de San Miguel, Olomega, El Jocotal y Usulután fueron de 1.2 m/0.8 día, 1.0 m/23 días, 2.1 m/19 días y 2.7 m/27 días respectivamente.

(2) Inundaciones Frecuentes

De las 421 viviendas entrevistadas, 199 de ellas han experimentado inundaciones y 31 de ellas han experimentado inundaciones frecuentes de una vez o más cada 2 años.

(Frecuencia de las Inundaciones Sufridas)

	San Miguel	Olomega	El Jocotal	Usulután	Total
Total Entrevistados	99	168	76	78	421
Una vez o más hasta ahora	43	71	30	55	199
Una vez cada 2 años o más	5	9	9	8	31

Las áreas inundadas son Usulután, El Jocotal, Olomega y San Miguel como se muestra en la Fig. 4.1. Las áreas inundadas para cada caso respectivo y los volúmenes en la inundación de 1995, se muestran a continuación:

(Áreas Inundadas)

Área inundada (km ²)	San Miguel	Olomega	El Jocotal	Usulután	Total
Inundación de 1995 (km ²)	2.8	88.5	35.8	6.6	133.7
(Volumen millones de m ³)	(3.4)	(57)	(54)	(7.6)	(116)
Inundación máxima (km ²)	7.0	98.4	44.4	31.3	181.1
Inundación frecuente (km ²)	0.64	44.4	29.6	0.9	75.5

(3) Inundación de 1995

El número de personas entrevistadas que habían sufrido por la inundación de 1995 y sus condiciones se muestran en el resumen del Cuadro 4.2. En 1995, el área inundada se extendió a lo máximo en septiembre llegando a un área total de 133.7 km². La profundidad y la duración de esta inundación en las áreas de San Miguel, Olomega, El

Jocotal y Usulután fueron de 0.5 m/2 días, 0.17 m/l semana, 1.5 m/11 días, 0.9 m/l mes, respectivamente.

El reconocimiento de las señales de inundación se llevó a cabo para obtener el perfil actual de las alturas de inundación, ocurrida en la inundación de 1995. En la Fig. 4.2 se muestra el perfil de las etapas de inundación, junto con el perfil del río.

4.2. Características de las Inundaciones

4.2.1 Metodología para la Simulación de Inundaciones

Inicialmente, se llevó a cabo el análisis de escorrentía usando el modelo de simulación de escorrentía y después se realizó el análisis del flujo de inundación utilizando el modelo de simulación de flujo de inundación e incorporando los resultados del análisis de escorrentía.

(I) Modelo de Simulación de Escorrentía

El modelo de simulación de escorrentía se preparó para evaluar la escorrentía bajo diferentes condiciones de precipitación y cuenca. En esta simulación se adoptó el Método de Función de Almacenamiento.

La cuenca del Río Grande de San Miguel y sus canales se dividieron en 18 subcuencas y 12 canales, respectivamente. Estas subcuencas y canales se presentan en el diagrama del sistema de escorrentía en la Fig.4. 3. Las áreas de las cuencas y sus pendientes se muestran en el Cuadro 4.3.

La escorrentía de las subcuencas fue simulada con las funciones de almacenamiento indicadas por las ecuaciones a continuación:

$$S_i = k \cdot Q_i^p$$

$$dS_i/dt = (1/3.6) \cdot f \cdot r \cdot A - Q_i$$

$$Q_i(t) = Q(t + T_i)$$

donde:

S_i : Almacenamiento de cuenca (m³)

Q_i : Escorrentía de subcuenca (m³/s) considerando el período de retraso (T_i)

k, p : Constantes de cuenca

t : Tiempo en segundos

f : Coeficiente de escorrentía

- r : Precipitación media de la cuenca (mm/hr)
- A : Area de captación (km²)
- T₁ : Período de Retraso

Básicamente, las mismas ecuaciones de escorrentía de cuenca se utilizaron en el canal, como se muestra a continuación:

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

$$dS_1/dt = \text{suma}(f_1 \cdot I_1) - Q_1$$

donde:

- f₁ : Tasa de afluencia
- I₁ : Afluencia
- Suma (f₁ • I₁) : Total de afluencia efectiva

Las constantes de la cuenca (K) en las funciones de almacenamiento fueron derivadas de la siguiente ecuación:

$$K = 7.35 (N \times L/I^{0.5})^{0.6}$$

donde,

- N : Aspereza equivalente de la cuenca
- L : Largo de la pendiente (km)
- I : Pendiente de la cuenca

Inicialmente para cada subcuenca, la aspereza equivalente (N) se asumió refiriéndose a los valores estándar usados en el Japón, de la siguiente manera:

(Aspereza Equivalente Estándar)

Uso de Suelo	N	Uso de Suelo	N
Camino pavimentado	0.05	Bosque secundario	0.7
Camino de tierra/Grava	0.07	Arbusto	1
Pueblo	0.1	Lava	5
Río	2	Café	0.3
Laguna y Arroyo	2	Area cultivada y pastizal	0.3
Pantano	2		

En Villerías se estudió la correlación entre el total de escorrentía y la precipitación de la cuenca correspondiente. Los resultados se muestran en la Fig. 4.4, en donde se puede ver que el coeficiente de escorrentía de la cuenca alta oscila entre 0.3 y 0.4.

Las dos (2) inundaciones que a continuación se muestran, se seleccionaron para la simulación, considerando su magnitud y la disponibilidad de registros de descarga y precipitación.

- Inundación de 1995 (julio-septiembre): La inundación más reciente con relativamente más datos. Esta inundación fue estudiada en detalle por el Equipo de Estudio.
- Inundación de 1980 (junio): La descarga máxima se registró en Las Conchas.

Los datos disponibles de precipitación para la calibración de las respectivas inundaciones se muestran en la lista del Reporte de Apoyo. Ya que los eventos de inundaciones y los datos disponibles son muy limitados, se llevaron a cabo los siguientes procedimientos para calibrar el modelo de simulación de escorrentía.

- 1) La cuenca alta consiste en las subcuencas de la No. 1 hasta la 8 y se calibraron basándose en la inundación de 1995, utilizando los registros de descarga de la Estación Villerías.
- 2) La cuenca baja consiste en las subcuencas de la No. 16 hasta la 18 y se calibraron basándose en la inundación de 1980, utilizando los registros de escorrentía de las Estaciones de Vado Marín y Las Conchas.
- 3) En la estación en donde solamente los registros de precipitación diaria estaban disponibles, se asumió la distribución de precipitación por hora de la estación más cercana.

Los resultados de la simulación de escorrentía para las inundaciones de 1995 y 1980 se muestran en la Fig. 4.5. Las constantes calibradas de canal y cuenca se muestran en el Cuadro 4.4. Se asume que estas constantes mantienen las mismas condiciones actuales de cuenca y canal. En algunas porciones del hidrógrafo, las escorrentías medidas y las calculadas no coincidieron, debiéndose principalmente a la falta de registros de precipitación por hora.

(2) Modelo de Simulación del Flujo de Inundación

Un modelo de simulación de un flujo de inundación inestable unidimensional, se formuló como se muestra en la Fig. 4.6. La simulación se hizo dividiendo la cuenca en dos, la Media y la Baja, pues existe un flujo supercrítico en El Delirio. Las condiciones de límite para el cálculo se establecieron de la siguiente manera:

1) Cuenca Media:

- Flujo afluente del canal: Descarga en Villerías
- Flujo afluente de las subcuencas: Subcuencas de la No. 9 a la No. 14
- Nivel del agua en el extremo inferior: En El Delirio, asumiendo un flujo crítico en la sección No. 103.

2) Cuenca Baja

- Flujo afluente del canal: Flujo efluente de la cuenca media en El Delirio
- Flujo de las subcuencas: Subcuencas de la No. 15 a la No. 18
- Nivel del agua en el extremo bajo: En la desembocadura, asumiendo un nivel de agua constante 1.39 m.s.n.m.

La simulación del flujo de inundación se hizo bajo las siguientes condiciones:

- 1) El nivel inicial de la Laguna de Olomega se tomó como de 64.7 m.s.n.m., tomando el nivel promedio de agua de julio desde 1970 hasta 1978.
- 2) Los resultados del reconocimiento topográfico, llevado a cabo por el Equipo de Estudio, se utilizaron para los cortes del canal y las planicies inundables.
- 3) Se usó el coeficiente de aspereza de Manning de 0.035 para el canal de río y $n = 0.7$ a 1.0 para las planicies inundables.

Los resultados de esta simulación se muestran en la Fig. 4.7.

4.2.2 Análisis de Precipitación

El análisis de precipitación para determinar la descarga diseño se hizo tomando las siguientes consideraciones:

- Magnitud de una precipitación
- Duración de una precipitación
- La distribución de la precipitación en la captación
- Patrón del hietógrafo

Las seis (6) estaciones pluviométricas que estaban en operación en septiembre de 1988 eran las de San Francisco Gotera, Beneficio, El Papalón, Santiago de María, El Sitio, Puerto Parada y Corinto. Entre ellas, San Francisco Gotera, El Papalón y Santiago de María tienen datos diarios continuos por más de treinta (30) años. El análisis de probabilidad se hizo para estas estaciones.

Las profundidades de precipitación máxima anual en San Francisco Gotera, El Papalón y los valores medios de cuenca, durante 31 años de 1964 a 1995, se muestran a continuación:

(Precipitación Máxima Anual, Profundidades de 1) 1-día, 3) 3-días, 7) 7-días)

Nombre de la Estación	Valor Mayor (mm)	Valor Menor (mm)
San Francisco Gotera	1) 181, 3) 215, 7) 388	1) 59, 3) 86, 7) 152
El Papalón	1) 222, 3) 293, 7) 340	1) 50, 3) 81, 7) 128
Media de la cuenca	1) 185, 3) 259, 7) 281	1) 33, 3) 43, 7) 63

Las profundidades de precipitación punto están en el orden de 200 mm por 1-día, 250 mm por 3-días y 350 mm por 7-días consecutivos de duración.

La precipitación media probable de cuenca se calculó como se muestra en la Fig. 4.8, basándose en las precipitaciones punto en estas tres estaciones aplicando las proporciones de Thiessen de 0.300 para San Francisco Gotera, 0.509 para El Papalón y 0.191 para Santiago de María. Los resultados se resumen a continuación:

(Precipitación Media Probable de la Cuenca en 7-días)

Período de Retorno (año)	Precipitación media de cuenca (mm)	Período de Retorno (año)	Precipitación media de cuenca (mm)
100	362.2	5	240.9
50	335.5	2	191.4
20	299.9	1.05	120.0
10	271.7		

Inundaciones pasadas en la cuenca con precipitaciones máximas anuales de 1 día y 7 días se estudiaron para la distribución de la precipitación. Una curva de reducción de la precipitación punto, a lo largo del eje superficial se muestra en la Fig. 4.9.

Se calcularon escurrientas pico con las profundidades de precipitación de 7-días, para períodos de retorno de 10 y 100-años utilizando los patrones de precipitación de las mayores inundaciones, las de 1988, 1992 y 1982. Los patrones de precipitación de la inundación de 1988 muestran la escurrentía más grande en todos los puntos:

(Escorrentía Pico para Diferentes Patrones de Precipitación)

Ubicación	Escorrentía de lluvia con período de retorno de 10 años (m ³ /s)			Escorrentía de lluvia con período de retorno de 100 años (m ³ /s)		
	sept.1988	sept.1992	sept.1982	sept.1988	sept.1992	sept.1982
Villerías	910	690	670	1,410	970	990
Moscoso	1,020	710	710	1,600	990	1,050
El Delirio	1,230	690	880	2,010	1,220	1,420
Vado Marín	1,320	740	950	2,190	1,310	1,580
Las Conchas	1,470	790	1,120	2,470	1,370	1,900
Desembocadura	1,480	790	1,130	2,240	1,370	1,910

4.2.3 Características de Inundaciones

Las características de inundación en la cuenca del Río Grande de San Miguel se resumen de la siguiente manera:

(1) Precipitación

- La intensidad por hora de la precipitación es alta, alrededor de 70 mm para las tormentas grandes.
- La precipitación diaria máxima anual durante las tormentas grandes es de alrededor de 200 mm, incrementa hasta 250 mm en 3 días consecutivos y llega hasta 350 mm en 7 días consecutivos.
- En general, la precipitación ocurre por la tarde y por la noche.

(2) Escorrentía

- La descarga de inundación de la Cuenca Alta se ve afectada por precipitación aproximada de 6 horas.
- Inundación en la Cuenca Baja se ve afectada por precipitación de 7-días.
- El coeficiente de escorrentía en la Cuenca Alta es de 0.3 a 0.4.

(3) Inundación

El volumen de crecidas en la etapa pico de la inundación en 1995 fue de cerca de 50 millones de m³, tanto en el área de la Laguna de Olomega, como en el área de El Jocotal. Los efectos de crecidas en las descargas de inundación en las lagunas, son extensos. La descarga en Vado Marín durante una inundación mayor se estima que se reducirá de 1,000 m³/s a 200 m³.

4.3 Daños por Inundación

4.3.1 Características Generales del Area de Inundación

El área con potencial de inundación es de 18,108 ha, comparte el 8.1% del área de Estudio y se encuentra ubicada a lo largo de los tramos Medio y Bajo del Río Grande de San Miguel. Esta área con potencial de inundación se utiliza para la agricultura y ganadería, con una tasa baja de producción y se expande sobre 30 cantones en los Departamentos de San Miguel y Usulután, conteniendo una población de 33,000 habitantes.

Las tierras son planas, con suelos fértiles. Los de Clase I y III consisten en 20 % del Area de Estudio, 13.5 % de la tierra cultivable está distribuida en el área de inundación y comparte el 39 % del área de inundación, como se muestra en el Cuadro 4.3. Esto significa que la tierra en esta área tiene el potencial para ser de producción agrícola alta. El área de tierra cultivable puede incrementar 57 %, de 5,892 ha a 9,239 ha, pues existen 3,357 ha de tierra Clase IV. Estas tierras se encuentran localizadas en el área de Olomega (2,379 ha) y El Jocotal (965 ha), y pueden ser mejoradas al mitigar la inundación.

Un mapa con el Uso de Suelo del área con potencial a inundación ha sido preparado por El Equipo de Estudio, basándose en el reconocimiento de campo y las fotografías aéreas tomadas en 1996, como se muestra en la Fig. 4.10 y los Cuadros 4.4, 4.5 y 4.6. De acuerdo a estos mapas, los pastizales ocupan 60 % y se encuentran distribuidos en las áreas de tierra no cultivable. En segundo lugar está la caña de azúcar, que se caracteriza como un cultivo tolerante al agua. El cultivo anual más importante es el maíz, distribuido en las áreas que se inundan menos.

4.3.2 Daños por Inundación

COEN, DGEA y CEPRODE se encargan de evaluar el daño por inundaciones. Sin embargo, los reportes y datos publicados por ellos cubren áreas y puntos específicos, y no se pueden aplicar a la evaluación de daños por inundación en el Area de Estudio. Parte de los daños se pueden encontrar en las estadísticas agrícolas.

Debido al suelo fértil, el Area de Estudio disfruta de la producción de maíz, el cual es el cultivo dominante en esta área. La producción del maíz, en la Región IV, consiste en alrededor de 15 % del total del país. De acuerdo al siguiente cuadro, en 1995 y 1992, cuando ocurrieron unas inundaciones severas, la producción se redujo considerablemente. Específicamente, en las temporadas lluviosas en estos años muestran la mitad del rendimiento del año anterior. Por lo tanto, la pérdida de

producción durante las estaciones lluviosas de 1995 y 1992, se puede estimar en 1,695,800 QQ (76,311 ton) y 1,678,500 QQ (76,208 ton), respectivamente, que es más del 50 % de la producción total en cada año, si el rendimiento fuese el mismo que el del año anterior.

(Producción del Maíz y su Rendimiento en la Región IV)

	95/94	94/93	93/92	92/91	91/90	90/89	89/88	88/87
Rendimiento(QQ/Mz)								
Estación lluviosa	13	27	34	14	29	27	2	26
Promedio	18	27	30	17	28	26	27	21
Producción (1,000QQ)	3,307	4,540	5,553	2,891	3,972	3,226	3,169	2,596

Fuente: MAG

4.3.3 Estudio de Daños por Inundación

El estudio de daños por inundación consiste en dos tipos de estudios:

- Estudio de daños a propiedades por altura tomada desde el suelo, calculando el costo de construcción de la vivienda, más el costo de los muebles y ropa, etc.
- Daños por inundación en la producción agrícola en 1992 y 1995.

El total de personas entrevistadas para el estudio se muestra en el cuadro a continuación:

(Número de Entrevistados para el Estudio, por Area)

	San Miguel	Olomega	El Jocotal	Total
Bienes - Vivienda	69	93	65	227
Daño Agrícola	8	124	39	171

4.3.4 Deseo de los Agricultores

El estudio de entrevistas también incluyó el deseo de los agricultores después de que se lleve a cabo el control de inundaciones. El contenido de la pregunta fue: "¿Qué tipo de agricultura quisiera después de que se lleve a cabo el control de inundaciones?" Los resultados se muestran en el cuadro a continuación:

(Deseo de los Agricultores)

	Maíz	Sorgo	Ajonjolí	Verduras	Caña Azúcar	Arroz
Olomega	30.5	14.5	15.0	13.5	12.5	-
El Jocotal	35.5	9.7	24.5	11.3	-	12.9

Según el estudio, el uso de suelo para cultivo en las áreas de Olomega y El Jocotal corresponden al 50% y el 14%, respectivamente. Los agricultores quieren desarrollar cultivos en lugar de continuar con pastoreo, y estos resultados concuerdan con la política de desarrollo agrícola de la nación.

4.3.5 Combate Contra Inundaciones Existente

Existe un sistema de alerta/pronóstico de inundaciones por COEN y no existe una organización especial de residentes para combatir inundaciones. Durante un evento de inundación mayor, las actividades para combatir las inundaciones las coordina COEN. El pronóstico de inundaciones se hará por medio del STAR 4, una organización de COEN.

**5: PLAN MAESTRO PARA EL
CONTROL DE
INUNDACIONES**

CAPITULO 5. PLAN MAESTRO PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES

5.1 Base para la Planificación

5.1.1 Año Meta

El plan maestro para el control de inundaciones, será preparado para afrontar las condiciones socioeconómicas del Area de Estudio cuando se llegue al año meta. Los temas principales relacionados al plan maestro son:

- Políticas del desarrollo nacional y regional
- Uso de suelo en la Cuenca del Río Grande de San Miguel, para el cálculo de la descarga diseño
- Uso de suelo, población, bienes, etc. en el área con potencial de inundación para la estimación de daños por inundación, datos que serán utilizados para la evaluación del proyecto.

El año meta se ha propuesto para el año 2020 por las siguientes razones:

- El Plan Nacional de Desarrollo fue propuesto hasta el año 1999. La proyección de la población futura es estimada hasta el año 2020.
- El Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de San Miguel, propuesto en 1992 tiene como meta un período de alrededor de veinte años.
- Como un proyecto para el control de inundaciones toma mucho tiempo, se requiere un programa para un período de 20 años.

5.1.2 Marco Socioeconómico

(1) Población del Area de Estudio

En 1992, la población en el Area de Estudio era de 474,000 habitantes y la proyectada para el año 2020 es de 1,041,000 habitantes como se muestra en el Cuadro 2.4.

(2) Producto Interno Bruto Regional (PIBR) en el Area de Estudio

El PIB de El Salvador proyectado para el año 2020 es US\$ 32.254 Millones. El PIBR per capita en el Area de Estudio en 1993, para el sector agrícola era de 2,340 Colones, y se propone que aumentará a 3,987 Colones para el año meta de 2020. Los proyectos propuestos para el control de inundaciones contribuirán a este crecimiento económico.

(3) Plan para el Uso de Suelos

El uso de suelos en el Area de Estudio para el año 2020 se propone basándose principalmente en el estándar de clasificación de suelos, el Plan de Uso de Suelos existente y el Plan para el Manejo de Cuencas Hidrográficas que se presenta en la sección 5.5.2 (Manejo de Cuencas Hidrográficas).

Parte del área inundada será mejorada en su clasificación de suelo y cultivos de mayor valor serán producidos después de que se convierta en un área libre de inundaciones.

El uso de suelos en el Area de Estudio en el año 2020 se ha propuesto de la siguiente manera:

- El área urbana se incrementará de acuerdo al crecimiento de la población
- Alrededor de la mitad del área con potencial para producción forestal se convertirá en bosque.

El uso de suelos futuro en el Area de Estudio se muestra en la Fig. 5.18.

El uso de suelos futuro en el área con potencial a inundaciones establece que un área de 4,900 ha del área existente de pastizales, se convertirá en área agrícola como lo desean los agricultores.

5.1.3 Area a ser Protegida

Las áreas a ser protegidas por el proyecto propuesto para el control de inundaciones, se encuentran localizadas dentro del área con potencial a inundaciones (áreas de inundación máxima en el pasado). Algunas áreas no serán libres de inundaciones aún después del proyecto, debido a su topografía deprimida (honda). Estas áreas se estudiaron e identificaron usando los mapas topográficos preparados por el Equipo de Estudio. El resultado se muestra en la Fig. 5.1. Se propone que algunas áreas alrededor de la Laguna El Jocotal, Laguna de Olomega y Laguna de San Juan serán excluidas de las áreas a ser protegidas. Como resultado del Estudio, el área a ser protegida es de 162 km².

5.1.4 Período de Retorno Diseño de Inundaciones

El período de retorno diseño de inundaciones para el Plan Maestro se propone a ser de 10 años tomando en consideración lo siguiente:

- Aunque el área con potencial de inundación es tierra agrícola y se espera un mejoramiento futuro con el proyecto para el control de inundaciones, aún así, esta área es considerada como rural con excepción del área cerca de la Ciudad de San

Miguel. Por lo que el potencial de daños por inundación es menor que en las áreas urbanas.

- El Río Grande de San Miguel es de tamaño mediano y el daño causado por una inundación mayor a la diseñada no sería grave, con excepción del área protegida por los diques.
- Por lo tanto, no sería económica una inversión a gran escala para hacerle frente a una inundación grande.

La altura de los diques deberá tener un margen de seguridad contra una inundación con un período de retorno de 10 años, con una borda libre de 1.2 m.

5.1.5 Precipitación Diseño

La descarga diseño se evalúa por medio de una precipitación diseño consistente en las distribuciones de precipitación en el área de captación y a través del tiempo, además de las medidas de profundidad de las precipitaciones durante cierta duración. La precipitación diseño se propone de la siguiente manera:

- Se ha adoptado la profundidad total de precipitación consecutiva durante 7 días, basándose en el período de retraso entre precipitación e inundación en el tramo aguas abajo (Las Conchas), y la profundidad de precipitación de las mayores inundaciones en el pasado.
- Para el tramo aguas arriba (Moscoso), una duración de 6 horas afecta la descarga pico de inundación. Por lo tanto, se adoptó la profundidad de precipitación durante 6 horas y la profundidad total de precipitación durante 7 días es la misma que la profundidad mencionada anteriormente.
- Para la distribución de precipitación en la cuenca durante cierto tiempo, se utilizaron las distribuciones actuales de precipitación de la inundación de 1988 en 5 estaciones, como patrón de precipitación diseño.

Las precipitaciones diseño (con un período de retorno de 10 años) en cuatro estaciones, se muestran en la Fig. 5.2.

5.1.6 Uso de Suelo en la Cuenca para el Cálculo de Descarga Diseño

El uso de suelos futuro en el Área de Estudio se asume de la siguiente manera:

- El mapa del uso existente de suelo preparado por MAG en 1996 se ha usado como base.
- Las áreas urbanas se han expandido para el año 2020 basándose en el marco económico propuesto.

- Las áreas de reforestación no se han tomado en cuenta para estar en el lado seguro en la descarga diseño.

5.1.7 Distribución de Descarga Diseño

La distribución de la descarga diseño para una inundación con un período de retorno de 10 años se finalizará después de que se tome la decisión del método de control de inundaciones propuesto bajo las siguientes condiciones:

- Uso de suelos futuro en la cuenca
- Almacenamiento del agua de inundaciones en instalaciones propuestas, y
- Mejoramiento de los canales del río

Los cálculos de la distribución de descarga diseño a lo largo del río se hacen aplicando el Método de la Función de Almacenamiento, utilizando la precipitación diseño y los coeficientes simulados. Los resultados se muestran más adelante en la Sección 5.2.

5.2 Medidas Alternas para el Control de Inundaciones

5.2.1 Medidas Concebibles

En general las medidas para el control de inundaciones, tanto las estructurales como las no estructurales, se muestran en el Cuadro 5.1.

Las medidas concebibles para el control de inundaciones para el Río Grande de San Miguel son las siguientes:

Para el Río Grande de San Miguel, las medidas no estructurales son esenciales, además de las medidas estructurales, debido a la deforestación en la Cuenca Alta, problemas hídricos en las áreas propensas a inundaciones, etc.

(1) Medidas Estructurales

1) Mejoramiento del Río

- Dragado/excavación del río existente, incluyendo cauces rectos, para los tramos con menos capacidad de descarga, tales como alrededor de la Laguna de Olomega, alrededor de la Laguna El Jocotal, etc.
- Diques para los tramos en donde es difícil reducir el Nivel Diseño Alto de Agua, como en el delta de la desembocadura, en tramos donde se desvían las crecidas hacia un embalse retardador, etc.

2) Canal de Desviación/Aliviadero de Crecidas

- Un aliviadero de crecidas se propuso en el Proyecto de Olomega en 1967 para desviar las aguas de inundación desde el Río Grande de San Miguel hacia la Laguna de Olomega.
- Un aliviadero de crecidas para acortar el Río Grande de San Miguel en San Felipe.

3) Almacenamiento de Crecidas

- Una presa en San Esteban se propuso por MAG para irrigación y por CEL para energía hidroeléctrica en 1975 y en 1995, respectivamente.
- Un grupo de pequeñas presas en la cuenca alta
- Embalse retardador utilizando las lagunas, específicamente la de Olomega y El Jocotal.
- Embalse retardador en las Areas de Olomega y El Jocotal

(2) Medidas No Estructurales

1) Manejo de Planicies Inundables

Los métodos aplicables para el manejo de planicies inundables en la cuenca del Río Grande de San Miguel son los siguientes:

(a) Permitir un área de inundación

Existirán algunas áreas inundadas, pues es difícil convertirlas en libres de inundación con las medidas estructurales propuestas.

(b) Regulación del uso de suelos:

Tanto la regulación del uso de suelos como la prevención de inundaciones son necesarias para reducir el daño causado por inundaciones mayores a la diseñada.

(c) Prevención de inundaciones, como pisos elevados, embanques, etc.

Esto reduciría el daño por inundaciones.

(d) Pronóstico de inundaciones, avisos de alerta y combatir inundaciones

El pronóstico de inundaciones/avisos de alerta y el combatir inundaciones se han llevado a cabo por medio del sistema existente de COEN. Sin embargo, es necesario fortalecer el sistema de transmisión de información/datos.

(e) Educación pública

Esto puede llevarse a cabo por el MAG y COEN utilizando el mapa de riesgo de inundaciones.

En este Plan Maestro, la regulación del uso de suelo, la prevención de inundaciones, el pronóstico/aviso de alerta y la educación pública se han adoptado como medidas para el manejo de planicies inundables.

(2) Manejo de Cuencas Hidrográficas

El manejo de las cuencas hidrográficas, como medida para el control de inundaciones, en la manera de la reforestación, regulación del uso de suelos, infiltración de aguas lluvias, etc. es eficaz para reducir la escorrentía de sedimentos e inundación. En el Area de Estudio, existen tierras que no se utilizan adecuadamente desde el punto de vista topográfico, geológico, del suelo, hídrico, como resultado del incremento de escorrentía de inundaciones y de la erosión de suelos.

La reforestación y el control de Erosión/escorrentía de tormentas se han adoptado en el Plan Maestro.

El concepto de las medidas concebibles para el control de inundaciones para el Río Grande de San Miguel se muestra en la Fig. 5.3.

5.2.2 Medidas Estructurales

(1) Mejoramiento del Río

El mejoramiento del lecho del río es una medida básica para el control de inundaciones. Se consideró el mejoramiento del lecho del río Grande de San Miguel por medio del sistema de diques, excavación de canales y canal de cauce recto. Méritos y deméritos del método de diques y del método de excavación se explican en la Fig. 5.4.

Es favorable que se fije el Nivel Diseño Alto de Agua lo más bajo posible, para que las aguas lluvias en las áreas de alrededor puedan drenar por gravedad.

La excavación de canales es eficaz para reducir el Nivel de Inundación Diseño. Aún para las inundaciones excediendo la diseñada, la excavación del canal algunas veces requiere una gran cantidad de tierra y el canal excavado podría ocasionar dificultades al tomar el agua del río y ocasionar problemas de sedimentación.

Mientras tanto, el mejoramiento por medio del sistema de diques requiere una menor cantidad de tierra, especialmente para los ríos grandes y podría prevenir la inconveniencia del problema de admisión de agua. Sin embargo, el sistema de diques podría causar problemas de drenaje en las áreas protegidas por los diques y tributarios. El dique no puede hacerle frente a una inundación anormal, mayor a la diseñada.

El canal de cauce recto permite el pasaje de aguas de inundación sin problema alguno, al acortar la longitud del canal, aumentando la pendiente y alisando el alineamiento.

Para el Río Grande de San Miguel, tanto los métodos de diques y excavación son aplicables, puesto que uno de los propósitos más importantes del mejoramiento del río es fijar su curso, algunos revestimientos para ambos métodos serán necesarios.

(2) Aliviadero

Con anterioridad, se han estudiado dos esquemas para aliviaderos, el de Olomega y el de San Felipe.

El Aliviadero de Olomega ha sido estudiado como un componente del Proyecto Olomega propuesto en 1967. Este aliviadero pretende desviar las crecidas del Río Grande de San Miguel hacia la Laguna de Olomega y almacenarlas ahí para mitigar inundaciones en la Cuenca Baja. Las principales características de este esquema son las siguientes:

- La mayoría de las crecidas del Río Grande de San Miguel se desviarían en la sección cercana a la Laguna Aramuaca hacia la Laguna de Olomega, por medio de un aliviadero nuevo.
- Las crecidas que excedan la descarga diseño en el aliviadero, serán derramadas en el Río Grande de San Miguel existente.
- El nivel de agua de la Laguna subirá al almacenar las crecidas, pues el dique circunda la Laguna.

Sin embargo, no se recomienda este aliviadero principalmente por las siguientes razones:

- Es difícil el drenaje de las áreas ubicadas al norte de la laguna debido a que el nivel de la laguna ha incrementado por el dique circundante.
- Grandes cantidades de sedimento fluirán hacia la laguna y esto acortará su vida.
- La ecología de la laguna se verá agravada debido al sedimento y agua contaminada que fluirán hacia la laguna.
- El proyecto se planificó hace aproximadamente 30 años y las condiciones sociales en la cuenca han cambiado.

El esquema para el Aliviadero de San Felipe se estudió en 1990 por MAG, como una alternativa para aliviar las crecidas en el área baja de Usulután. Este esquema propone desviar las crecidas del Río Grande de San Miguel hacia el área de los manglares y acortar por el cerro. Este esquema no es recomendable por las siguientes razones.

- 1) Este esquema requiere un gran monto de excavación, cerca de 2 Millones m^3 o más, y la mayoría sería material rocoso.
- 2) El costo de la obra sería más alto que el costo actual del mejoramiento del canal existente del río.
- 3) El aliviadero cambiaría las condiciones del agua y flujo de sedimentación y podría causar efectos adversos en los tramos aguas abajo.
- 4) El corte del aliviadero tendría pendientes de riberas muy empinadas con alturas de cerca de 35 m.

Se anticiparían problemas en el uso del agua y mantenimiento después de terminar el aliviadero.

Por lo tanto, los aliviaderos de Olomega y San Felipe no son incorporados en los esquemas alternativos para el control de inundaciones del Río Grande de San Miguel.

(3) Retención de Crecidas

La presa multi-propósito en San Esteban (Presa de San Esteban) tiene un área de captación de 825 km^2 y se considera que sea eficaz para el control de inundaciones así como para la generación de energía hidroeléctrica y para el riego. Existen otros sitios posibles para presas en la Cuenca Alta, pero estas presas tendrían unas áreas de captación muy pequeñas, con menos de 80 km^2 cada una y no serían tan eficaces para el control de inundaciones.

Como medida para el control de inundaciones, se estudió un grupo de catorce (14) presas pequeñas con un área de captación de 363 km^2 , lo cual no es recomendable por las siguientes razones.

- El costo total de las pequeñas presas es más elevado que la Presa de San Esteban, mientras que el efecto para el control de inundaciones es aproximadamente un tercio que la de San Esteban.
- El mantenimiento y operación de las 14 presas serían complicados y costosos.

La Laguna de Olomega ha estado sirviendo naturalmente como almacenamiento de crecidas para la Cuenca Media. Este almacenamiento ayudaría para el control de inundaciones en los tramos aguas abajo. La Laguna de Olomega tiene un área de 20 km^2 y tiene la posibilidad de almacenar 20 Millones de m^3 , por 1.0 m de profundidad efectiva. Al usar la laguna existente, problemas tales como la selección de sitio y adquisición de tierra se verían resueltos. Como sea posible, se deben evitar efectos en la pesca de la laguna.

La Laguna El Jocotal y sus alrededores en la Cuenca Baja, se han reservado para proteger el ambiente ecológico. Existe una área extensa deprimida (hundida) a lo largo del Río Grande de San Miguel cerca de la laguna y va a ser muy difícil librar esta área de inundaciones. Para proteger la ecología, no se recomienda el uso de la Laguna El Jocotal positivamente para la detención de inundaciones. Sin embargo, la laguna ha estado sirviendo naturalmente como almacenamiento de crecidas.

Embalses retardadores para almacenar aguas de inundación de una magnitud de 50 Millones m³ requerirán un área de 1,700 ha, asumiendo una profundidad efectiva de 3 m. Es difícil adquirir un área tan extensa para evitar inundaciones río abajo. Los embalses retardadores artificiales no se recomiendan.

Por lo tanto, la presa de San Esteban y la Laguna de Olomega se estudian como medidas alternativas para el control de inundaciones en el Río Grande de San Miguel. La función de almacenamiento de estas aguas en la Laguna existente de El Jocotal se reserva para el control de inundaciones del Río Grande de San Miguel.

5.2.3 Medidas No Estructurales

(I) Manejo de Planicies Inundables

1) Objetivos

Existen cuatro áreas con potencial de inundaciones para el manejo de planicies inundables.

- Área plana adyacente a la Laguna de Olomega
- Área plana y deprimida (hundida) alrededor de la Laguna El Jocotal
- Área baja y plana en el delta de la desembocadura del río
- Área de inundaciones cerca de la Ciudad de San Miguel

Los objetivos para el manejo de planicies inundables son los siguientes:

- Uso efectivo de la Laguna de Olomega para el almacenamiento de aguas de inundación
- Operación bien balanceada del nivel del agua de la laguna para la mitigación de daños por inundación, pesca y ecología de la laguna
- Prevención en el aumento del potencial de daños por inundación debido a la expansión incontrolable de las áreas urbanas de San Miguel
- Prevención en efectos desfavorables en la construcción de embanques durante inundaciones

- Prevención en el aumento del potencial de daños por inundación en las áreas del delta debido a desarrollos agrícolas y pesqueros

2) Medidas para el Manejo de Planicies Inundables

- Area cerca de la Ciudad de San Miguel -

Las áreas urbanas de la ciudad de San Miguel se están expandiendo hacia las áreas propensas a inundación a lo largo del Río Grande de San Miguel. Las áreas urbanas existentes a lo largo del río no están funcionando bien debido a las inundaciones. Las áreas urbanas deberían localizarse fuera del área del río requerida para el control de inundaciones. Se propone una regulación en el uso de suelo.

- Laguna de Olomega y sus Alrededores -

Es necesario establecer una regla de operación para el nivel del agua de la laguna tomando en consideración lo siguiente:

- Mantener el nivel mínimo del agua de la laguna durante la estación seca para la pesca
- Mantener el nivel máximo de l agua de la laguna durante la temporada lluviosa para almacenar crecidas
- Controlar los niveles del río y de la laguna para minimizar el daño causado por inundaciones incluyendo las mayores a las diseñadas

Se propone la regulación del uso de suelos, la prevención de inundaciones, el pronóstico /alerta de inundaciones y la educación a los residentes.

- Laguna El Jocotal y sus Alrededores -

Se propone la regulación del uso de suelos, la prevención de inundaciones, el pronóstico /alerta de inundaciones y la educación a los residentes..

- Area del Delta de Manglares -

Se propone la regulación del uso de suelos, la prevención de inundaciones y la educación a los residentes.

(2) Manejo de Cuencas

1) Objetivos

Los objetivos del manejo de cuencas hidrográficas son los siguientes:

- Reducir el volumen de la erosión de suelos
- Aumentar la descarga del río en la época seca

- Reducir la descarga pico de inundaciones
- Mantener el agua del río limpia

Además de la protección de las tierras agrícolas y la conservación de la naturaleza.

2) Medidas para el Manejo de Cuencas

El manejo de cuencas se propone tomando en cuenta condiciones de topografía, geología, condiciones de suelos y agua para un uso sostenible y eficaz de suelos en la cuenca. El mapa de clasificación de suelos elaborado por MAG se ha usado básicamente para la planificación. Los puntos más importantes del plan para cada subcuenca se describen a continuación:

- Cuenca Alta -

La cuenca alta es un área importante tanto para los recursos hídricos así como para el almacenamiento de crecidas. Los extensos pastizales se encuentran localizados en las pendientes empinadas de las montañas. Estas áreas deben transformarse en bosques por medio de la reforestación.

Existen depósitos de flujo de lodo en la parte alta de la cuenca del Río San Esteban, la cual produce una gran cantidad de descarga de sedimento. Es necesaria la reforestación de estas áreas.

- Cuenca Media -

El área de reserva forestal en las pendientes del Volcán de San Miguel debería mantenerse como tal. Las pendientes de las montañas en el área de captación de la Laguna de Olomega deberán reforestarse para reducir el flujo de sedimentos y contaminantes en la laguna.

- Cuenca Baja -

La extensa área de flujo de lodo entre los Volcanes de San Miguel y Usulután produce mucho sedimento y afecta la estabilidad del lecho del río. Estas áreas de flujo de lodo tienen pendientes muy empinadas y deberían de reforestarse. El agua de la Laguna El Jocotal depende del agua subterránea de la captación, la cual tiene una permeabilidad alta. Esta condición deberá preservarse.

5.2.4 Establecimiento de los Esquemas Alternos

El control de inundaciones para el Río Grande de San Miguel consiste en los siguientes componentes:

1) Mejoramiento del río

- 2) Retención de inundaciones por medio de la Presa de San Esteban
- 3) Retención de inundaciones por medio de la Laguna de Olomega
- 4) Manejo de las planicies inundables
- 5) Manejo de cuencas

Al combinar las medidas estructurales, se establecieron cuatro casos con esquemas alternativos para la selección de un plan maestro óptimo para el control de inundaciones:

- Caso - 1: Mejoramiento del río sin presa ni almacenamiento en la Laguna de Olomega
- Caso - 2: Mejoramiento del río sin presa y con almacenamiento en la Laguna de Olomega
- Caso - 3: Mejoramiento del río con presa y almacenamiento en la Laguna de Olomega
- Caso - 4: Mejoramiento del río con presa y sin almacenamiento en la Laguna de Olomega

El mejoramiento del río es una medida básica para el control de inundaciones y se considera necesaria para cada uno de los casos. Las distribuciones de descarga diseño para los cuatro esquemas alternos antes mencionados se muestran en la Fig. 5.5.

Las medidas no estructurales como son el manejo de planicies inundables y el manejo de cuencas se adoptarán de manera complementaria a cualquiera de los esquemas seleccionados.

5.2.5 Planificación de las Instalaciones

(I) Mejoramiento del Río

El Río Grande de San Miguel se dividió en muchos tramos de condiciones diferentes y el concepto de mejoramiento del canal se discutió por tramo. Los códigos de los tramos en las cuencas Baja y Media son designados, respectivamente, por las iniciales L (Lower) y M (Middle). El concepto de mejoramiento del canal se muestra en el Cuadro 5.2. El plan general del mejoramiento del canal se muestra en la Fig. 5.14.

Desde el Río Rita hasta el Río Ereaguayquín (tramos L1 y L2): Las secciones actuales del canal son pequeñas, especialmente en L1, debido a la bifurcación hacia los Ríos Limón y Cinco. Se excavará el canal hasta L1-2 y se construirán diques hasta L1-3.

Desde el Río Ereaguayquín hasta Vado Marín (tramo L3): En este tramo el canal actual del río tiene un corte transversal relativamente grande. Se excavará el canal y se construirán los diques localmente.

Desde Vado Marín hasta La Canoa (tramos L4-1 a L4-4): Considerando el drenaje de las áreas de alrededor, no se propondrán diques. El río actual serpentea severamente y el corte transversal del canal es pequeña en estos tramos. La excavación del canal y la alineación por medio de canales de cauce recto son las medidas principales. El Nivel de Diseño Alto de Agua (NDAA o DHWL = Design High Water Level) NDAA se fijó menor que el nivel del suelo, excepto por el tramo L4-2. La elevación del suelo a lo largo del tramo L4-2 es muy baja para fijar el Nivel Diseño de Agua Alto más bajo que el nivel del suelo. Este tramo seguirá inundado, aunque las condiciones de inundación serán mejores.

Desde La Canoa hasta la Sección SM-103 (tramo L4-5): Este tramo forma los rápidos que pasan entre las tierras alomadas. No se necesita de ninguna obra, excepto en la porción alta de este tramo.

Desde la Sección SM-103 hasta el Río La Pelota (tramo M1, O1-1, COC y M2): No se construirá ningún dique en estos tramos, excepto para M2-3, en la cual se fija el NDAA más bajo que el nivel del suelo para drenar las áreas de alrededor. El tramo M2-1 (secciones SM105 hasta SM113) del actual Río Grande de San Miguel, servirá solamente como un drenaje local, debido a que parte del agua de inundación del Río Grande de San Miguel es conducida a la Laguna de Olomega mediante el canal de desviación propuesto y el resto por el nuevo canal de cauce recto. No se planea ningún trabajo para el tramo M2-1, debido a que el canal existente tiene suficiente capacidad para transportar la escorrentía de su propia cuenca.

Desagüe de Olomega y el Río La Pelota (tramo O1, P1 y P2): No se propondrá ningún dique para el desagüe de Olomega (extensión O1), fijando el NDAA más bajo que el suelo para drenar el agua de las áreas de alrededor. El Río La Pelota (tramo P1 y P2) se proyecta como un canal de desviación para conducir el agua de inundación del Río Grande de San Miguel hacia la Laguna de Olomega. El canal de desviación tendrá diques.

Desde el Río La Pelota hasta el Puente Urbina (tramo de M3 hasta M6-1): El canal del río actual tiene unos cortes transversales relativamente grandes. Se excavará el canal localmente. Solamente son necesarios los diques en la parte alta de la Laguna de Aramuaca (extensión M3).

(2) Presa de San Esteban

1) Generalidades

Los sectores que pudiesen estar relacionados con la Presa Multi-Propósito de San Esteban son la generación de energía hidroeléctrica, irrigación y control de inundaciones. La presa multi-propósito se planificó basándose en lo siguiente:

- El volumen de sedimentación en el embalse se estima como el volumen de sedimento acumulado por 100 años, suponiendo que la producción de sedimento sea de $1,000 \text{ m}^3/\text{año}/\text{km}^2$ en la captación de la presa.
- Se asume la operación del embalse propuesto por CEL para el cálculo del volumen de almacenamiento requerido para la generación de energía hidroeléctrica.
- El volumen de almacenaje requerido para riego se obtiene asumiendo que el área agrícola de 11,000 ha será regada tal como fue propuesto por MAG.
- Los efectos del embalse para el control de inundaciones se calculan asumiendo un derrame libre del vertedero. Se asume el hidrograma de inundación diseño con una inundación con un período de retorno de 10 años, para la afluencia de la represa.
- El costo total de la presa multi-propósito se asignaría a cada sector, asumiendo que los costos distribuidos sean proporcionales a los costos que corresponden a una presa de propósito único.

De acuerdo al reporte de Proyectos Hidroeléctricos del Río Lempa y Río Grande de San Miguel, preparado por CEL en 1995, el costo de generación de la unidad de energía en la Presa de San Esteban se ha evaluado como la más alta entre las siete presas. La unidad costo de la Presa San Esteban es cinco veces mayor que la presa evaluada como la primera, la Presa del Tigre. La prioridad de la Presa San Esteban para la generación de energía no es alta.

2) Efectos Hidráulicos de la Presa San Esteban

Las descargas de inundación se calcularon basándose en el hidrograma de precipitación diseño, bajo las condiciones con y sin la Presa San Esteban.

Sin presa: Se considera sin inundación a lo largo del río y sin detención de aguas de inundación en las Lagunas de Olomega y El Jocotal (se refiere como descarga sin inundación)

Con presa: Se consideran efectos de detención de la Presa San Esteban

Los hidrogramas de esorrentía calculados en los puntos más importantes del Río Grande de San Miguel para una inundación con un período de retorno de 10 años se muestran en la Fig. 5.6. Las distribuciones de descarga a lo largo del Río Grande de San Miguel para varias precipitaciones probables se muestran en la Fig. 5.7.

Las distribuciones de descarga calculadas sin inundación se comparan con la capacidad del canal existente en la Fig. 5.8. La capacidad del canal existente es más baja en los tramos bajos de Las Conchas, desde Vado Marín hasta El Delirio, y aguas arriba de El Delirio.

Efectos de la presa: 50% menos que en los tramos bajos de El Delirio

Sección	(1) Sin presa (m ³ /s)	(2) Con presa (m ³ /s)	(2)/(1) (%)
Villerías	930	270	29
Moscoso	1,050	340	32
El Delirio	1,380	760	55
Vado Marín	1,490	880	59
Las Conchas	1,530	960	63

(3) Laguna de Olomega

Existen dos cuestiones opuestas en el uso de la Laguna de Olomega. Los agricultores quieren desarrollar las áreas propensas a inundaciones y el lago para la agricultura, y los pescadores quieren mantener el nivel alto del agua de la laguna para la pesca.

De acuerdo a los registros pasados y al resultado del estudio más reciente, el nivel del agua de la laguna durante la temporada seca ha estado subiendo. Probablemente esto se debe a que el canal de desagüe de la laguna se ha estado llenando, y como contramedida implementada para prevenir la reducción del espejo de agua de la laguna durante años pasados de extrema sequía (referirse a la Fig. 5.9).

Se llevó a cabo un estudio en la relación entre la cantidad de pesca y el nivel de agua en la Laguna de Olomega, basándose en los datos estadísticos de MAG. De acuerdo a los resultados del estudio que se muestran en la Fig. 5.9, la mayor cantidad de pesca ocurre cuando los niveles del agua están entre 64.0 y 65.5 m.s.n.m. En otras palabras, mientras se mantenga el nivel del agua de la laguna dentro de este rango, la pesca no sufrirá daños substanciales.

Considerando lo antes mencionado, el uso de la Laguna de Olomega para la detención de inundaciones se planificó de la siguiente manera:

- Para asegurar la pesca, el nivel de agua de la laguna deberá mantenerse superior a 64.0 m. Para mitigar el daño por inundaciones en las tierras agrícolas circundantes, el nivel de la laguna se deberá mantener menor a 65.5 m.
- Para prepararse contra una inundación venidera, el nivel de la laguna se deberá mantener en 64.5 m. Las aguas de inundación del Río Grande de San Miguel,

pasando por el Río La Pelota, se almacenarán en la laguna al nivel máximo de 65.5 m. El volumen de almacenamiento efectivo es de alrededor 20 Millones m³ para la profundidad de almacenamiento de 1.0 m (Fig. 5.10).

- Al estabilizar las variaciones del nivel del agua de la laguna por medio de la operación mencionada con anterioridad, se prevendrá tanto el daño por inundación en el área alrededor de la laguna, así como la reducción de la pesca debido a las grandes variaciones del nivel de la laguna.

Para detener el agua de inundaciones del Río Grande de San Miguel, el Río La Pelota será mejorado en su canal, para desviar el agua hacia la Laguna de Olomega.

Para el cálculo del almacenamiento en la Laguna de Olomega, se asumió la derivación de las crecidas por medio de un vertedero de desviación. El control por medio de un vertedero se muestra en la Fig. 5.11.

En la bocatoma del canal de desviación, se construirá un vertedero de desviación. Para el uso efectivo del volumen almacenado, una compuerta de control será prevista en la boquera de la laguna.

El Desagüe de Olomega existente también se mejorará para drenar el agua de la laguna.

(4) Área El Jocotal

El área alrededor de la Laguna El Jocotal está hundida y es difícil hacerla libre de inundaciones. Algunas tierras extremadamente bajas permanecerán propensas a inundarse aún después de completar las obras. Los efectos positivos que a continuación se mencionan, se esperan de las obras de mejoramiento del río:

- Reducción del daño por inundaciones en las áreas agrícolas
- Reducción de la afluencia de crecidas en la laguna. Esto disminuirá la degradación ecológica y estabilizará la producción pesquera.

5.3 Selección de las Medidas Optimas

Los cuatro esquemas alternativos para el control de inundaciones se compararon desde los puntos de vista técnicos, económicos, financieros, sociales y ambientales. Los casos son los siguientes:

Caso1 : Solamente mejoramiento del río

Caso2 : Mejoramiento del río y almacenamiento en la Laguna de Olomega

Caso 3 : Mejoramiento del río y almacenamiento en la Presa de San Esteban y Olomega

Caso 4 : Mejoramiento del río y almacenamiento en la Presa de San Esteban

Las cantidades de obras para los respectivos casos se resumen en el Cuadro 5.3.

(1) Aspectos Técnicos

No existe dificultad técnica excepto para la presa multi-propósito, en el Caso-3 y Caso-4. Algunas presas grandes se han construido en El Salvador sin problemas técnicos serios.

(2) Aspectos Financieros

El costo del proyecto se ha comparado. Asumiendo que el Caso-1 es 1.0, el Caso-2 (0.69) es el más bajo, seguido por el Caso-3 (0.83), Caso-4 (0.89).

(3) Aspectos Económicos

Todos los casos tienen el mismo efecto económico, la reducción de daños por inundación y el desarrollo regional. Se espera que el Caso-2 y el Caso-3 contribuyan a estabilizar la producción pesquera en la Laguna de Olomega.

(4) Aspectos Ambientales

La adquisición de tierra de 3,500 ha y la reubicación de 1,300 viviendas se requieren para el Caso-3 y el Caso-4 debido a la presa multi-propósito, mientras que para el Caso-1 y el Caso-2 se requieren 400 ha y reubicar 20 viviendas.

Todos los casos pueden mejorar la ecología de la Laguna El Jocotal al reducir la afluencia de las crecidas en la laguna. El Caso-2 y el Caso-3 estabilizarán el nivel del agua de la Laguna de Olomega.

(5) Evaluación General

La comparación de las alternativas se muestra en el Cuadro 5.4.

En conclusión, se seleccionó el esquema alternativo Caso-2 como el más adecuado para el plan maestro para el control de inundaciones por las siguientes razones:

- 1) El costo total del control de inundaciones es el menor y el más económico.
- 2) El impacto social negativo es pequeño.
- 3) Los impactos positivos en el medio ambiente son mayores.
- 4) Técnicamente, no existe dificultad notable.

5) El daño por inundaciones en la mayoría de las áreas propensas a inundarse será mitigado y se podrán desarrollar para propósitos agrícolas (referirse a la Fig. 5.12).

En conclusión, se seleccionó el esquema alternativo Caso-2 como el más adecuado para el plan maestro para el control de inundaciones por las siguientes razones:

- 6) El costo total del control de inundaciones es el menor y el más económico.
- 7) El impacto social negativo es pequeño.
- 8) Los impactos positivos en el medio ambiente son mayores.
- 9) Técnicamente, no existe dificultad notable.
- 10) El daño por inundaciones en la mayoría de las áreas propensas a inundarse será mitigado y éstas áreas se podrán desarrollar para propósitos agrícolas (referirse a la Fig. 5.12).

5.4 Medidas Estructurales Propuestas

El Plan Maestro propuesto para el Control de Inundaciones se compone de los siguientes elementos (proyectos):

- Mejoramiento del Río Grande de San Miguel desde la desembocadura hasta el Puente Urbina, y
- Almacenamiento de aguas de inundación en la Laguna de Olomega, ambos como medidas estructurales,
- Manejo de Cuencas por medio de la reforestación y el control de sedimentos/escorrentía de tormentas, y
- Manejo de Planicies Inundables del área con potencial a inundación, ambos como medidas no estructurales.

El concepto del Plan Maestro se muestra en la Fig. 5.13.

Las características generales de las medidas estructurales propuestas en el Plan Maestro son las siguientes:

(1) Mejoramiento del Río Grande de San Miguel

- La longitud total del río existente es de 109 km desde el Canal de Santa Rita. La confluencia con el Puente Urbina se mejorará y se acortarán 92 km por medio de canales de cauce recto.

- Habrá diques a lo largo de la orilla derecha y algunas partes de la orilla izquierda en el área de la desembocadura y en ciertas partes aguas abajo de Vado Marín.
- Habrá diques desde la unión del Río La Pelota, aguas abajo de la Laguna Aramuaca, en ambos lados, para prevenir inundaciones e incrementar el nivel de inundación del río para su desviación.
- Se efectuará dragado y excavación del canal del río en todos los tramos para su mejoramiento. Excavación parcial en los tramos entre la Laguna y el Puente Urbina y el tramo aguas arriba de la confluencia con el Río Ereguayquin. No se efectuará dragado en las cascadas de El Delirio.

(2) Desviación /Retardación en la Laguna de Olomega

- Las aguas de inundación del Río Grande de San Miguel se desviarán hacia la Laguna de Olomega a través del Río la Pelota, una vez éste haya sido mejorado.
- En el punto de desviación, se propuso un vertedero para el desbordamiento de las aguas de inundación.
- Se ha propuesto que el tramo aguas abajo del vertedero de desviación tenga un corte transversal angosto, para mantener un cierto nivel de crecidas para ser desviadas.
- La parte menos profunda de la laguna será dragada como parte del canal de desviación.
- Durante la temporada de inundaciones, la boquera de la laguna será dragada para drenarle el agua.
- En la boquera se ha propuesto una compuerta para controlar el nivel del agua de la laguna.

El esquema general de las instalaciones propuestas se muestra en la Fig. 5.14. Las características principales del Río Grande de San Miguel se presentan en el Cuadro 5.5; el perfil longitudinal propuesto y los cortes transversales típicos se muestran en las Figs. 5.15 y 5.16, respectivamente.

Las características principales de las obras para el proyecto se han resumido a continuación:

Dragado/Excavación	: L = 89 km, 15.0 millones m ³
Diques	: L = 48 km, 1.8 millones m ³
Revestimiento	: L = 6,000 m
Esclusa de drenaje	: 15 sitios
Reborde	: 4 lugares, L = 348 m
Vertedero de Desviación	: L = 62 m, 1 lugar

Compuerta de Control en Olomega : Intervalo efectivo = 20 m, 1 lugar
Puente : 5 lugares

5.5 Medidas No Estructurales Propuestas

5.5.1 Manejo de Planicies Inundables

(1) Objetivos

- Uso efectivo de la Laguna de Olomega como embalse retardador
- Operación balanceada del nivel de agua de la laguna para mitigar el daño por inundación, el daño a la pesca y ecología de las Lagunas de Olomega y El Jocotal.
- Prevención del incremento del posible daño por inundación debido a la expansión desordenada del área urbana de San Miguel.
- Prevención de efectos desfavorables en la construcción de embanques durante las inundaciones, y
- Prevención del incremento del posible daño por inundación en el delta de la desembocadura debido a desarrollos agrícolas y forestales.

El manejo de planicies inundables propuesto cubre el pronóstico/advertencia de inundaciones, regulación del uso de suelos, prevención de inundaciones y educación pública, para las cuatro áreas de San Miguel, Olomega, El Jocotal y Usulután.

(2) Contenido del Proyecto para el Manejo de Planicies Inundables

Lo propuesto para el proyecto del manejo de planicies inundables es lo siguiente:

- ① Pronóstico/aviso de inundaciones (cinco estaciones hidrométricas y aviso a residentes)
- ② Regulación del uso de suelos
- ③ Prevención de inundaciones con pisos elevados de viviendas, por ejemplo
- ④ Educación a los residentes.

El contenido por área es el siguiente:

- Áreas cercanas a la Ciudad de San Miguel -

Las áreas urbanas de la Ciudad de San Miguel se están expandiendo hacia las áreas propensas a inundación a lo largo del Río Grande de San Miguel. Las áreas urbanas existentes a lo largo del río no están funcionando muy bien debido a las inundaciones. Estas áreas urbanas deberían estar localizadas fuera del área del río requerida para el control de inundaciones. Se propone la regulación en el uso de suelos.

- Laguna de Olomega y sus Alrededores -

Es necesario establecer una regulación operativa del nivel del agua en la laguna tomando en consideración lo siguiente:

- Mantener un nivel alto de agua para la pesca, durante la temporada seca.
- Mantener un nivel bajo de agua para el almacenamiento de las aguas de inundación, durante la estación lluviosa.
- Controlar los niveles de agua del río y de la laguna para minimizar el daño causado por inundaciones, incluyendo una mayor a la diseñada.

Se propone la regulación en el uso de suelos, la prevención de inundaciones y el pronóstico/advertencia de inundaciones. Para una ejecución sin problemas, se requiere la educación a los residentes acerca del proyecto, para su comprensión.

- Laguna El Jocotal y sus Alrededores -

Para estas áreas se propone la regulación en el uso de suelos y la prevención de inundaciones.

- Area de Manglares del Delta (Usulután) -

Se propone el pronóstico de inundaciones/advertencia, la regulación en el uso de suelos y la prevención de inundaciones.

Lo propuesto para el Manejo de Planicies Inundables (Plan Maestro) se muestra en la Fig. 5.17.

5.5.2 Manejo de Cuencas

(1) Objetivos

- Reducción del volumen de la erosión de suelos,
- Incremento de la descarga del río en la estación seca,
- Reducción de la descarga pico de inundación,
- Mantener el agua del río limpia, y
- Protección de las tierras agrícolas contra la erosión y para preservar la naturaleza.

(2) Concepto Básico

- 1) Se tomó en cuenta la topografía, geología, condiciones de suelos y de agua para un desarrollo sostenible. El mapa de la clasificación de suelos elaborado por MAG se ha usado básicamente para la planificación.

- 2) El Equipo de Estudio ha propuesto un plan ideal de uso de suelos, así como un programa a largo plazo, utilizando el mapa elaborado por MAG (referirse a la Fig. 2.9).
- 3) Para el Plan Maestro, las áreas de reforestación y control de erosión se seleccionarán del plan ideal de uso de suelos, considerando el volumen de trabajo posible a ser completado en el año meta 2020.

Los puntos más importantes en el Plan de Manejo de Cuencas para cada subcuenca se describen a continuación:

Cuenca Alta:

La Cuenca Alta es un área importante para los recursos hídricos, así como para el almacenamiento de las crecidas. En las pendientes empinadas de las montañas, existen extensos pastizales, los cuales se deberán transformar en bosques por medio de la reforestación. Existen áreas de depósito de flujo de lodo en la cuenca del Río San Esteban que producen bastante sedimento. Por lo que se requerirá la reforestación en las áreas con pendientes empinadas y el control de la erosión en áreas con pendientes suaves.

Cuenca Media

El área de reserva forestal en las pendientes del Volcán de San Miguel deberá mantenerse como tal. Las pendientes de las montañas en el área de captación de la Laguna de Olomega deberán ser reforestadas para reducir los sedimentos y el flujo de contaminantes hacia la laguna.

Cuenca Baja

La extensa área de depósito de flujo de lodo localizada entre los Volcanes de San Miguel y Usulután produce mucha sedimentación y afecta la estabilidad del lecho del río. Las pendientes empinadas en las áreas de depósitos de flujo de lodo deberán reforestarse y se deberá llevar a cabo el control de erosión en las áreas con pendientes suaves. El agua de la Laguna El Jocotal se abastece de los manantiales originados en el área de captación de alta permeabilidad y esta condición deberá preservarse así.

(3) Contenido

1) Reforestación: 300 km²

- Protección de alrededor de 70 km² de un área total de 207 km² de áreas forestales, sin incluir el bosque existente y las áreas difíciles de reforestar.
- Área con potencial para la producción forestal de unos 74 km² ubicada en el área de depósito de flujo de lodo.

- Area aguas arriba con pendientes muy empinadas, de unos 156 km², la cual se usa como pastizal.

2) Control de la Erosión: 200 km²

- Area con potencial agrícola de 200 km² ubicada en las áreas de depósito de flujo de lodo con pendientes relativamente empinadas. Se aplica la retención de crecidas y drenaje.
- Rebordes en 30 lugares del río, dentro de las áreas de depósito de flujo de lodo.

Lo propuesto para el Manejo de Cuencas Hidrográficas se muestra en la Fig. 5.18.

5.6 Plan de Operación y Mantenimiento

La operación y mantenimiento de las instalaciones, después de la construcción, se llevará a cabo por MAG, como se describe a continuación:

- La operación y mantenimiento de las instalaciones, tales como los embanques, diques, revestimientos, estructuras de desviación y estaciones hidrométricas, las llevará a cabo MAG.
- La Oficina de Proyecto de San Miguel, proporcionada durante la etapa de construcción, llevará a cabo el manejo de las instalaciones.
- Se requerirá de diez (10) empleados en la Oficina de Proyecto para el mantenimiento y el manejo de las instalaciones.
- Se requerirá de cinco (5) empleados para el manejo y operación de las instalaciones en la Oficina de Sitio en la Laguna de Olomega, la cual será construida en la etapa de construcción.

MAG y COEN llevarán a cabo el manejo de las medidas no estructurales, como se detalla a continuación:

- COEN llevará a cabo las actividades de emergencia durante las inundaciones.
- MAG llevará a cabo el Manejo de Cuencas incluyendo la reforestación y el control de erosión. CENTA en Morazán participará en la ejecución de las obras de campo del proyecto. Cinco (5) empleados más se necesitarán para actividades tales como investigación, educación, viveros, etc.
- Para el manejo de cuencas, cinco (5) empleados se necesitarán en la Oficina de Proyecto en San Miguel, en donde se requerirá un estrecho contacto con CENTA, de Morazán.

- Para el Manejo de Planicies Inundables, los mismos empleados a cargo de las Medidas Estructurales también llevarán a cabo el Manejo de Planicies Inundables en la Oficina de Proyecto en San Miguel y en la Oficina Sitio de Olomega.

5.7 Plan par las Organización e Instituciones

5.7.1 Medidas Estructurales

Se propone el siguiente método para la implementación del proyecto:

- El diseño detallado y la supervisión de la construcción se llevarán a cabo por medio del gobierno con la asistencia de(l) (los) asesore(s) seleccionado(s).
- La construcción de las obras se llevará a cabo por medio de un contratista, seleccionado a través de licitación internacional, bajo la supervisión del gobierno.

Actualmente, MAG está a cargo de todas las etapas en el control de inundaciones, tales como la planificación, diseño, construcción y operación/mantenimiento, con excepción de las obras de construcción a gran escala. Por lo tanto, MAG será la agencia ejecutora del proyecto. Y como el proyecto incluye obras de gran escala con grandes volúmenes de movimiento de tierra más la construcción de puentes, se requerirá la participación del MOP durante la etapa de construcción.

Las actividades en la etapa de construcción incluyen las obras de preparación, diseños detallados, licitaciones, adquisición de tierra/indemnización, supervisión en construcción y coordinación con las agencias concernientes. La organización propuesta para esta etapa consiste en lo siguiente (referirse a la Fig. 5.19):

- Oficina Central del MAG y del MOP en San Salvador
- Oficina de Proyecto en San Miguel
- Asesor(es)

5.7.2 Medidas No Estructurales

La organización a cargo del manejo de planicies inundables será la Oficina del MAG de San Miguel y el sistema existente del COEN, el cual incluye el STAR 4.

El MAG tendrá a cargo la implementación del proyecto del manejo de cuencas hidrográficas. La Oficina de San Miguel, junto con la Oficina del CENTA en Morazán, ejecutará el proyecto. La reforestación y las obras de rebordes para el control de la erosión serán ejecutadas directamente por el MAG. El control de la

erosión de las áreas planas de pastizales será llevado a cabo principalmente por los dueños de las tierras, bajo la dirección del MAG, aplicando incentivos de acuerdo a lo planificado en el Programa Ambiental de El Salvador (PAES).

5.8 Costo del Proyecto

5.8.1 Fundamento para la Estimación de Costos

El costo del proyecto consiste en lo siguiente:

- 1) Obras de construcción
- 2) Adquisición de tierra/indemnización
- 3) Administración
- 4) Servicios de ingeniería
- 5) Contingencia física
- 6) Contingencia de precio

El costo del proyecto se estimó basándose en las siguientes condiciones y suposiciones:

- 1) Todos los costos se expresan basándose en los precios fijos de Diciembre 1996.
- 2) La tasa de cambio de la moneda se asume de acuerdo a la tasa predominante durante el período del estudio:
 - US\$ 1.00 = 8.75 Colones
- 3) El costo administrativo se asume en 5 % del total de los costos de las obras de construcción y adquisición de tierra / indemnización.
- 4) El costo del servicio de ingeniería se asume en 10 % del total de los costos de las obras de construcción y adquisición de tierras.
- 5) La contingencia física se asume en 10 % del total de los costos de las obras de construcción, adquisición de tierra / indemnización, administración y servicios de ingeniería.
- 6) Las tasas de escalación anual de precios durante el período de construcción se asume en 3 % para la porción de moneda extranjera y 6 % para la porción de moneda local.
- 7) En principio, el costo de construcción se estima basándose en los costos unitarios apoyados por los precios unitarios de mano de obra, materiales, costos de

operación de equipos y costos indirectos. El costo es estimado para los componentes de moneda local y extranjera.

5.8.2 Medidas Estructurales

(1) Precios y Costos Unitarios

- Los precios unitarios de los materiales, mano de obra y equipo están basados en los datos preparados por el MAG, MOP, CEL, etc.
- Los costos de construcción, consistentes en la movilización /desmovilización, obras preparativas y obras civiles principales, se han estimado adoptando el costo unitario y después multiplicándolos por la cantidad correspondiente de trabajo.
- El costo unitario se ha estimado sobre la base del método de construcción convencional.
- Los costos de la adquisición de tierra e indemnización están basados en las propiedades afectadas por las obras para el mejoramiento del río y la desviación y se han estimado basándose en los costos unitarios preparados por el MAG.

(2) Costo del Proyecto

Los costos del proyecto para el Plan Maestro se han estimado de la siguiente manera:

1) Obras de Construcción	:	807.5 millones de Colones
2) Adquisición de Tierras/Indemnización	:	23.8 millones de Colones
3) Administración	:	41.6 millones de Colones
4) Servicio de Ingeniería	:	124.7 millones de Colones
5) Contingencia Física	:	99.8 millones de Colones
Subtotal	:	1,097.4 millones de Colones
6) Contingencia de Precio	:	480.2 millones de Colones
Total	:	1,577.6 millones de Colones

El desglose del costo del proyecto se muestra en el Cuadro 5.6.

El programa de desembolso anual también es estimado basándose en el supuesto programa de implementación, como se muestra en el Cuadro 5.7.

5.8.3 Medidas No Estructurales

(1) Manejo de Planicies Inundables

El costo del Manejo de Planicies Inundables se ha estimado en 8.1 millones de Colones para el sistema telemétrico y la oficina. Esto está muy relacionado con la

operación del nivel del agua de la Laguna de Olomega, por lo que el monto se incluyó en el costo de las medidas estructurales. El costo de la regulación del uso de suelos y prevención de inundaciones no está incluido, pues éste sería un proyecto independiente ejecutado por el gobierno, por medio de la aplicación de subvención, etc. Sin embargo, el costo de la educación a los residentes está incluido en el costo administrativo de las medidas estructurales.

El costo O/M se ha estimado en 0.72 millones de Colones por año. El desglose del costo del proyecto se muestra en el Cuadro 5.8.

(2) Manejo de Cuencas Hidrográficas

El costo del Manejo de Cuencas Hidrográficas consiste en los costos de reforestación, incluyendo las plántulas y plantaciones, obras para el control de la erosión en terrenos altos y obras de rebordes. El costo total se ha estimado en 208.0 millones de Colones y se muestra en el Cuadro 5.8. La reforestación de las 7,000 ha de áreas protegidas (21 millones de Colones), las 23,000 ha de áreas con pendientes empinadas y las obras de rebordes para el control de la erosión serán ejecutadas por el MAG como obras públicas. El control de la erosión en 20,000 ha de pastizales planos (100 millones de Colones), básicamente se llevará a cabo por los dueños de las tierras bajo la dirección del MAG y se aplicarán incentivos, tales como préstamos, transferencia tecnológica, etc.

5.9 Evaluación del Proyecto

5.9.1 Medidas Estructurales

(1) Generalidades

El Area de Estudio cubre 2,247 km² y se extiende sobre los siguientes cuatro departamentos: Usulután, San Miguel, Morazán y La Unión, en la Región IV. El área con potencial de inundaciones, en el Area de Estudio, cubre aproximadamente un área de 180 km² principalmente en los departamentos de San Miguel, Usulután y una pequeña parte en La Unión.

En el Plan Maestro actual, el proyecto tiene como meta reducir el daño por inundaciones con período de retorno de 10 años y sus efectos se evalúan desde el punto de vista económico, financiero y ambiental.

La evaluación económica se describe en detalle en la siguiente sección. En el aspecto financiero se discutirá la reunión de fondos y el reembolso del fondo de construcción

del proyecto. La evaluación financiera del proyecto no se llevará a cabo en este estudio, pues el proyecto no tiene ingreso financiero

(2) Evaluación Económica

1) Beneficios Económicos

El beneficio del proyecto para el control de las inundaciones generalmente se define como la diferencia económica entre la situación "con el proyecto" y "sin el proyecto". Dentro del beneficio económico, el beneficio directo/tangible del proyecto se evalúa como la reducción de daños en bienes tales como edificios, efectos de vivienda, ganadería, cultivos agrícolas, infraestructura y otras instalaciones, además de actividades socioeconómicas.

Por otra parte, el beneficio indirecto/tangible se evalúa como el uso efectivo de suelos, tal como el urbano, agrícola, etc., en el área propensa a inundaciones después de completarse el proyecto. Sin embargo, en el estudio actual, este beneficio no está incluido en la evaluación del proyecto.

Basándose en la diferencia entre dos áreas de inundación en situaciones "con" y "sin" proyecto, el número y área de bienes que se evitarían por daños de inundación se obtienen por categoría de bienes, período de retorno de inundación y profundidad de agua, como se muestran en el Cuadro 5.9, basándose en las condiciones proporcionadas en los Cuadros 5.10, 5.11 y 5.12.

Los cuadros a continuación muestran la reducción del daño esperado al implementar el proyecto del Plan Maestro.

Reducción de Daños por Inundación (Millones de Colones)

Período de Retorno (años)	Reducción
1	46.46
2	112.45
5	145.54
10	170.72
20	196.03
50	173.95
100	116.60

Utilizando la reducción de daños por inundación presentada con anterioridad, se espera un Beneficio Promedio Anual que se ha estimado en 156.87 millones de Colones.

2) Costo Económico

Para propósitos de la evaluación económica, el costo del proyecto se convierte en el costo económico, el cual excluye porciones de inflación y pagos de transferencia, tales como impuestos y aranceles. Aparte de estas porciones excluidas, el costo económico se estima tomando en cuenta precios sombra. Los precios sombra se basan en la tasa de conversión standard (TCS) y los costos de oportunidad de artículos tales como la adquisición de tierras y el salario de mano de obra no calificada.

El flujo anual de los costos económicos calculados para los años desde 1999 a 2010 se muestra en el Cuadro 5.13. El monto total de los costos financieros se muestra a continuación:

Costo de Construcción		Costo Anual O/M	
Financiero	Económico	Financiero	Económico
1,577.56	998.29	10.04	4.03

3) Evaluación Económica

El TIR para el proyecto del Plan Maestro indica un 14.6 %, corroborando que el proyecto es económicamente factible, en vista del costo de oportunidad de capital (aproximadamente 12 %) en El Salvador. Además, siendo el VAN de 99.51 millones de Colones y el B/C de 1.2, con una tasa de descuento del 12 %, éstos apoyan la factibilidad económica del proyecto (referirse al Cuadro 5.14).

(3) Aspectos Financieros

El costo del proyecto (exceptuando el costo de O/M) se ha estimado en US\$ 146.037 millones, consistiendo en US\$ 116.646 millones para la porción moneda extranjera y US\$ 29.391 millones para la porción de moneda local al nivel de precios de 1996. Estas cantidades están programadas a ser desembolsadas en un período de 10 años.

Se considera que el proyecto requerirá vastos fondos en un período corto, como por ejemplo, el costo del proyecto se asume a ser financiado con un préstamo, bajo los términos siguientes: (1) una tasa de interés de 6 % por año, (2) un período de pago de 30 años, incluyendo un período de gracia de 10 años, y (3) solamente el pago del interés de la deuda cada año durante el período de construcción y la cantidad del capital con interés en los años posteriores al período de construcción.

El Cuadro 5.15 muestra ejemplos de los requisitos anuales de fondos y el programa de pago para dos escenarios de préstamos: (1) para el costo completo del proyecto y (2)

solamente la porción de moneda extranjera. El monto total del reembolso con interés será de US\$ 212.353 millones en el escenario (1) y US\$ 169.649 millones en el escenario (2). La cantidad máxima del pago anual será de US\$ 11.683 millones en el escenario (1) y US\$ 9.332 millones en el escenario (2) en el 11º año. La cantidad del pago anual antes mencionado será menos del 10 % del monto total del pago internacional anual de El Salvador, pues la cantidad de pago promedio de la deuda oficial fue de US\$ 130 millones por año durante el período 1991-1994.

El presupuesto del Gobierno Nacional para 1996 es de 14,815 millones de Colones, como resultado del incremento anual del 24.4 % durante los dos años, de 1994 a 1996. El gobierno ha estimado en el Plan de Desarrollo Nacional, un presupuesto de 198.5 millones de Colones para el Proyecto del Control de Inundaciones de San Miguel. Alrededor del 90 % del presupuesto se espera que sea financiado con ayuda extranjera.

Un proyecto de esta naturaleza, público y no lucrativo, requiere de asistencia financiera de una agencia internacional de fondos.

(4) Evaluación Ambiental Inicial (EAI)

Los resultados del EAI se muestran en el Cuadro 5.16. Los impactos más importantes del Proyecto son los siguientes:

1) Impactos Sociales

- Adquisición de tierra, de 676 ha, para el Mejoramiento del Río Grande de San Miguel (-)
- Indemnización de 20 viviendas (-)
- Molestias en las comunidades durante las obras de construcción (-)
- Mejoramiento de las condiciones sanitarias debido a la reducción de las inundaciones (+)

2) Impactos Ambientales

- Mitigación de aguas de inundación contaminadas en el flujo del Río Grande de San Miguel que fluyen hacia la Laguna El Jocotal (+)
- Estabilización de la producción pesquera en la Laguna de Olomega (+)

(5) Efectos Socioeconómicos

- Contribución al desarrollo y estabilidad de la región,
- Incremento de las oportunidades de empleo por la ejecución del proyecto y las obras, y

- Mejoramiento del medio ambiente por las actividades socioeconómicas en las comunidades.

(6) Evaluación de Medidas Estructurales

El proyecto propuesto para las medidas estructurales es viable desde los siguientes puntos de vista:

- Es económicamente factible (TIR = 14.6 %),
- Pocos impactos ambientales negativos en la adquisición de tierra/indemnización y pocas molestias por las obras de construcción,
- Enormes impactos ambientales positivos en la ecología de las lagunas, sanidad, etc.
- Gran contribución al desarrollo y a la estabilidad de la región.

5.9.2 Medidas No Estructurales

(1) Manejo de Planicies Inundables

1) Impactos generales en todas las áreas propensas a inundación:

- Reducción del potencial de daños por inundación, además de la reducción de peligros,
- Reducción del costo del control de inundaciones en el futuro, y
- Ahorro en el costo del proyecto del control de inundaciones.

2) Impactos específicos en el área propensa a inundaciones:

- Estabilización de la producción pesquera en la Laguna de Olomega (alrededor de 10,000 personas relacionadas a la pesca)
- Mejoramiento de la ecología en la Laguna El Jocotal, y
- Desarrollo ordenado en el área urbana de San Miguel.

El manejo de las planicies inundables es importante para apoyar el proyecto de las medidas estructurales.

(2) Manejo de Cuencas Hidrográficas

1) Reforestación de Areas en Pendientes Empinadas (30,000 ha):

- Reducción de escorrentía de inundaciones, sedimentos y nutrientes,
- Incremento del flujo del río en temporadas secas y mejoramiento de la calidad del agua,

- Reducción de la escorrentía de sedimento, especialmente en las áreas de depósito de flujo de lodo 74 km², lo cual contribuirá al control de inundaciones,
- Aumento en la producción forestal, aumento en oportunidades de empleo, y
- Mejoramiento del ambiente natural.

2) Control de la Erosión en Areas con Potencial para el Cultivo (20,000 ha):

- Incremento en la producción agrícola / oportunidades de empleo.
- Reducción en la escorrentía de sedimentos y nutrientes,
- Mejoramiento en la estabilidad del canal del río y en la calidad del agua del río.

El manejo de cuencas hidrográficas contribuirá al desarrollo y estabilidad de la región. Deberá ser implementado en una etapa inicial y deberá continuarse regularmente.

5.10 Programa de Implementación

El programa de implementación para el proyecto se ha preparado de la siguiente manera: (referirse a la Fig. 5.20):

- (1) El proyecto se ha planificado para ser completado en el año 2020.
- (2) Las obras para el mejoramiento del río en el Proyecto del Plan Maestro se ha subdividido en dos etapas. "Proyecto Prioritario" para hacerle frente a inundaciones con un período de retorno de dos y "El Resto", para hacerle frente a inundaciones con un período de retorno de 10 años para una implementación eficaz. Todas las obras de construcción se proponen terminar en 10 años. Construcción para el Proyecto Prioritario se planea terminar en 5 años. El área permitida a ser inundada por inundaciones con un período de retorno de 10 años es 19 km² para el Proyecto del Plan Maestro y serían alrededor de 42 km² para el Proyecto Prioritario.
- (3) Las obras para el almacenamiento de las aguas de inundación en la Laguna de Olomega serán completadas antes que las obras para el mejoramiento del río en los tramos aguas arriba.
- (4) Para los otros tramos del Río Grande de San Miguel, las obras para el mejoramiento del río serán implementadas, en principio, empezando aguas abajo hacia aguas arriba para prevenir los efectos de inundación en las áreas río abajo.
- (5) Los proyectos de Manejo de Planicies Inundables y Manejo de Cuencas serán implementados en una etapa inicial, independientemente de las medidas estructurales.

- (6) Las estaciones para el nivel del agua requeridas para el pronóstico/advertencia de inundaciones para el manejo de planicies inundables, serán provistas en el año 2005.

5.11 Escenario para el Desarrollo de Recursos Hídricos

El Area de Estudio tiene una estación seca muy larga y por lo tanto, el escenario para el control de inundaciones sería más atractivo si el problema de los recursos hídricos se resolviese.

Los resultados del estudio del desarrollo de los recursos hídricos se resumen a continuación:

- El grupo de pequeñas presas no es eficiente al compararlo con la Presa de San Esteban para el control de crecidas. Las pequeñas presas se considerarán principalmente para el riego.
- La Presa Multi-Propósito de San Esteban no está incluida por su gran impacto social, baja eficiencia económica, etc. El valor del TIR no es tan bajo, 10.6 %, y es deseable un estudio adicional para el juicio final.
- El agua del Río Grande de San Miguel está siendo contaminada especialmente debido al efluente de aguas servidas de las áreas urbanas. Tratamiento de las aguas residuales es requerido.
- El nivel freático en el área de la ciudad de San Miguel ha estado bajando debido a las ubicaciones concentradas de pozos para el suministro del agua. Estos pozos deben ser distribuidos moderadamente en las áreas a lo largo de la falda del Volcán de San Miguel.

Tomando en cuenta los resultados anteriores, a continuación se propone un escenario para el desarrollo de los recursos hídricos de la Cuenca del Río Grande de San Miguel:

Para un programa a corto plazo:

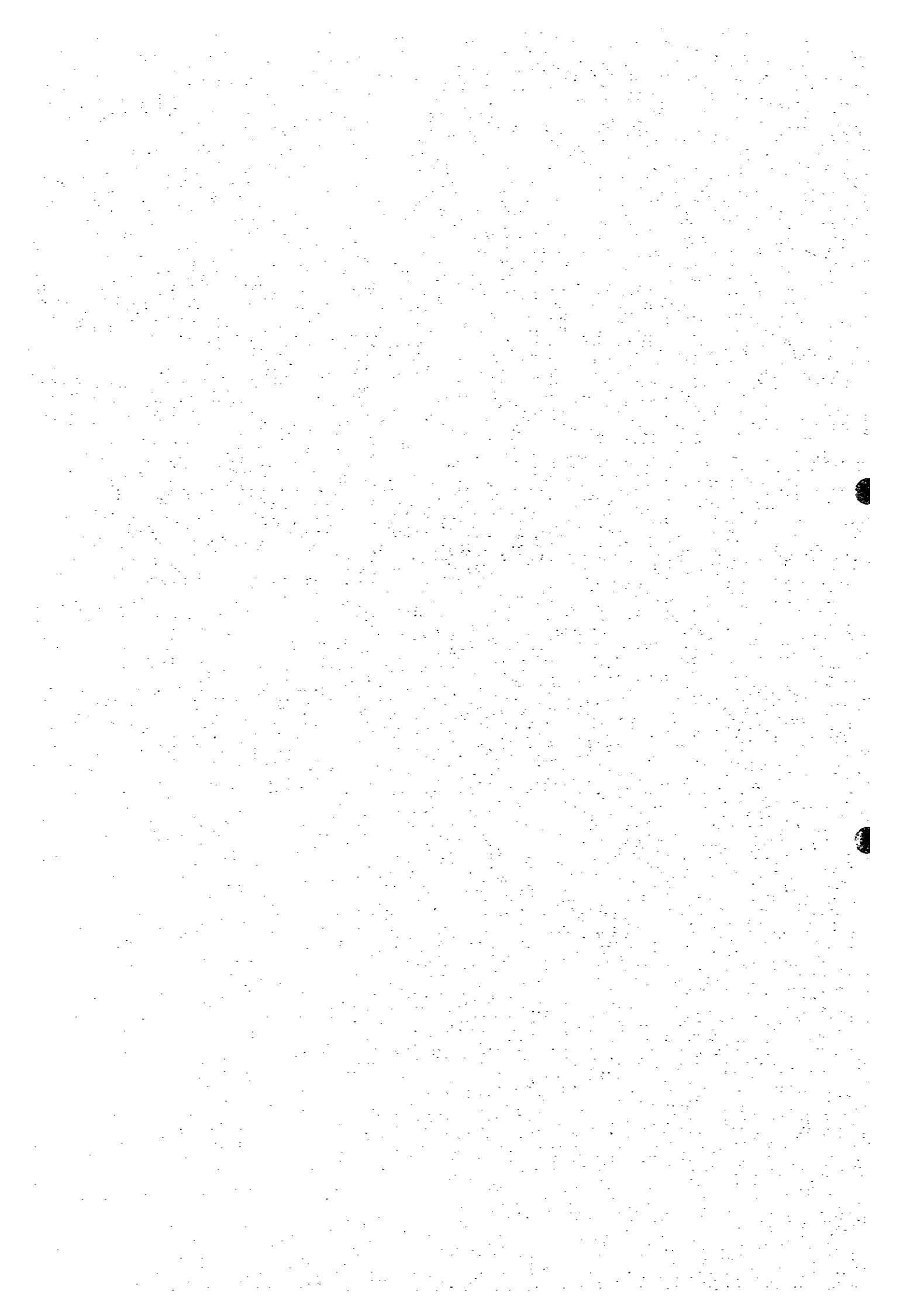
- Uso del agua del río y agua subterránea para riego de las áreas, las cuales serán libres de inundaciones por el proyecto para el control de inundaciones.
- Estudiar y redistribuir las ubicaciones de los pozos de inyección para el suministro del agua en la Ciudad de San Miguel.
- Tratar las aguas negras de la Ciudad de San Miguel, y

- Estudio adicional del método para el desarrollo de recursos hídricos por medio de presas, tales como la Presa Multi-Propósito de San Esteban, la Presa Taisihuat, selección de presas pequeñas para riego, etc.

Para un programa a largo plazo:

- Construcción de las presas seleccionadas basándose en los estudios mencionados, y
- Uso del agua subterránea.

**6: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD
DE LOS PROYECTOS
PRIORITARIOS**



CAPITULO 6. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LOS PROYECTOS PRIORITARIOS

6.1 Prioridad de los Proyectos

6.1.1 Criterio para la Selección

El criterio para la selección del (los) proyecto(s) Prioritario(s) es el siguiente:

Meta Económica: TIR es mayor que el valor del Plan Maestro, el cual es 14.6 %

Meta Financiera: El costo total es menos de 800 millones Colones.
El período de construcción es menos de 5 años.

Meta Social: El impacto negativo es pequeño y aceptable,
El impacto positivo (área beneficiada) es muy grande.

Meta Ambiental: El impacto negativo ambiental es pequeño.

Meta Técnica: No existe dificultad notable ni en la ingeniería ni en la construcción.

6.1.2 Selección de Proyectos Prioritarios

(1) Medidas Estructurales

Se estudió una implementación en fases, primero con un proyecto de pequeña escala y después el resto para hacerle frente a una inundación con un período de retorno de 10 años, pues el costo del proyecto cubierto en el Plan Maestro es alto. En el proyecto de la primera fase, se compararon los mejoramientos del río para hacerle frente a inundaciones con un período de retorno de 2 años, 5 años y 10 años. El TIR fue de 18.1 %, 15.9 % y 15.2 %, respectivamente.

Se seleccionó la inundación con un período de retorno de 2 años en vista del tamaño del costo del proyecto y la eficiencia en la reducción del área de inundación, como se compara en la Fig. 6.1.

Por lo tanto, el proyecto del Plan Maestro se ha subdividido en los siguientes proyectos:

Mejoramiento del Río Grande de San Miguel, Tramo Bajo (Desembocadura - El Delirio)

Mejoramiento para hacerle frente a una inundación con un período de retorno de 2 años

El Resto del Mejoramiento para hacerle frente a una inundación con un período de

retorno de 10 años

Mejoramiento del Río Grande de San Miguel, Tramo Medio (El Delirio -Aramuaca):

Mejoramiento para hacerle frente a una inundación con un período de retorno de 2 años

El Resto del Mejoramiento para hacerle frente a una inundación con un período de retorno de 10 años

Mejoramiento del Río Grande de San Miguel, tramo alrededor la Ciudad de San Miguel (Aramuaca-Puente Urbina)

Desviación / Retardación en Olomega

La reducción del área de inundación con cada uno de los proyectos de mejoramiento contra una inundación con un período de retorno de 10 años se resume a continuación:

Proyecto	Reducción del Area de Inundación	
Tramo Bajo 1 (para enfrentar una inundación c/período de retorno de 2 años)	26.6 km ²	(25.9 %)
Tramo Medio 1 incluyendo Desviación/ Retardación de Olomega (para enfrentar una inundación c/ período retorno de 2 años)	53.9 km ²	(51.8 %)
Subtotal:	80.5 km ²	(77.7 %)
Tramo Bajo 2, El Resto (para enfrentar una inundación c/ período retorno de 10 años)	15.2 km ²	(14.6 %)
Tramo Medio 2, El Resto (para enfrentar una inundación c/ período retorno de 10 años)	7.9 km ²	(7.6 %)
Tramo Alto 2, El Resto (para enfrentar una inundación c/ período retorno de 10 años)	0.4 km ²	(0.3 %)
Total	104.0 km ²	(100.0 %)

Las tasas de reducción del área de inundación de los proyectos para el mejoramiento del río en tramos bajo y medio son grandes y pueden cubrir 78 % del valor del Plan Maestro. Como se muestra en el Cuadro 6.1, los impactos positivos socioeconómicos y ambientales de estos proyectos son altos mientras que los impactos negativos son bajos, por lo que se seleccionaron como proyectos prioritarios.

El Mejoramiento del Río en los Tramos Bajo y Medio y el Almacenamiento de Aguas de Inundación en la Laguna de Olomega en las medidas estructurales, se recomiendan como proyectos prioritarios.

(2) Medidas No Estructurales

Los proyectos de las medidas no estructurales para el Plan Maestro son las siguientes:

Manejo de Cuencas Hidrográficas

Manejo de Cuencas Hidrográficas, Cuenca Alta (Reforestación)

Manejo de Cuencas Hidrográficas, Cuenca Media (Reforestación/ Control de Erosión)

Manejo de Cuencas Hidrográficas, Cuenca Baja (Reforestación / Control de Erosión)

Manejo de Planicies Inundables

Manejo de Planicies Inundables, Area del Estero

Manejo de Planicies Inundables, Area El Jocotal

Manejo de Planicies Inundables, Area de Olomega

Manejo de Planicies Inundables, Area de la Ciudad de San Miguel

Para las medidas no estructurales, los proyectos del manejo de cuencas hidrográficas no se seleccionaron como proyecto prioritario para el Estudio de Factibilidad, por las siguientes razones:

- Los proyectos serán ejecutados principalmente por los dueños de las tierras con la asistencia del gobierno y tomarán bastante tiempo.
- El plan detallado de reforestación y control de la erosión puede realizarlo el MAG, pues este ministerio tiene la experiencia en algunos proyectos realizados con anterioridad y ha estudiado la manera de implementarlos, también CEL ha llevado a cabo un proyecto de reforestación en la cuenca de la presa.
- No es un proyecto puramente para el control de inundaciones, sino primordialmente para el mejoramiento de la silvicultura, agricultura y medio ambiente.

Los proyectos para la reforestación y el control de la erosión serán necesarios para el desarrollo y estabilidad de la región. Los proyectos deberán ser comenzados en una etapa inicial y deberán continuarse regularmente.

El manejo de planicies inundables para las áreas alrededor de las Lagunas de Olomega, El Jocotal y el área cerca de la ciudad de San Miguel, se seleccionó como proyecto prioritario por las siguientes razones:

- Para el área de los manglares, el manejo de planicies inundables puede llevarse a cabo sin un estudio de factibilidad,

- Para el área cerca de la ciudad de San Miguel, el crecimiento urbano es rápido y se requiere urgentemente de un estudio, para regular la urbanización en relación con el mejoramiento del río, y
- Para las áreas alrededor de las Lagunas de Olomega y El Jocotal, es necesario establecer una regla para el control de inundaciones y el uso de las lagunas por medio de un estudio de factibilidad.

Los proyectos prioritarios seleccionados como las medidas no estructurales son los siguientes:

Manejo de Planicies Inundables, Area El Jocotal

Manejo de Planicies Inundables, Area de Olomega

Manejo de Planicies Inundables, Area de la Ciudad de San Miguel

6.1.3 Proyectos Prioritarios Seleccionados

Los proyectos prioritarios fueron seleccionados basándose en las discusiones entre el lado de El Salvador y el Equipo de Estudio JICA, los proyectos a continuación se seleccionaron para el Estudio de Factibilidad:

- Mejoramiento del Río Grande de San Miguel para hacerle frente a una inundación con un período de retorno de dos años, en el Tramo Bajo y Alto (R-L-1, R.M-1) y Retardación/Desviación en Olomega (O-F), como medidas estructurales, y
- Manejo de Planicies Inundables en áreas cerca de la ciudad de San Miguel, alrededor de las Lagunas de Olomega y El Jocotal, como medidas no estructurales.

Las características principales de los proyectos prioritarios se resumen en la fig. 6.2.

6.1.4 Condiciones para el Planeamiento

Area de Estudio:	La Cuenca del Río Grande de San Miguel en la Región Oriental (2,247 km ²)
Año Meta:	2020 para el Plan Maestro y 2005 para el Proyecto Prioritario
Area Meta a ser Protegida:	Un área de 155 km ² de un total de 181 km ² propensa a inundaciones, excluyendo las extremadamente bajas alrededor de las lagunas
Inundación Diseño:	Inundación con período de retorno de 10 años para el Plan Maestro, inundación con período de retorno de 2 años para el Proyecto Prioritario (ver Fig. 6.3)

El Estudio de Factibilidad se ha llevado a cabo mediante la recolección de datos suplementarios e información, reconocimientos suplementarios del río, reconocimientos geológicos y de suelo a lo largo del Río Grande de San Miguel y un estudio más detallado.

6.2 Plan para la Retardación del Agua de Inundación

6.2.1 Plan de Desviación

(1) Distribución de la Descarga de Inundación

La idea básica de la descarga de inundación en el punto de desviación, es que el Río Grande de San Miguel, habrá de absorber más de la mitad de la descarga pico de inundación, mientras que menos de la mitad se desviará hacia la Laguna. Esto es porque podría ser peligroso depender mucho del almacenamiento en el caso de una inundación mayor a la diseñada. Los hidrogramas en la Desviación de Olomega para el Plan Maestro y el Proyecto Prioritario, se muestran en la Fig. 6.4. La elevación de la cresta y el largo del vertedero son de 66.1 m sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) con 62 m.s.n.m. para el Proyecto Prioritario y 67.3 m.s.n.m. y 62 m.s.n.m. para el Plan Maestro, respectivamente.

Para el Plan Maestro (inundación con período de retorno de 10 años), la descarga desviada hacia la Laguna es de 490 m³/s, de un total de 1,150 m³/s de la descarga pico en el río en ese momento. El volumen de almacenamiento en la Laguna para la inundación diseño es de 19 millones m³, de los cuales 13 millones m³ proceden del Río Grande de San Miguel y 6 millones de m³ son de la captación de la Laguna.

Para el Proyecto Prioritario (inundación con período de retorno de 2 años), la descarga desviada hacia la Laguna es de 290 m³/s, del total de la descarga pico en el río en ese momento de 660 m³/s. El volumen total de almacenamiento en la Laguna para la inundación diseño es de 14 millones m³, de los cuales 9 millones m³ proceden del Río Grande de San Miguel y 5 millones de m³ son de la captación de la Laguna.

En la Fig. 5.10 se muestra la relación calculada de la elevación, el área de superficie y el volumen de agua. La elevación del fondo de la Laguna es de 62 m y el volumen de almacenamiento abajo de los 64 m es de 23 millones de m³. El volumen de almacenamiento entre las elevaciones de 64.5 y 65.5 m es de 29 millones de m³.

Respecto a la distribución del almacenamiento, se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- (1) El sedimento estimado en 100 años (20 millones m³)
- (2) El nivel de agua óptimo para la pesca (EL 64.0 m ~ EL 65.5 m)
- (3) El volumen requerido para el almacenamiento de inundación (19 millones m³)

Consecuentemente, la distribución proyectada de almacenamiento de la Laguna de Olomega, es la siguiente:

Capacidad Muerta	23,000 m ³	(EL 62 m ~ EL 64.5 m)
Capacidad de Control de Inundación	29,000 m ³	(EL 64.5 m ~ EL 65.5 m)

(2) Simulación

1) Simulación de la Inundación

Para poder ver el comportamiento de la Laguna durante una inundación mayor que la diseñada, se desarrolló una simulación matemática. Las condiciones de la simulación son las siguientes:

Mejoramiento del Río:	Nivel del Proyecto Prioritario (inundación con período de retorno de 2 años)
Frecuencia de la Inundación Diseño:	10 años
Nivel Inicial del Agua de la Laguna:	64.5 m
Afluente de la propia captación:	considerado
Efluente de la Compuerta de Control en Olomega:	0 m ³ /s.

De acuerdo a esta simulación, cuando llegue la inundación diseñada, el máximo nivel de agua de la laguna alcanzará los 65.6 m, solamente 0.1 m sobre el Nivel de Diseño Alto de Agua, el cual no ocasionará un serio daño al área de los alrededores.

2) Simulación de la Sequía

Se simuló el comportamiento de la Laguna durante una sequía extrema. Las condiciones para la simulación son las siguientes:

Duración de Datos:	Entre 1970 y 1979
Afluente:	Basados en los datos de descarga de Moscoso convertidos al usar la descarga específica.
Evaporación:	Estimada al multiplicar 0.7 a la evaporación de cazo en El Papalón.

El nivel de agua de la Laguna se puede mantener sobre 65.0 m aún en 1978, el año más seco en diez años, mediante la implementación del Proyecto. Sin el Proyecto, el nivel de agua de la Laguna bajó a 63.4 m y ocasionó daños en la pesca.

6.2.2 Plan para las Instalaciones

(1) Vertedero de Desviación

Para este tipo de estructura, se compararon tres ideas: el tipo de monolito de concreto, un tipo de embanque con pavimento de concreto y un tipo de gavión. La comparación se muestra en el Cuadro 6.2. Finalmente, se seleccionó el tipo de monolito de concreto, principalmente por razones de mantenimiento.

El vertedero de desviación deberá planearse para hacerle frente a inundaciones con período de retorno de dos y diez años. Por consiguiente, la estructura se proyectó primeramente para la inundación con período de retorno de los dos años, para el Proyecto Prioritario y se planeó su modificación en la etapa final para el Plan Maestro.

(3) Compuerta de Control de Olomega

Se determinó que el ancho y profundidad del canal propuesto tendrá que ser de mayor capacidad que el canal de desagüe actual. Se propuso el lecho del canal con el ancho y elevación de 25 m y 63.0 m, respectivamente. Como las compuertas deberán ser operadas para hacerse cargo del pequeño cambio del afluente y para mantener el nivel de agua de la Laguna durante la época lluviosa, el sistema deberá estar compuesto por un gran número de pequeñas compuertas. El ancho de cada puerta se propone de dos metros. Las compuertas deberán hacerle frente a una inundación con un período de retorno 10 años y las mismas estructuras se usarán para una inundación con un período de retorno de 2 años.

Operación de las Compuertas:

Durante la Epoca Lluviosa:

- Mantener el nivel de agua de la Laguna en 64.5 m, antes que la inundación rebalse el vertedero de desviación.
- Cuando la inundación rebalse el vertedero de desviación, las compuertas son controladas de tal forma que la inundación sea almacenada eficazmente en la Laguna.
- Después que haya terminado la inundación y se haya eliminado el peligro de inundación aguas abajo, se liberará el agua almacenada mediante el control de las compuertas y se recuperará el volumen de almacenaje de inundación.

- Al final de la época lluviosa, las compuertas son operadas para que el nivel de agua de la Laguna se eleve a 65.0 m y se mantenga así.

Durante la Epoca Seca

- Se mantendrá el nivel de agua de la Laguna en 65.0 m, al cerrar las compuertas completamente.
- La profundidad total de evaporación durante la época seca se estima entre 80 y 90 cm y como aún persiste afluente de la propia captación, el nivel de agua de la Laguna se mantendrá sobre los 64.0 m.

6.3 Plan para las Instalaciones del Río

6.3.1 Concepto de Mejoramiento

El mejoramiento del Río Grande de San Miguel se propone para el Proyecto Prioritario, de la siguiente manera:

- El nivel diseño de la marea en la desembocadura del río es el nivel alto de marea media de 1.4 m.s.n.m..
- El área de inundación aguas abajo de Usulután, estará protegida por diques.
- Se reducirá el área de inundación alrededor de la Laguna El Jocotal por medio de dragado/excavación, los cuales reducirán el nivel de inundación del río.
- Se reducirá el área de inundación alrededor de la Laguna Olomega por medio de dragado/excavación para el área aguas abajo y por los diques para el área aguas arriba. Los diques que se proponen en el tramo aguas arriba también servirán para la desviación de las aguas de inundación hacia la Laguna de Olomega.
- Se mejorará el área de inundación cerca de la Ciudad de San Miguel en la etapa del Plan Maestro. En esta área se reducirá el daño por inundación antes de la etapa del Plan Maestro, por medio del manejo de planicies inundables.
- Se propone que los diques tengan una borda libre de 1.2 m sobre el nivel de inundación con un período de retorno de 10 años.
- Se proponen secciones transversales compuestas para el canal del río para su estabilidad. Se planea que las secciones del nivel bajo de agua del canal, tengan capacidades similares a las actuales, para poder descargar las frecuentes inundaciones después del control de inundación.
- Se protegerán los lados cóncavos de las secciones curvas mediante revestimientos.
- Se minimizará una doble inversión en un futuro mejoramiento del río.

6.3.2 Alineación del Río

Se han efectuado estudios alternos para la alineación del río en dos tramos, cerca de la desembocadura y alrededor de la Laguna de Olomega.

Cerca del Estuario

Como se muestra en la Fig. 6.5, se compararon tres alternativas desde el punto de vista de los costos de mejoramiento del río, de los efectos en los manglares y en la reducción en el área de inundación. Las alternativas son las siguientes:

- Alternativa 1: Colocación de diques hasta el Cerro El Encantado (la misma ubicación que la del dique existente) y dragado en el río para la sección de tierras de cultivo.
- Alternativa 2: Colocación de diques hasta el final de la sección de tierras de cultivo.
- Alternativa 3: Colocación de diques hasta el final de la sección de tierras de cultivo y corte de los manglares.

La comparación de las alternativas se muestra en el Cuadro 6.3.

Se recomendó la Alternativa 1 por las siguientes razones:

- Se reducirá la inundación del área de cultivo, la cual era zona de manglares anteriormente, por medio del dragado del río,
- Los efectos del mejoramiento del río sobre los manglares son muy pequeños durante una gran inundación, debido a la dispersión del agua de inundación sobre las áreas cultivadas,
- El costo de construcción es bajo, y
- Se evita la tala de los manglares.

Alrededor de Olomega

Se compararon tres alternativas de alineación, como se muestra en la Fig. 6.6 (referirse al Cuadro 6.4).

- Alternativa 1: La misma alineación que la existente en el Río Grande de San Miguel, mejorar el Río La Pelota y usarlo como canal derivador,
- Alternativa 2: Igual que la Alternativa 1, excepto por el canal de cauce recto antes del Delirio,
- Alternativa 3: Mejoramiento del Río La Pelota y el Desagüe de Olomega como un nuevo Río Grande de San Miguel.

La Alternativa 1 se recomienda por las siguientes razones:

- El costo de la construcción es el más bajo,
- No habría un serio impacto social y
- Se pueden evitar los efectos en el uso del agua del río.

El esquema del plan para el mejoramiento del río se muestra en la Fig. 6.7.

6.3.3 Plan para las Secciones Longitudinales y Transversales

El perfil longitudinal y las secciones transversales del Río Grande de San Miguel para el Proyecto Prioritario se han propuesto de la siguiente manera:

- Los perfiles longitudinales del nivel de diseño alto de agua y del lecho del río son, en principio, propuestos aproximadamente paralelos a la línea del nivel de suelo ó la línea del nivel de la última inundación en las áreas propensas a inundaciones.
- No habrá ningún mejoramiento a 10 km de la desembocadura del río (Canal Santa Rita).
- Los cortes transversales de los canales con un nivel bajo de agua, están bien balanceadas de tamaño desde aguas arriba hasta aguas abajo.

Los perfiles longitudinales propuestos y las secciones transversales representativas del Río Grande de San Miguel, se muestran en las Figs.6.8 y 6.9, respectivamente.

6.3.4 Plan para las Instalaciones

(I) Canal del Río

El concepto del mejoramiento del canal del Río Grande de San Miguel se muestra en el Cuadro 6.5 en comparación con el Plan Maestro y el Proyecto Prioritario.

Tramos del Río para el Diseño del Canal

El Río Grande de San Miguel y sus canales relacionados se dividieron en 20 tramos con el propósito de diseño del canal: tramos L0 al L3 para el tramo Bajo, M1 al M6 para el tramo Medio, U1 al U6 para el tramo Alto, FW y O1 para el Desagüe de Olomega y P2 para el Río La Pelota.

Lineamiento del Canal

El lineamiento del canal es generalmente el mismo para el Plan Maestro y el Proyecto Prioritario. Especialmente los lineamientos de los diques para el Proyecto Prioritario se han diseñado bajo los mismos lineamientos del Plan Maestro. El lineamiento del canal se diseñó principalmente en el cauce actual del río, excepto por:

- 1) Fuertes curvas locales en el río existente: Alineación para suavizarlo

- 2) Tramos de meandros en el área del Jocotal (tramos M2 a M5): Mejorados mediante canales de cauce recto
- 3) El canal de desviación de Olomega a lo largo del Río La Pelota (tramo P2): El canal fue realineado para reducir la indemnización de viviendas
- 4) Un canal de cauce recto aguas abajo, desde SM113 (tramo FW)

Perfil del Canal

El nivel de diseño alto de agua (NDAA), se fijó considerando el pasado nivel de inundación y la elevación del suelo a drenarse. El NDAA del Proyecto Prioritario se fijó a la misma elevación que la del Plan Maestro. El NDAA se fijó más bajo que el nivel del agua para la inundación de 1995 en total; excepto los tramos L1 a L3 y U3, donde el agua de inundación se bifurcó ó rebalsó el dique.

La elevación diseño del lecho del río se fijó principalmente en el lecho de río más bajo, ó el más alto. No obstante, en el área El Jocotal (tramos M3 a M5), el lecho de río diseño se fijó más bajo que el existente, debido a que la sección del canal actual es muy pequeña para transportar la descarga diseño. Las pendientes del canal se diseñaron aproximadamente iguales a las del canal existente.

Sección del Canal

Para el Proyecto Prioritario, la sección del canal con dique se diseñó basada en la inundación diseño con un período de retorno de 10 años y la sección del canal sin dique para la descarga diseño con un período de retorno de 2 años; mientras que la sección del canal para el Plan Maestro se diseñó basada en la descarga diseño con un período de retorno de 10 años. La pendiente de lado del canal excavado es de 1 en 2 y una berma se proveerá a los 3 m sobre el lecho diseño.

(2) Diseño Preliminar de Otras Instalaciones

Dique: La sección del dique estándar se muestra en la Fig. 6.10 y se aplica tanto para el Proyecto Prioritario como para el Plan Maestro.

Revestimiento: Se propuso el revestimiento del canal de nivel bajo de agua en las curvas cerradas, donde el flujo de inundación golpea los bancos directamente.

Esclusa de Drenaje: La esclusa de drenaje se propuso cruzando el dique para el drenaje interno, donde la elevación del suelo es más baja que el NDAA y así puedan drenar las áreas del alrededor.

Rebordes: Las obras de rebordes son necesarias en la caída del lecho del río para poder consolidar y estabilizar el lecho del río.

Compuerta de Toma: Al inicio del canal de cauce recto en SM113, se habrá de cerrar el actual Río Grande de San Miguel. Sin embargo, el río existente necesita suministrar agua para riego durante la temporada seca, por lo que se propuso una compuerta de toma a través del dique del actual Río Grande de San Miguel. La descarga diseño de la compuerta de toma se asumió en $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$, basado en el flujo promedio durante la temporada más seca.

Puentes: Los actuales puentes en Moropala y Vado Marín necesitan ser reconstruidos para el Plan Maestro, debido a que el Puente Moropala no es lo suficientemente largo y el Puente de Vado Marín no es suficiente largo ni elevado. Sin embargo, estos puentes no se reconstruirán en la etapa del Proyecto Prioritario, pues se propusieron nuevos puentes sobre el Nuevo Canal de Cauce Recto (CF), el canal de desviación de Olomega (P2) y el Desagüe de Olomega (O1). Se propuso un puente de concreto prefatigado de 8 m de ancho.

Camino Rural: Se necesita que los caminos rurales existentes sean reubicados en algunos lugares, debido a la excavación del canal y las obras de embanques de los diques.

El diseño preliminar de las instalaciones más importantes se muestra en la Fig. 6.11.

(3) Adquisición de la Tierra e Indemnización de Viviendas

La tierra dentro del área designada del río se adquirirá para las obras y se deberá compensar por las viviendas.

(4) Cantidades de Obras

Las cantidades de las obras estimadas basadas en los resultados del diseño de las instalaciones preliminares, se muestran en el Cuadro 6.6 y se resumen a continuación:

Mejoramiento del Río (del estero hacia Aramuaca)

- Dragado / excavación : $7,444 \times 10^3 \text{ m}^3$ (L = 70 km)
- Dique : $1,173 \times 10^3 \text{ m}^3$ (L = 29 km)
- Revestimiento : 6,000 m
- Reborde : 4 lugares, 229 m
- Puente : 3 lugares
- Esclusa : 1 lugar

Desviación / Retardación en la Laguna de Olomega

- Excavación / dragado : 591 x 10³ m³
- Vertedero desviador : 1 lugar
- Compuertas de control : 1 lugar, claro efectivo 2.0 m

6.4 Plan para el Manejo de Planicies Inundables

Las medidas no estructurales en los Proyectos Prioritarios son el manejo de planicies inundables en las áreas de San Miguel, Olomega y El Jocotal, las cuales incluyen pronóstico/advertencia de inundaciones, regulación del uso de suelo, prevención de inundaciones y educación a los residentes.

6.4.1 Mapa de Riesgo de Inundación

Se ha preparado un mapa de riesgo de inundación que cubre las áreas con potencial de inundación cerca de la Ciudad de San Miguel, Olomega y El Jocotal, para los siguientes propósitos:

- (1) Como información básica para el planeamiento detallado de la regulación del uso de suelos / prevención de inundaciones y el aviso de inundación,
- (2) Para informar a los residentes y autoridades relacionadas al desarrollo, acerca del plan para el manejo de planicies inundables y discutir cubriendo los siguientes puntos:
 - Antecedentes y propósitos de todo el proyecto de control de inundación y el programa de implementación,
 - Contenido de las áreas de riesgo de inundación, dependiendo de la etapa de implementación,
 - Como usar las tierras y la metodología para combatir la inundación.

Se han analizado los mapas de riesgo de inundación que muestran las áreas de inundaciones, ocasionadas por diferentes magnitudes de inundaciones en cada etapa del mejoramiento del río. Los mapas de las áreas de potencial inundación se caracterizan por lo siguiente:

Áreas de Inundación (en km²) cerca de la Ciudad de San Miguel

Magnitud de Inundación	Río Existente	Después del Mejoramiento de 2 años (Proyecto Prioritario)	Después del Mejoramiento de 10 años (Plan Maestro)
Inundación con período de retorno de 2 años	1.6	1.6	0.0
Inundación con período de retorno de 5 años	2.0	2.0	0.0
Inundación con período de retorno de 10 años	2.5	2.5	0.0
Inundación con período de retorno de 20 años	3.0	3.0	0.0
Inundación con período de retorno de 50 años	3.5	3.5	0.0

Áreas de Inundación (en km²) alrededor de la Laguna de Olomega

Magnitud de Inundación	Río Existente	Después del Mejoramiento de 2 años (Proyecto Prioritario)	Después del Mejoramiento de 10 años (Plan Maestro)
Inundación con período de retorno de 2 años	41.5	9.2	0
Inundación con período de retorno de 5 años	54.5	14.0	4.6
Inundación con período de retorno de 10 años	69.4	15.5	9.6
Inundación con período de retorno de 20 años	78.0	17.5	10.0
Inundación con período de retorno de 50 años	83.7	55.4	55.4

Áreas de Inundación (en km²) alrededor de la Laguna El Jocotal

Magnitud de Inundación	Río Existente	Después del Mejoramiento de 2 años (Proyecto Prioritario)	Después del Mejoramiento de 10 años (Plan Maestro)
Inundación con período de retorno de 2 años	25.6	9.0	5.2
Inundación con período de retorno de 5 años	29.7	26.0	5.9
Inundación con período de retorno de 10 años	31.0	27.7	10.0
Inundación con período de retorno de 20 años	32.0	29.0	15.4
Inundación con período de retorno de 50 años	33.0	29.3	9.0

Los mapas del riesgo de inundación se muestran en la Fig.6.12.

6.4.2 Plan para el Pronóstico y Advertencia de Inundación

(1) Sistema Propuesto

El sistema propuesto para el pronóstico de inundación/sistema de alerta consiste en las cinco (5) estaciones de medición automática con sistema telemétrico como se muestra a continuación:

- Moscoso (afluente hacia el área con riesgo de inundación)
- Punto de desviación (nivel de inundación del Río Grande de San Miguel en el Vertedero de desviación de Olomega),
- El Delirio (al final del área de inundación alrededor de la Laguna de Olomega, al ir aguas abajo)
- Vado Marín (nivel de inundación del Río Grande de San Miguel en el área de inundación alrededor de la Laguna El Jocotal) y
- La Laguna de Olomega (pesca y retardación del agua de inundación).

(2) Pronóstico de Inundaciones y Método de Aviso

1) Areas Meta

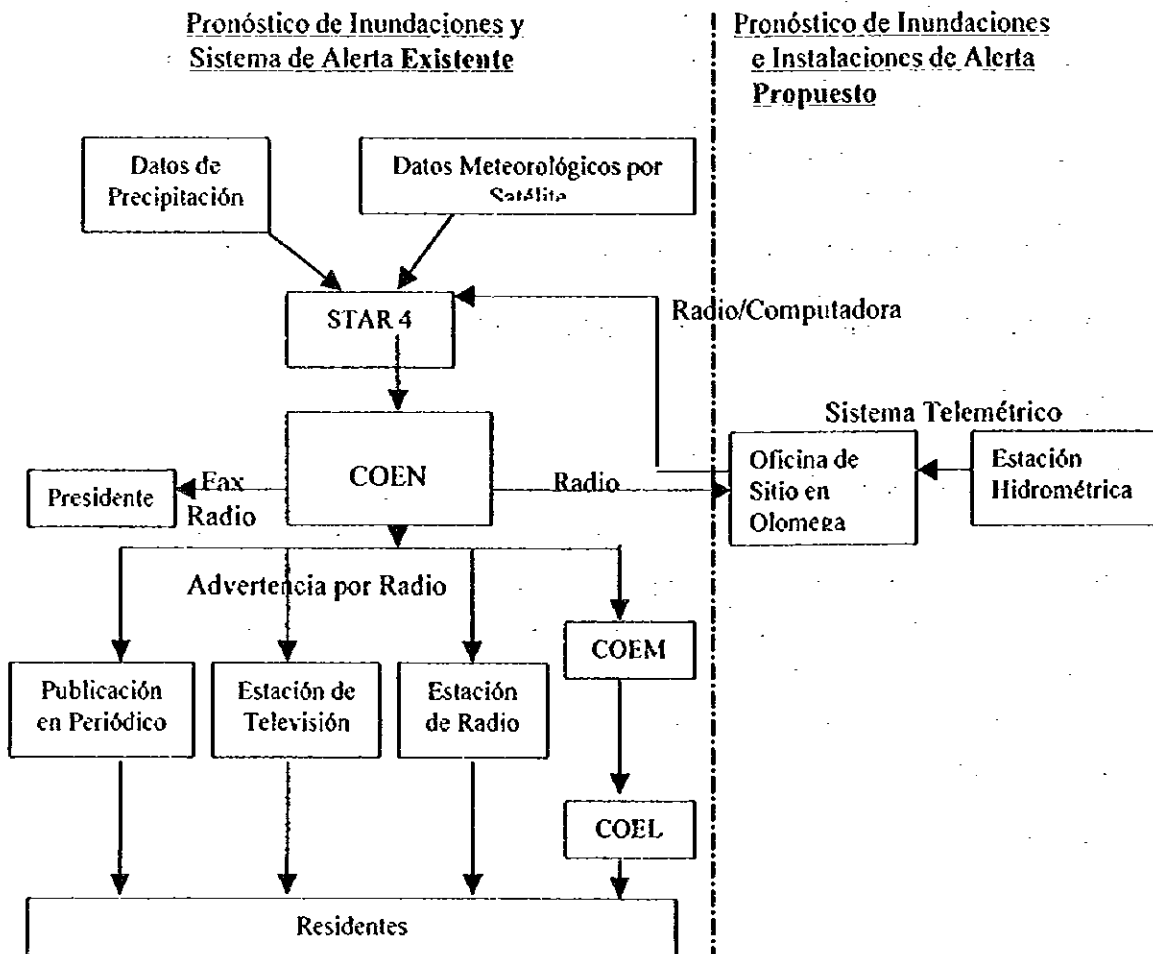
Se propone el pronóstico de inundación / advertencia para las áreas potenciales de inundación de Olomega y El Jocotal. Se propone que el sistema de pronóstico de la inundación / advertencia sea completado para el año 2005, cuando se termine el mejoramiento del río para hacerle frente a una inundación con un período de retorno de 2 años. Por consiguiente, las advertencias de inundación serán dirigidas a las áreas anticipadas a ser inundadas por inundaciones con un período de retorno de 10 años, después de la conclusión del mejoramiento del río.

2) Método de Pronóstico de Inundación

Se propone que el pronóstico de inundación sea mediante el cambio en el nivel de agua (o descarga) en Moscoso. Para la preparación de la alerta de inundación, se usará la estación actual de pronóstico del clima STAR 4 en Ilopango. El STAR 4 tiene datos cada hora, de imágenes de satélite y algunos datos de lluvia. Los datos del nivel de agua enviados desde la Oficina de Sitio se usarán también para el pronóstico.

3) Método de Advertencia de Inundaciones

Todos los datos de niveles de agua recolectados y analizados en la Oficina de Sitio de Olomega, habrán de ser informados a los residentes a través del COEN. Las viviendas en el área potencial de inundación están esparcidas en áreas amplias y tienen actualmente una densidad cerca de 0.5 familias/ha y para el 2020 será de 1.0 familias/ha. Por consiguiente, no sería práctica la transmisión de información hacia los residentes mediante teléfono, sirena, tranceptor, etc. Este método es aplicable al número limitado de personas como los jefes comunales. Se recomienda el uso de radio y computadora para el método de transmisión de datos como lo efectúa actualmente el COEN. El sistema actual de alerta de inundación y evacuación se aplica básicamente en este plan.



6.4.3 Plan para el Uso de Suelos

(1) Área cerca de la Ciudad de San Miguel

El uso actual de la tierra del área potencial de inundación consiste en 31.5 % de pastizales, 23.5 % de zona urbana, 23.3 % de caña de azúcar, 8.6 % para cosechas anuales, etc., con un área total de 700 ha. Esta área propensa a inundación, es estrecha y larga, y está formada por cauces viejos de ríos y una inundación grande no podría expandir el área debido a su empinada topografía.

El siguiente uso de suelos se recomienda para esta área:

- Se ha de mantener el área requerida para las obras de mejoramiento del río para hacerle frente a una inundación con un período de retorno de 50 años, considerando el ancho requerido y el uso futuro de suelo. El ancho requerido del río es de 100 a 110 m.
- Dentro del área del río considerada como área de riesgo no se desarrollará para propósitos comerciales, industriales ni residenciales, a menos que se apliquen métodos de embanques u otros métodos para combatir las inundaciones. Se pueden usar para áreas con un potencial bajo de daños, como la agricultura, parques, etc.

(2) Áreas alrededor de las Lagunas de Olomega y El Jocotal

Las guías propuestas para el uso de suelos en esta área, desde el punto de vista de control de inundación, son las siguientes:

- No se desarrollarán para ningún propósito, las áreas anticipadas a inundarse por una inundación con un período de retorno de 2 años,
- El área que no se inunde por una inundación con un período de retorno de 10 años se puede desarrollar para cualquier propósito,
- Las áreas que se inunden por una inundación con un período de retorno de 10 años, pero no por una inundación con un período de retorno de 2 años, se podrán usar para propósitos de bajo daño potencial.

El manejo de planicies inundables se muestra en la Fig. 6.13.

(3) Educación a los Residentes

La educación a los residentes, realizada por el MAG, deberá llevarse a cabo para la comprensión del sistema de pronóstico/advertencia de inundaciones, evacuaciones, método del uso de suelos, prevención de inundaciones, etc., haciendo uso de los mapas de riesgo de inundación. El MAG deberá contactar otras agencias gubernamentales relacionadas al desarrollo para un crecimiento sin problemas de la región.