APÉNDICE H

PREVENCION DE INUNDACIONES

ANEXO H

PREVENCION DE INUNDACIONES

CONTENIDO

Página

H.1 Situación Actual de las Inundaciones ..... H - 1

H.1.1 Factores Causantes de los Daños de Inundación ..... H - 1
H.1.2 Inventario de los Daños ..... H - 2
H.1.3 Hidrología Durante las Inundaciones ..... H - 4
H.1.4 Medidas Contra las Inundaciones ..... H - 5

H.2 Prevención de Inundaciones ..... H - 5

H.2.1 Sitios de Referencia ..... H - 6
H.2.2 Volumen Estándar de Inundaciones ..... H - 6
H.2.3 Análisis de Inundaciones ..... H - 9
H.2.3.1 Construcción del Modelo de la Zona H-10
H.2.3.2 Verificación del Modelo H-12
H.2.3.3 Estancamiento de Agua por las Inundaciones En el Area del Estudio H-15
H.2.4 Plan de Prevención de Inundaciones H-16
H.2.5 Análisis de las Alternativas de Prevención de Inundaciones H-17
H.2.6 Plan de Prevención H-20
H.2.6.1 Proyecto de Mejoramiento del Cauce H-20
H.2.6.2 Proyecto de Elevación de los Caminos Principales H-24
H.2.6.3 Plan Regulador y Sistema de Alerta Temprana H-24

Informaciones referenciales
Proyecto de Construcción de los diques Perimetrales H-26
Plan de Manejo de la Ciudad de Filadelfia H-27

LISTA DE CUADROS

Cuadro H.2.1 Valores de Probabilidad de Excedencia de Precipitación en Uno, Dos y Tres Días H-33
Cuadro H.2.2 Hietógrafo H-40

LISTA DE FIGURAS

Figula H.1.1 Perfil del Río Tempisque (resultsdo del estudio en 1983) H-45
Figula H.2.3.1 Sección Transversal del Río H-46
Figula H.2.3.2 Curva de H-A-V en cada Bloque H-48
Figula H.2.3.3 Nivel de Marea H-51
Figula H.2.3.4 Resultados del Cálculo en cada Bloque H-52

H.1 Situación Actual de las Inundaciones

Las inundaciones estacionales que afectan el Area en Estudio son provocadas por la precipitación concentrada durante la época de lluvia, la cual combinada con la falta de capacidad de drenaje de la zona, origina el estancamiento de agua, etc. De acuerdo con el Mapa de Amenaza potencial de inundación preparado por la Comisión Nacional de Emergencias - CNE (basado en datos de elevaciones de los suelos y en entrevistas realizadas a los habitantes), una gran parte del Area en Estudio se incluye en la zona amenazada por las inundaciones. A continuación se presenta una síntesis sobre los principales factores causantes de los daños de las inundaciones identificados a través del estudio de campo, los daños producidos, el régimen hidrológico durante las inundaciones, así como las medidas que se toman actualmente para disminuir los daños provocados por este fenómeno.

H.1.1 Factores Causantes de los Daños de Inundación

El estancamiento del agua se produce como resultado de la combinación de una serie de factores hidrológicos, topográficos, etc. Las principales causas de las inundaciones en el Area en Estudio son las que se describen a continuación, las cuales provocan importantes daños al combinarse unas con otras.

(1) Precipitación

El Area en Estudio se caracteriza por la precipitación concentrada y continua durante la época de lluvias generada por los efectos de los ciclones tropicales que nacen en el este del Océano Pacífico y de los huracanes del Mar Caribe. Las lluvias que ocurren entre los meses de mayo y agosto, que corresponden a la primera mitad de la época lluviosa, por lo general, se deben a los ciclones que emergen localmente, y se caracterizan por tener un sólo pico de precipitación y por la corta duración de las inundaciones. Mientras tanto, las lluvias en los meses de setiembre a noviembre, que corresponden a la segunda mitad de la época lluviosa, se caracterizan por ser concentradas e incesantes debido a la formación de sucesivos huracanes y al estancamiento del agua o al recorrido sinuoso de uno de ellos. El estancamiento del agua afecta el Area en Estudio cuando se producen las olas continuas de inundaciones, bajo las lluvias persistentes.

(2) Topografía

Las crecidas de la cuenca del Río Tempisque son drenadas aguas abajo del mismo, a través del cauce principal del Tempisque, así como los ríos Liberia, Las Palmas - Bolsón, Cañas - Charco, para desembocar finalmente en el Golfo de Nicoya. Las aguas en confluencia de los Ríos Bolsón y Charco con el Tempisque, y las aguas de éste último, después de la confluencia con el Charco, discurren sobre el sedimento aluvial entre las lomas dispersas en forma de islas. El Río Tempisque sólo tiene formada la sección de cauce de aguas bajas. Las márgenes tienen una altura que oscila entre 3,5 y 4,5m, que es similar a la altura de marea alta. El río está rodeado de humedales debido al desbordamiento del agua durante las inundaciones y en sus márgenes se observa la formación de los manglares y bosques ribereños con especies nativas. Estos elementos dificultan aún más el drenaje natural en la cuenca baja, propiciando el estancamiento de las aguas.

(3) Marea

El Río Tempisque recibe la influencia de la marea del Golfo de Nicoya (Océano Pacífico) al que desemboca sus aguas. La marea llega hasta la parte alta del "by-pass" (Canal de SENARA) 25km aguas arriba de la confluencia con el Río Bebedero. De la misma manera, esta misma influencia llega en los tributarios Bolsón y Charco hasta una distancia de 3 a 4 km desde la confluencia con el Tempisque. Por lo tanto, cuando la

inundación se combina con la marea alta, el agua en vez de discurrir, se estanca en la cuenca baja, extendiendo aún más la superficie inundada. En cuanto a los datos de la marea, se podría utilizar la información recogida en Puntarenas, ubicado a la salida del golfo de Nicoya, aunque hay que tomar en cuenta que la altura de la marea en la confluencia de los ríos Tempisque y Bebedero tiene un retraso de una hora en comparación con Puntarenas. La marea alta tiene una altura de entre 3,5 y 4,5m.

(4) Capacidad de escurrimiento de los ríos

En la Figura H.1.1 se muestra la capacidad de escurrimiento del Río Tempisque, calculada con base en los resultados del levantamiento topográfico del Río Tempisque, entre Palmira y La Guinea, en el año 1982. El cauce actual tiene una capacidad de escurrir aproximadamente 300m^3/s a la altura de La Guinea, de 1.100 m^3/s a la altura de Filadelfia y de 1.700 m^3/s en Palmira. Esto quiere decir que el Río Tempisque puede soportar una inundación de una probabilidad de retorno de diez años en el extremo superior de la cuenca media, y de tres años en el extremo inferior de la cuenca media. En cuanto a los ríos Liberia, Las Palmas -Bolsón y Cañas - Charco, que son los tributarios del Tempisque, no existen datos de levantamiento topográfico. No obstante, de la sección de estos ríos observadas en el estudio de campo, se deduce que su sección puede soportar un escurrimiento de entre 50 y 100m^2, en las cuencas media y baja. Al suponer que la velocidad del agua durante la crecida es de 2 a 3 m/s, estos ríos pueden soportar un escurrimiento de 100 a 300m^3/s. Sin embargo, al tomarse en cuenta la superficie de la cuenca de cada uno de estos ríos, así como la sinuosidad de los cauces originales, las aguas de los ríos se desbordan con relativa facilidad cuando las inundaciones superan una determinada magnitud.

(5) Uso del suelo

Las tierras de la cuenca baja del Río Tempisque son destinadas principalmente a las actividades agropecuarias, con excepción del Parque Nacional Palo Verde, ubicado en la margen izquierda. Estas tierras agrícolas se desarrollaron sobre áreas que originalmente eran inundadas por el Río Tempisque, lo que implica que son propensas a sufrir los daños del estancamiento de aguas. Las áreas donde no llega la influencia de la marea están ocupadas principalmente por el cultivo de caña, incluyendo las grandes empresas, mientras que las tierras cercanas al río y propensas a sufrir los daños de pequeñas inundaciones estacionales, son destinadas a la ganadería o a la producción de pasto. Sin embargo, existen también tierras agrícolas en este último grupo, protegidas por diques (algunos transitables con vehículos y otros de estructura sencilla de terraplenado), lo que también constituye otro factor más que impide el drenaje del agua excedente, que proviene de la cuenca alta.

H.1.2 Inventario de los Daños

Los daños de las inundaciones, según su orden de importancia son: los daños sufridos por las viviendas y las tierras agrícolas ubicadas en los tramos de desbordamiento de los ríos, y el deterioro de las infraestructuras como caminos, puentes y sistemas de agua potable y alcantarillado en los tramos por los que discurren las crecidas. No se han reportado serios daños humanos, puesto que los habitantes locales se evacuan, ya sea por las instrucciones de CRE, CLE y CCE que son las comisiones descentralizadas de la CNE, o bien en forma voluntaria cuando sube el nivel de agua de los ríos. En el siguiente cuadro se resumen los daños producidos en Guanacaste según los datos de la CNE por los huracanes Mitch (1998) y Floyd (1999).

(1) Huracán Mitch

El Huracán Mitch se produjo en el Mar de Caribe en octubre de 1998 y ocasionó grandes daños en la región centroamericana. En el caso específico de Costa Rica, 40 cantones de cinco provincias (San José, Guanacaste, Alajuela, Puntarenas y Cartago) fueron azotados entre los días 22 de octubre y 2 de noviembre. Según "Efectos del Huracán Mitch" de CNE, se reportaron daños en 2,135 viviendas, 5.500 personas evacuadas, 4 muertos, 515 tramos viales, 124 puentes y 74.000 ha de tierras agrícolas.

En el siguiente Cuadro se resumen los daños sufridos por los cantones de Liberia, Carrillo y Santa Cruz de la Provincia de Guanacaste.

Unidad: millón de Colones

Daños	Liberia		Carrillo		Santa Cruz		Total	
	Cantidad	Monto	Cantidad	Monto	Cantidad	Monto	Cantidad	Monto
Agricultura (ha)								
Arros	-	-	1500	364.00	205	30.90	1705	394.90
Caña de Azúcar	-	-	5600	696.00	1000	46.40	6600	116,00
Pasto	-	-	2400	-	4500	-	6900	-
Frijol	40	1.70	100	4.1	700	-	840	-
Estructuras de Obras Hidráulicas y Alcant-arillado(N°. de sitios)	2	15.30	1	0.50	2	4.15	5	19.95
Estructuras (N°. de sitios)								
Carreteras	1		2		8		11	
Puentes	-	1.35	1	142.40	4	511.87	5	655.62
Estructuras de Cruce	-		15		30		45	
Dique	-		2		8		10	
N°. de casas dañadas	-	-	182	-	218	-	400	-

Fuente: CNE

(2) Huracán Floyd

El Huracán Floyd se produjo entre los días 23 de septiembre y el 2 de octubre de1999, cuando un ciclón adquirió intensidad en el Océano Pacífico, y provocó intensas lluvias en la Región Centroamericana. En el caso específico de Costa Rica, la región norte del litoral del Pacífico, principalmente Guanacaste, fue azotada por las inundaciones y derrumbes provocadas por las lluvias torrenciales. En el siguiente Cuadro se resumen los daños sufridos por los cantones Liberia, Carrillo y Santa Cruz de la Provincia de Guanacaste, donde se ubica el Area del Estudio.

Unidad: millón de Colones

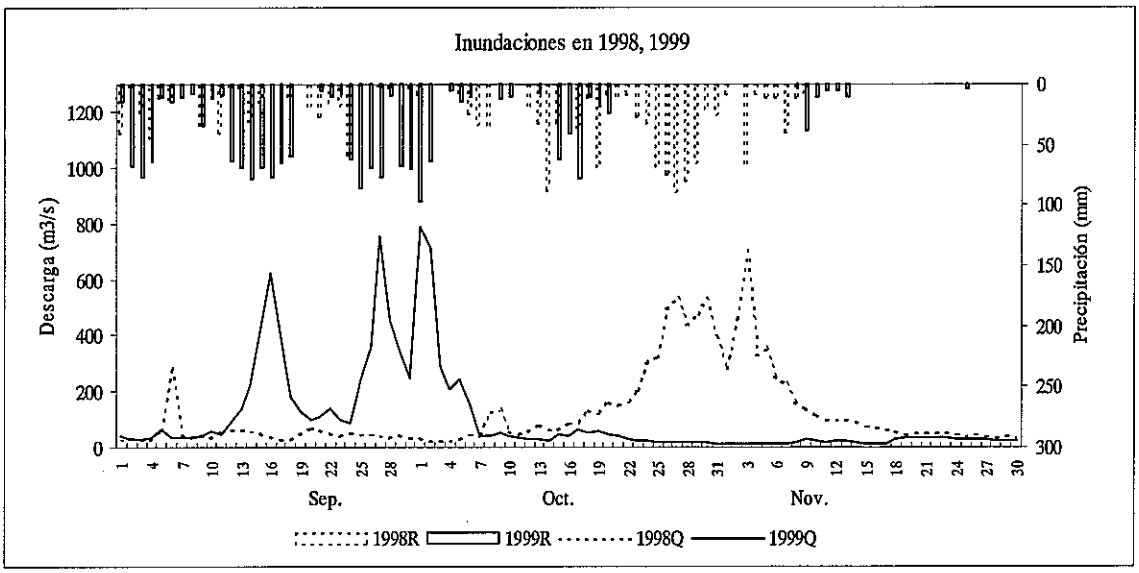
Daños	Liberia		Carrillo		Santa Cruz		Total	
	Cantidad	Monto	Cantidad	Monto	Cantidad	Monto	Cantidad	Monto
Agricultura (ha)								
Arros	1275	338.52	3000	210.00	285	56.70	4560	605.22
Caña de Azucar	525	111.15	12000	370.50	1580	14.82	6600	116,00
Pasto	-	-	10000	25.00	5500	61.25	15500	86.25
Frijol	-	-	1300	68.80	325	30.53	1625	99.33
Estructuras de Obras Hidráulicas y Alcant-arillado(N°. de sitios)	-	-	-	-	-	-	-	-
Estructuras (N°. de sitios)								
Carreteras	1		1		1		3	
Puentes	1	-	4	-	1	-	6	-
Estructuras de Cruce	-		1		1		2	
Dique	-		-		-		-	
N°. de casas dañadas	-	-	196	-	279	-	475	-

Fuente: CNE

Del cuadro anterior, se observa que los daños se concentran en la inundación de las infraestructuras y de las tierras agrícolas en el Cantón de Carrillo y perteneciente al Area en Estudio. La mayoría de las viviendas inundadas ha sido de La Guinea, a lo largo del Río Tempisque y de Corralillo, donde la elevación del suelo es inferior a 10 m.s.n.m. Por otro lado, los caseríos de Ortega y Bolsón, ubicados aguas abajo de Corralillo, están a elevaciones mayores a 10 m.s.n.m., lo que hace que no se haya reportado serios daños en esos caseríos aunque estos se queden aislados al inundarse los caminos. Si bien es cierto que se solicitó información a las instituciones pertinentes, no se ha podido obtener los mapas de las áreas inundadas.

H.1.3 Hidrología Durante las Inundaciones

En la siguiente figura se presentan los datos de la descarga media diaria, registrados en la Estación Guardia y la precipitación registrada en la Estación Tempisque cuando llegaron los huracanes Mitch (1998) y Floyd (1999).



Fuente: ICE y SENARA

La descarga total en época de lluvias del año 1998 registrada en la Estación Guardi,a corresponde a un período de retorno de cinco años, mientras que la descarga total de la época de lluvias del año 1999 es de diez años (se desconoce el caudal pico de cada inundación, por no disponerse de registros). Por otro lado, la precipitación de la cuenca en la época de lluvia correspondiente a la descarga registrada en la Estación Guardia, muestra similares períodos de retorno que la descarga tanto en 1998 como en 1999. Sin embargo, los datos de la Estación Tempisque para el año 1999 (aguas abajo de la Estación Guardia) muestran precipitaciones equivalentes a un período de retorno de 100 años (un total de 1.800mm aproximadamente entre setiembre y noviembre, mientras que el promedio es de 800mm para ese período). De todo esto se deduce que en 1999, ocurrieron las inundaciones en los ríos Palmas y Cañas cuya magnitud superó el período de retorno de la corriente principal del Río Tempisque, y que la ampliación de las áreas inundadas en la cuenca baja ha retenido más tiempo el agua estancada, provocando mayores daños en la zona.

Las medidas de mitigación de inundaciones que se están tomando actualmente en el Area en Estudio se enfocan principalmente en la cuenca media del Río Tempisque donde se concentran tanto la población como la infraestructura agrícola. De la misma manera, la construcción de los diques y las obras de dragado también tienden a concentrarse en el cauce principal del Tempisque. Sin embargo, la descarga de agua que ocurre hasta la altura de Guardia, representa sólo una tercera parte del agua de

inundación que afecta esta zona, y el volumen restante proviene de los ríos Liberia, Las Palmas-Bolsón, Cañas-Charco, y otros tributarios que sumados representan dos tercios de la cuenca, habiendo necesidad de tener plenamente en cuenta que la influencia del remanso provocado por el mal drenaje de la cuenca baja de los tributarios del Río Tempisque incrementa los daños por inundación en la cuenca media del Tempisque.

H.1.4 Medidas Contra las Inundaciones

Con el fin de prevenir o mitigar los daños del estancamiento de aguas provocado por el desbordamiento del Río Tempisque, se vienen tomando diferentes medidas. Las principales son las siguientes:

- Construcción del dique en la margen izquierda del Río Tempisque en la parte norte de Los Angeles, hasta La Guinea;
- construcción del dique en la margen izquierda del Río Tempisque entre La Guinea y la vieja laguna Guabal, en una extensión de 15km;
- construcción del dique en la margen izquierda del Río Sardinal;
- construcción del dique en la margen derecha del Río Tempisque a la altura de la ciudad de Filadelfia, en una longitud de 3km;
- mejoramiento del Río Bolsón en las cercanías de Bolsón y Ortega;
- rectificación de 3,5km del canal SENARA; y,
- dragado del cauce aguas abajo del Río Tempisque

Por otro lado, las principales medidas contra inundaciones proyectada hacia el futuro por la CRE son las siguientes:

- Incrementar la elevación del camino entre Palo Blanco y el Ingenio CATSA, en la margen izquierda del Río Tempisque. Este camino sirve al mismo tiempo de dique;
- dragado en la confluencia de los Ríos Las Palmas- Bolsón y el Tempisque;
- construcción del canal desde la parte alta de los Jocotes hasta la finca El Relleno, atravesando Ojochal y Finca Las Palmas, con el fin de mejorar el drenaje de la ciudad de Filadelfia y barrio El Bambú;
- revisión de la alternativa de construir una "válvula de escape" hacia el Océano Pacífico desde Monte Galán, para evacuar parte del agua del Río Tempisque que provoca las inundaciones; y,
- creación de refugios para los evacuados (identificación de los edificios que sirvan de refugio, construcción de salas comunales, etc.)

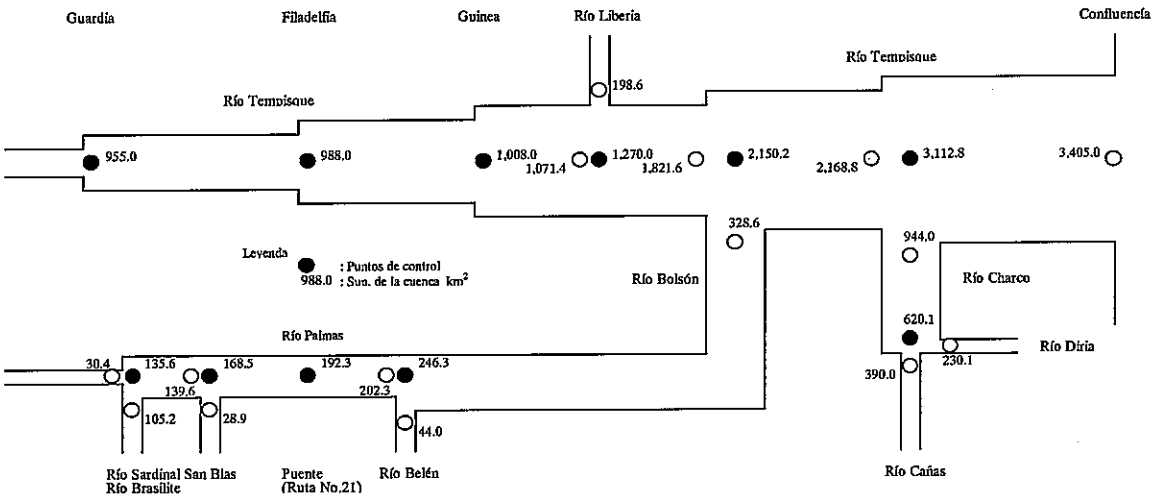
H.2 Prevención de Inundaciones

El cauce que avena el terreno aluvial tiene una sección natural capaz de drenar el caudal con probabilidad de retorno de uno a tres años, y en el estado original del río las inundaciones estacionales que superan este volumen se desbordan. El Río Tempisque y sus tributarios de la cuenca presentan en su mayoría cauces naturales, salvo la cuenca media del Río Tempisque, donde se concentran tanto la población como la infraestructura agrícola, por lo que una vez producida la inundación en la cuenca, el agua se desborda del cauce y se estanca en las tierras bajas como un proceso natural. Adicionalmente, a la margen izquierda de la cuenca más baja del río, se extiende el Parque Nacional Palo Verde creado para proteger el ecosistema de los humedales, el cual se ve beneficiado por el desbordamiento e inundación de las aguas producidas en la cuenca baja para su conservación. Por otro lado, el cambio artificial del uso del suelo dentro de la cuenca (concentración de la población y de la infraestructura agrícola) ha generado la necesidad de prevenir y proteger la vida humana y sus bienes de las inundaciones estacionales. El presente Plan, precisamente, tiene por objetivo mitigar los daños de las inundaciones. Sin embargo, al tomarse en cuenta la situación actual de la cuenca, descrita anteriormente, la tendencia actual de respetar y proteger la naturaleza,

así como la relación de las inversiones requeridas para el control hidrogeológico y sus beneficios, etc., se considera que los métodos de prevención de las inundaciones en la cuenca del Río Tempisque no deben basarse en los pensamientos tradicionales de encerrar el agua en los cauces, sino en sensibilizar a la población en reconsiderar el río como un elemento natural y convivir en armonía con él (en otras palabras, priorizar las medidas de protección de la vida humana, y al mismo tiempo tolerar ciertos grados de desbordamiento de las aguas fluviales e inundación de las tierras). El Plan de Prevención de las Inundaciones será elaborado en el marco de este entendimiento fundamental, y a continuación se proponen las medidas a tomar en el Área en Estudio, planteadas con una visión de prevención de las inundaciones para la totalidad de la cuenca del Río Tempisque.

H.2.1 Sitios de Referencia

Los sitios de referencia para determinar la magnitud del plan, nivel base de aguas altas, etc. con miras a diseñar las medidas de prevención de las inundaciones fueron identificados tomando en cuenta la concentración de la población y bienes dentro y alrededor del Area en Estudio, distribución geográfica de los daños ocurridos, secciones angostas del río, confluencia con los tributarios, etc. Los sitios identificados son 11: seis en el Río Tempisque (Guardia, Filadelfia, La Guinea, confluencias con los ríos Liberia, Bolsón y Charco); cuatro en la cuenca de los ríos Las Palmas - Bolsón (confluencias con los ríos Sardinal - Brasilito, San Blás, Puente de la Ruta Nacional No. 21, y la confluencia con el Río Belén), y uno en la cuenca de los ríos Cañas - Charco (confluencia con el Río Diria). En la siguiente figura se muestra la ubicación y el área de las cuencas sobre el diagrama de ríos de cada punto.

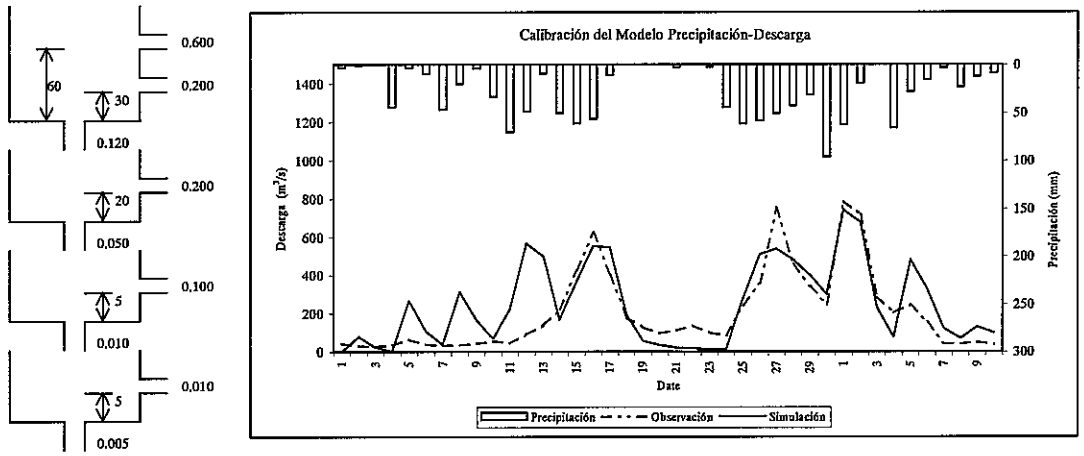


H.2.2 Volumen Estándar de Inundaciones

(1) Modelo de precipitación - descarga

Se desarrolló un modelo de precipitación - descarga con el fin de determinar el volumen base de inundaciones en los sitios de referencia. Para los efectos, se utilizan los datos de caudal diaria de la Estación Guardia y los datos de precipitación diaria de la Estación Colorado, ubicada aguas arriba de la primera, correspondientes al período entre el 1 de setiembre y el 10 de octubre de 1999. Se utilizará el modelo de tanques en serie que consiste en modelar el mecanismo de descarga de la cuenca combinando unos cuantos tanques de almacenamiento. Para los efectos de verificar la validez del modelo, se determinó que la suma del cuadrado del error del caudal real y calculado debe ser 0,03 ó menos.

La identificación del modelo se realizó calculando el caudal, para lo cual se aplicaron diferentes valores a los parámetros tamaño y altura al orificio de descarga de los tanques y comparando estos resultados con el caudal real. En el cálculo de identificación, se aplicaron diferentes valores a los parámetros, principalmente en el modelo capaz de expresar los diferentes picos de inundaciones. Como resultados del cálculo de prueba, el siguiente modelo satisfizo el criterio de verificación (suma del cuadrado de error E = 0,028). A continuación se presenta el modelo identificado junto con el hidrograma de los valores reales y calculados.



(2) Precipitación base

Para la magnitud de la precipitación de base, se elegirán los valores de probabilidad de excedencia de 5, 10, 20, 30 y 50 años según la magnitud de las inundaciones. En el Cuadro H.2.1 se muestran los valores de probabilidad de excedencia de la precipitación diaria y de dos y tres días consecutivos.

Tomando en cuenta que las lluvias en el Área en Estudio ocurren en forma concentrada durante la época de lluvias, se adoptó la precipitación de tres días continuas como precipitación base del proyecto. Debido a que el comportamiento de las lluvias de tres días continuos, según los datos existentes, en su mayoría muestra un perfil de montaña con su pico en el centro, en el presente Estudio se utilizó este mismo comportamiento de lluvias.

(3) Intensidad de lluvias

Debido a que no se disponen actualmente los datos sobre las precipitaciones horarias de cada estación meteorológica, estos serán calculados con base en las precipitaciones diarias. Las fórmulas básicas utilizadas son: re = (R24/24)(24/tp)1/3 y tp = CA0.22 re-0,35, y se calculan las precipitaciones horarias a partir de las precipitaciones horarias y el tiempo de llegada de crecidas que satisfagan ambas fórmulas (donde, re: precipitación horaria mm, R24: precipitación diaria proyectada mm/día, tp: tiempo de llegada de crecida, hora, C: coeficiente de llegada de crecida 290; y, A: área de la cuenca km^2). Por otro lado, con el fin de mantener la coherencia con el caudal pico calculado en el modelo de escurrimiento identificado precedentemente, y el valor de pico probable del caudal real, se efectúa el cálculo de prueba para definir la intensidad de lluvia base que se utiliza en las estimaciones. En el siguiente Cuadro se muestran los valores de la intensidad media anual de lluvia en la cuenca para cada probabilidad de retorno propuesta.

Unidad: mm/hora

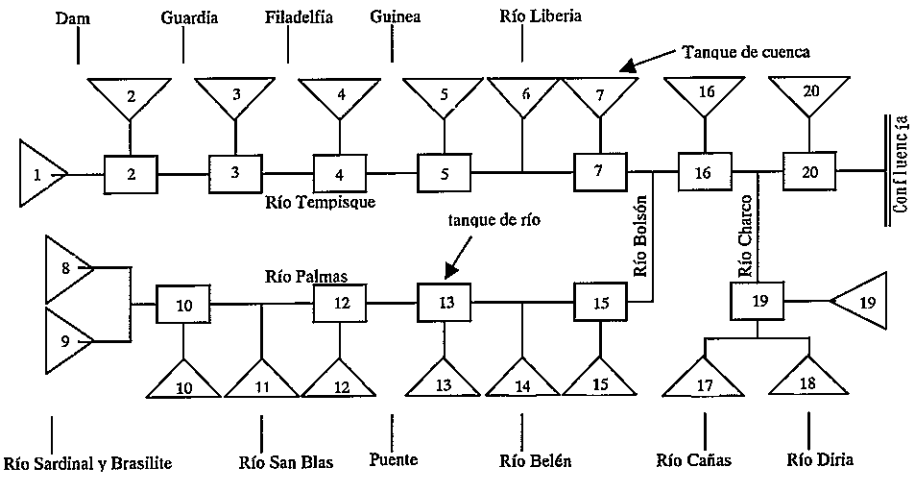
Ubicación	Sup. de cuenca (km^2)	Intensidad de lluvias calculada					Intensidad de lluvias real				
		1/5	1/10	1/20	1/30	1/50	1/5	1/10	1/20	1/30	1/50
Guardia	955.0	6.80	8.00	9.20	9.90	10.80	4.10	5.60	7.70	8.80	10.70
Filadelfia	988.0	6.80	8.00	9.20	9.90	10.80	4.10	5.60	7.70	8.80	10.70
Guinea	1008.0	6.80	8.00	9.10	9.90	10.80	4.10	5.60	7.62	8.80	10.70
Río Liberia	1071.4	6.80	7.90	9.10	9.80	10.70	4.10	5.53	7.62	8.71	10.60
Río Liberia	1270.0	6.50	7.60	8.80	9.40	10.30	3.92	5.32	7.37	8.36	10.20
Río Bolsón	1821.6	6.20	7.20	8.20	8.90	9.60	3.74	5.04	6.86	7.91	9.51
Río Bolsón	2150.2	6.10	7.20	8.20	8.90	9.70	3.68	5.04	6.86	7.91	9.61
Río Charco	2168.8	6.10	7.20	8.20	8.90	9.70	3.68	5.04	6.86	7.91	9.61
Río Charco	3112.8	5.90	7.00	8.20	8.80	9.70	3.56	4.90	6.86	7.82	9.61
Río Tempisque	3405.0	5.90	6.90	8.00	8.60	9.50	3.56	4.83	6.70	7.64	9.41
Río Liberia	198.6	7.00	8.00	9.20	9.80	10.60	4.22	5.60	7.70	8.71	10.50
Río Sardinal	30.4	8.80	10.30	11.80	12.60	13.70	5.31	7.21	9.88	11.20	13.57
Río Sardinal	105.2	8.20	10.10	12.10	13.30	14.80	4.94	7.07	10.13	11.82	14.66
Río Sardinal	135.6	8.00	9.70	11.40	12.50	13.90	4.82	6.79	9.54	11.11	13.77
Río San Blas	139.6	8.00	9.60	11.40	12.50	13.80	4.82	6.72	9.54	11.11	13.67
Río San Blas	28.9	9.00	11.00	13.00	14.20	15.70	5.43	7.70	10.88	12.62	15.55
Río San Blas	168.5	7.80	9.50	11.20	12.30	13.60	4.70	6.65	9.37	10.93	13.47
Puente	192.3	7.70	9.40	11.00	12.10	13.30	4.64	6.58	9.21	10.76	13.18
Río Blén	202.3	7.70	9.30	10.90	11.90	13.10	4.64	6.51	9.12	10.58	12.98
Río Blén	44.0	9.00	11.40	13.90	15.30	17.40	5.43	7.98	11.63	13.60	17.24
Río Blén	246.3	7.60	9.20	10.90	12.00	13.30	4.58	6.44	9.12	10.67	13.18
Río Bolsón	328.6	7.20	8.70	10.20	11.10	12.30	4.34	6.09	8.54	9.87	12.19
Río Cañas	390.0	7.60	9.70	12.00	13.40	15.30	4.58	6.79	10.04	11.91	15.16
Río Diria	230.1	7.20	8.60	10.10	11.00	12.20	4.34	6.02	8.45	9.78	12.09
Río Cañas	620.1	7.10	8.90	10.70	11.90	13.50	4.28	6.23	8.96	10.58	13.38
Río Charco	944.0	6.70	7.90	9.50	10.40	11.50	4.04	5.53	7.95	9.24	11.39

(4) Hietografía

De la precipitación probable de tres días continuos y de la intensidad de lluvias, descritas anteriormente, se determinó la hietografía de cada año de probabilidad con aplicación de la fórmula Talbot que es: r = a / (t+b). En el Cuadro H 2.2 se presentan los resultados del cálculo para cada probabilidad de retorno.

(5) Volumen base de inundaciones

El volumen base de inundaciones en los sitios de referencia se calculó para cada año de probabilidad mediante el modelo de precipitación - descarga identificado y la hietografía base. El cálculo se realizó dividiendo la cuenca del Río Tempisque en veinte áreas con base en los sitios de referencia.



El volumen máximo de inundaciones en cada sitio de referencia según los resultados del cálculo se resume en el siguiente cuadro. Los términos "aguas arriba" y "aguas abajo"

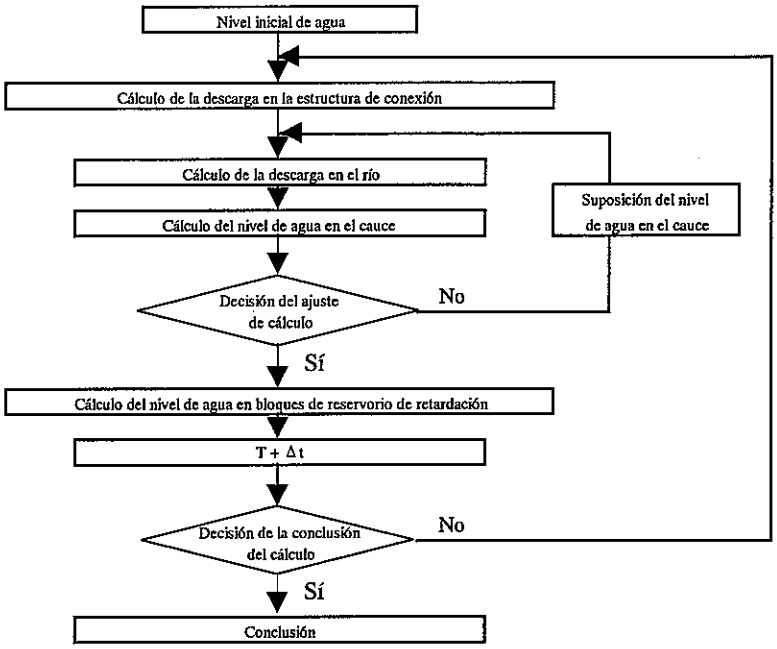
de los tributarios que aparecen en el cuadro significan antes o después de la confluencia con el Río Tempisque, respectivamente.

Unidad : m^3/sec

Ubicación	Cuenca No.	Sup. de Cuenca (km^2)	Años de Probabilidad 1/5	1/10	1/20	1/30	1/50
Río Tempisque							
Guardia	1.2	955,0	921	1276	1730	1970	2347
Filadelfia	3	988,0	950	1318	1786	2036	2437
Guinea	4	1008,0	969	1344	1801	2077	2478
Aguas arriba	5	1071,4	1023	1403	1913	2183	2609
Río Liberia	6	198,6	179	250	338	381	450
Agua abajo		1270,0	1165	1599	2200	2492	2977
Aguas arriba	7	1821,6	1587	2170	2928	3348	3975
Río Bolsón	15	328,6	300	438	596	685	823
Agua abajo		2150,2	1861	2526	3439	3930	4679
Aguas arriba	16	2168,8	1877	2547	3469	3960	4719
Río Charco	19	944,0	838	1168	1624	1859	2234
Agua abajo		3112,8	2629	3564	4937	5597	6696
Confluencía	20	3405,0	2863	3822	5244	5934	7152
Río Palmas-Bolsón							
Aguas arriba	8	30,4	33	46	62	70	83
Río Sardinal-Brasilite	9	105,2	109	160	220	252	304
Agua abajo		135,6	138	199	270	310	374
Aguas arriba	10	139,6	142	201	278	319	384
Rio San Blas	11	28,9	33	47	64	73	87
Agua abajo		168,5	168	243	334	381	458
Bridge(R21)	12	192,3	187	273	375	431	514
Aguas arriba	13	202,3	196	285	390	447	535
Río Belén	14	44,0	51	74	103	117	144
Agua abajo		246,3	241	344	475	548	656
Confluencía	15	328,6	300	438	596	685	823
Río Cañas-Charco							
Aguas arriba	17	390,0	396	578	814	945	1152
Río Diria	18	230,1	212	306	416	478	572
Agua abajo		620,1	582	853	1187	1371	1668
Confluencía	19	944,0	838	1168	1624	1859	2234

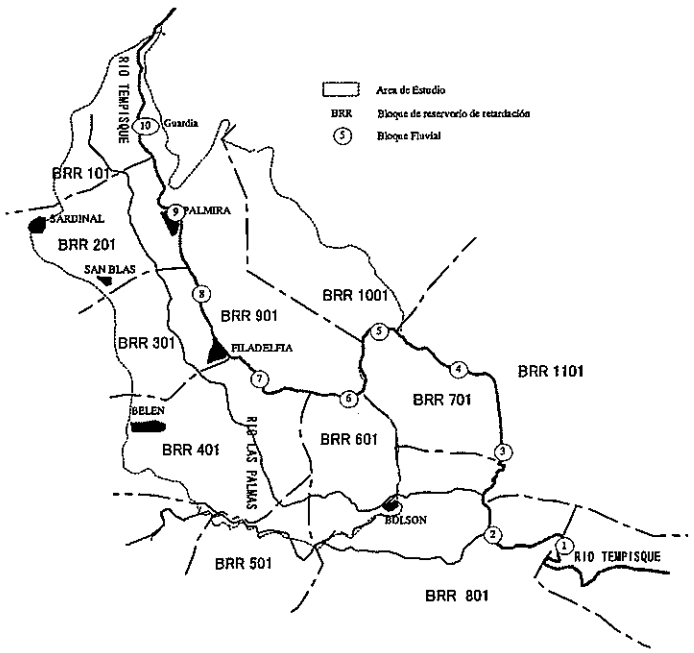
H.2.3 Análisis de Inundaciones

Para el efecto del análisis de inundaciones, se ha elaborado un modelo dividiendo el Área del Estudio en varios bloques (bloques de reservorio de retardación), donde los caminos, diques y otras estructuras lineales sirven de líneas divisorias. También los ríos son considerados como bloques (bloques fluviales). Se conectan los bloques entre sí de tal manera que permita entrar y salir el agua de la zona, tomando en cuenta la situación local y sustituyendo por alguna estructura (bomba, canal, alcantarilla, sifón, etc.) que permita realizar el cálculo hidrológico. Para el control del nivel de agua en el cálculo, se define un bloque de nivel de agua externo conectado con los bloques fluviales. El nivel de agua del bloque de agua externa se determina por el nivel de la marea en el Golfo de Nicoya. El cálculo de nivel de agua se realizó sólo en el punto del río en que se dio la sección, mientras que el cálculo de caudal se realizó en el centro de las instalaciones que conectan los bloques y en el centro entre una sección y otra del bloque fluvial. A continuación se presenta el flujo de los procedimientos del cálculo.

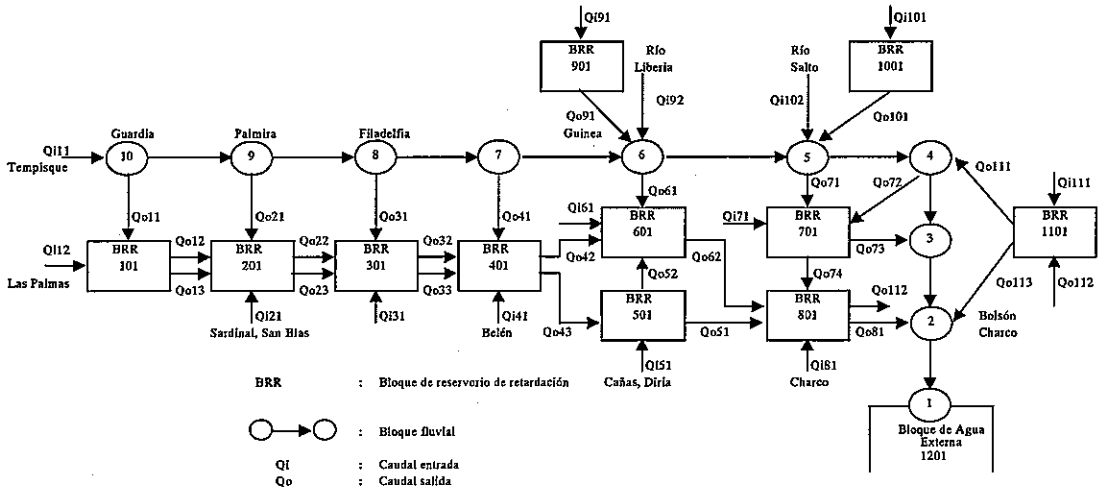


H.2.3.1 Construcción del Modelo de la Zona

Con base a las informaciones recogidas en el estudio de campo, el Area del Estudio fue dividida en tres bloques de reservorio de retardación hacia la margen izquierda, y ocho bloques hacia el margen derecha, totalizando 11 bloques. Considerando que el agua de los ríos Palmas, Cañas y Charco se desborda con inundaciones pequeñas imposibilitando calcular el nivel de agua y el caudal en el cauce, estos fueron considerados no como bloques fluviales, sino fueron incluidos en los bloques de reservorio de retardación. Por lo tanto, el único bloque fluvial es el del Río Tempisque. A continuación se muestran la división del Area del Estudio.



A continuación se muestra el diagrama de modelo preparado con base en la división en bloques anteriormente mencionada.



Los aspectos básicos para la construcción del modelo y los datos utilizados en el cálculo por modelo son los siguientes.

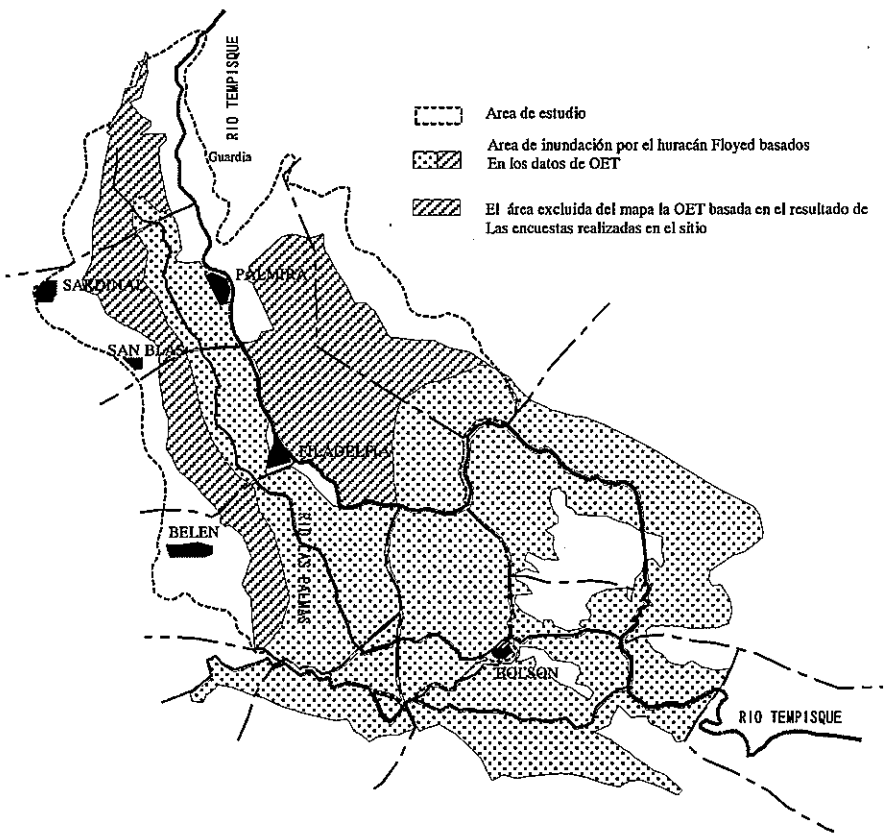
- Las estructuras de conexión de los boques de reservorio de retardación son, básicamente, los canales (en el caso que un puente estuviera funcionando como estructura de conexión, el agua discurre primero por la sección inferior del puente, y el excedente fluye por encima del camino). El flujo de los Bloques 901 y 1001 de reservorio de retardación entra hacia el bloque fluvial a través de las bombas, al igual que en la situación actual.
- El nivel de agua y el caudal en el Bloque Fluvial se determinan mediante el cálculo de escurrimiento no variable, determinando la capacidad máxima de flujo en cada sección del río. Cuando la sección aguas abajo no tiene suficiente capacidad para soportar el caudal proveniente desde arriba, el excedente se desborda del río hacia las áreas contiguas.
- Cuando la capacidad de flujo del Bloque Fluvial es suficiente, el excedente entra al bloque de reservorio de retardación contiguo a la sección fluvial correspondiente.
- Para la sección fluvial en el Bloque Fluvial se utilizan los datos del levantamiento realizado para el presente Estudio por IGN (los datos del levantamiento en los puntos No.3 y 2 no están disponibles, por lo que se determinaron del No.1 y del plano de diseño de los canales de SENARA). En la Figura H.2.3.1 se muestran las secciones del río utilizadas para este efecto.
- H-A-V de cada bloque de reservorio de retardación ha sido preparado con base en el mapa topográfico 1/10.000 confeccionado en este Estudio. Para las áreas no cubiertas por este mapa, se utilizaron los mapas de 1:50.000. En la Figura H.2.3.2 se muestra H-A-V utilizados para los efectos del cálculo.
- En cuanto al nivel de agua externa en el cálculo de inundaciones, cuando el nivel es alto, la capacidad de drenaje se reduce. Por lo tanto, de los datos de la marea registrados en Puntarenas, se aplicaron aBFitrariamente los datos del mes de agosto cuando la marea está alta. El nivel de agua Puntarenas y en la desembocadura del Río Tempisque, no presenta grandes diferencias al compararse con los resultados de monitoreo de nivel de agua realizado en Palo Verde, utilizando los equipos instalados por el presente Estudio, por lo que para este análisis se utilizaron los datos del nivel de la marea en Puntarenas. En la Figura H.2.3.3 se muestra el nivel de marea.

H.2.3.2 Verificación del Modelo

La verificación del modelo consiste en constatar la estructura de la conexión de los bloques (en el caso de un canal, el ancho y la pendiente). La verificación del modelo construido en este Estudio se realizó bajo las siguientes condiciones.

(1) Alcance de las inundaciones

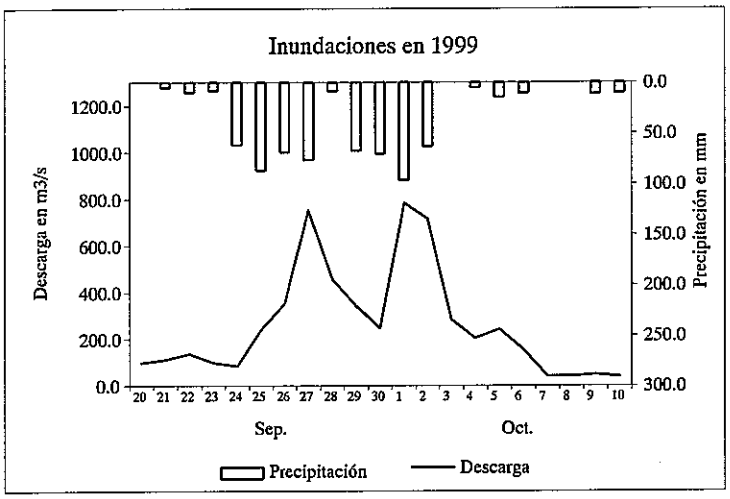
- Para el alcance de inundaciones provocadas por el Huracán Floyd en 1999, los materiales de restitución han sido proporcionados por la OET. Estos son los únicos materiales de restitución que esclarecen el alcance del estancamiento de agua producido por las inundaciones ocurridas en el Area del Estudio.
  Por otro lado, para realizar el análisis de estancamiento de agua, se recogieron informaciones de la comunidad local a modo de verificar el alcance del estancamiento indicado en los materiales de restitución, realizando la debida corrección posterior. Las principales correcciones fueron: no se produjo el estancamiento de agua en la carretera entre Filadelfia y Belén, desde el puente sobre el Río Palmas hacia el lado de Belén; en cuanto a la finca de CATSA, en la margen izquierda, el agua inundó varios centenares de hectáreas en la confluencia con el Río Liberia, mientras que en la cuenca media del mismo río no se produjo el estancamiento de agua.
- De las informaciones anteriores, el alcance del estancamiento de agua producido por el Huracán Floyd en 1999 fue definido de la siguiente manera.



(2) Informaciones hidrológicas

En la siguiente figura se muestran las condiciones hidrológicas del Huracán Floyd, con los datos de caudal tomados de La Guardia, y las precipitaciones de la H. Tempisque.

M	D	Q m^3/s	R mm	3-días mm
Sep.	20	97.8	0.0	
	21	112.0	5.0	
	22	137.0	10.0	
	23	99.0	8.2	
	24	84.3	62.0	
	25	242.0	86,8	
	26	356.0	68,8	232.0
	27	752.0	76,4	
	28	457.0	9.2	
	29	344.0	67,2	
	30	248.0	70,4	234.0
Oct.	1	786.0	96,4	
	2	716.0	63.2	
	3	286.0	0.0	
	4	205.0	5.0	
	5	244.0	14.7	
	6	155.0	10.8	
	7	41.7	0.0	
	8	40.9	0.0	
	9	50.0	11.4	
	10	39.4	10.4	



Los datos del caudal en La Guardia no incluyen el caudal pico, sino el caudal medio diario. Por otro lado, al observar las precipitaciones por los días 28 de septiembre, se tiene que el total máximo de las precipitaciones de tres días continuos en la Estación Tempisque fue de 232mm y 234mm que son valores cercanos a 238mm correspondientes a las precipitaciones de tres días continuas con un retorno de 10 años. Por lo tanto, para la verificación, se utilizó el caudal de inundaciones calculado suponiendo un caudal de inundaciones con retorno de 10 años (calculado con base en precipitaciones de tres días continuos con retorno de 10 años) que haya ocurrido continuamente con 3 días de retardación.

(3) Cálculo de verificación

El caudal de entrada Qi en cada punto del diagrama modelo en el cálculo de verificación es el caudal dado por la combinación del caudal de inundaciones con 10 años de retorno. Los parámetros del cálculo serán las estructuras de conexión entre los bloques de reservorio de retardación y de los ríos, mientras que como valores iniciales se aplican las estructuras de las infraestructuras actuales (ancho del río, etc.). En el cálculo, es requiere corregir las estructuras de conexión entre los bloques mencionados, de tal manera que coincidan la superficie de estancamiento de agua del Huracán Floyd y la superficie calculada de estancamiento de agua. El estándar de verificación mediante el cálculo y el plano del área inundada se define en 0,03 ó menos en suma de cuadrado de errores.

A continuación se presentan las estructuras de conexión entre los bloques definidas con base en el cálculo de prueba.

Caudal de Salida No.	Bloque Salida	Bloque Entrada	Estructura de Conexión	Pendiente	Ancho Base (m)	Coeficiente n	Pendiente muro
Qo11	BF	BRR101	Canal	1/240	1500	0,035	1:0,5
Qo12	BRR101	BRR201	Canal	1/700	17	0,035	1:0,5
Qo13	BRR101	BRR201	Canal	1/20	1000	0,03	1:0,5
Qo21	BF	BRR201	Canal	1/200	500	0,035	1:0,5
Qo22	BRR201	BRR301	Canal	1/2000	10	0,035	1:0,5
Qo23	BRR201	BRR301	Canal	1/67	200	0,035	1:0,5

contenuar

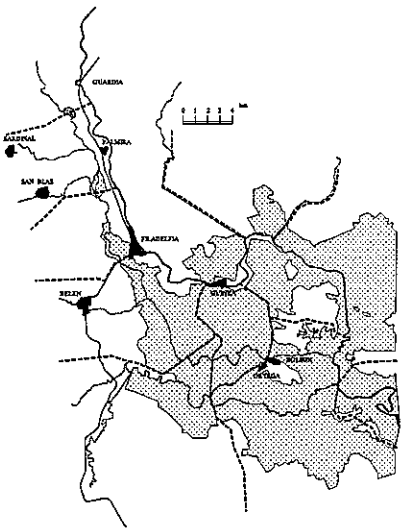
Caudal de Salida No.	Bloque		Estructura de Conexión	Pendiente	Ancho Base (m)	Coeficiente n	Pendiente muro
	Salida	Entrada					
Qo31	BF	BRR301	Canal	1/20	4000	0,035	1:0,5
Qo32	BRR301	BRR401	Canal	1/2000	18	0,03	1:0,5
Qo33	BRR301	BRR401	Canal	1/200	800	0,03	1:0,5
Qo41	BF	BRR401	Canal	1/100	1000	0,035	1:0,5
Qo42	BRR401	BRR601	Canal	1/500	500	0,035	1:0,5
Qo43	BRR401	BRR501	Canal	1/500	500	0,035	1:0,5
Qo51	BRR501	BRR801	Canal	1/500	100	0,035	1:0,5
Qo52	BRR501	BRR601	Canal	1/500	100	0,035	1:0,5
Qo61	BF	BRR601	Canal	1/100	5000	0,035	1:0,5
Qo62	BRR601	BRR801	Canal	1/500	100	0,035	1:0,5
Qo71	BF	BRR701	Canal	1/80	5000	0,035	1:0,5
Qo72	BF	BRR701	Canal	1/20	1000	0,035	1:0,5
Qo73	BRR701	BF	Canal	1/2000	30	0,035	1:1,0
Qo74	BRR701	BRR801	Canal	1/50	50	0,035	1:1,0
Qo81	BRR801	BF	Canal	1/4000	10	0,035	1:0,5
Qo91	BRR901	BF	Bomba	Qmax-40m3/s			
Qo101	BRR1001	BF	Bomba	Qmax=60m3/s			
Qo111	BRR1101	BF	Canal	1/2000	5	0,035	1:0,5
Qo112	BRR801	BRR1101	Canal	1/2000	50	0,035	1:0,5
Qo113	BRR1101	BF	Canal	1/500	10	0,035	1:0,5

BRR(Bloque de Reservorio de Retardación) BF(Bloque Fluvial)

Figula 2.3.4 muestra de los resultados del cálculo en cada bloque (BRR). En el siguiente Cuadro se muestra la comparación de los resultados de verificación con los datos de la superficie inundada por el Huracán Floyd.

Bloque de Res. de retard. (BRR) No.	Elevación mínima en BRR (m)	Calibración		Mapa de inundación (ha)
		N,A,Máx, (E,L, m)	Area máx, (ha)	
101	21,5	23,3	32	105
201	18,0	19,6	150	975
301	8,0	13,5	364	800
401	5,0	11,0	2833	3640
501	5,0	11,0	1731	2800
601	4,0	11,0	3115	3000
701	6,0	11,0	1449	2050
801	2,0	11,0	9873	7540
901	7,5	9,2	514	1189
1001	5,0	10,1	663	1216
1101	2,0	11,0	7293	5635
Total			28017	28680

A continuación se muestra el alcance del estancamiento de agua según los resultados del cálculo de verificación.



De los resultados del cálculo de verificación, se puede afirmar lo siguiente.

- Cuando las inundaciones superan los 400m^3/s aproximadamente, la sección del río no puede soportar el flujo y la mayoría del agua empieza a desbordarse en el punto No. 6 del Bloque Fluvial (Guinea), hacia la margen derecha del Tempisque (Bloque de Reservorio 601).

- A medida que se acerca el primer pico de las inundaciones (aproximadamente 70 horas después de iniciar el cálculo), el caudal de entrada al Bloque de Reservorio 801, ubicado aguas más abajo, llega a sumar aproximadamente 2000 m^3/s. Posteriormente, a medida que va subiendo el nivel de agua en este Bloque, empieza a faltar la capacidad de drenaje de los Bloques de Reservorios 601 y 501, contiguos, con lo que empieza a subir el nivel de agua interna. Después del pico, el nivel de agua de cada uno de los bloques de reservorio (401, 501, 601, 701, 801, 1001 y 1101) aumenta casi a la misma altura.

- En el segundo pico de las inundaciones (aproximadamente 160 horas después de iniciar el cálculo), el nivel de los bloques mencionados llega al máximo (aproximadamente 11,0m), y luego empieza a bajar.

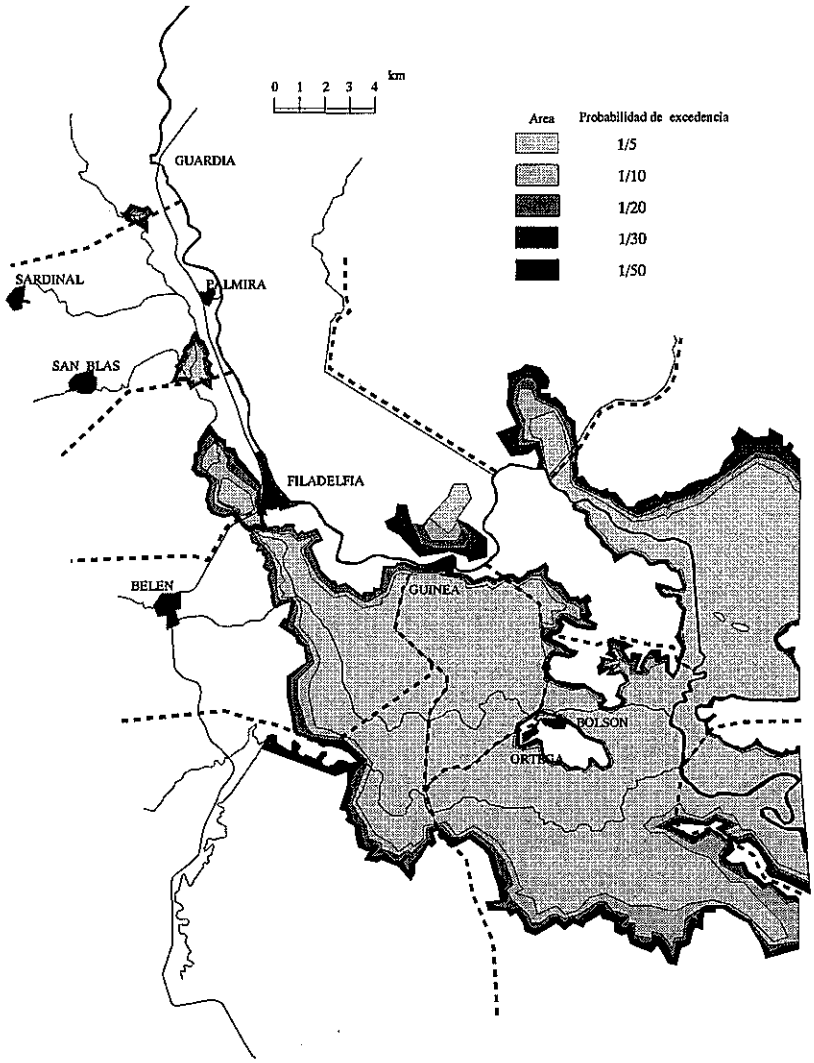
- La suma de cuadrado de errores entre el cálculo y el mapa de área inundada es de 0,010 lo cual satisface el estándar de verificación. Los resultados del cálculo, ha presentado un error importante en los Bloques de Reservorio 801 y 1101. Esto se debe a que el mapa base que se utilizó para el trazo de la curva H-A-V ha sido de escala 1:50.000.

H.2.3.3 Estancamiento de Agua por las Inundaciones en el Area del Estudio

En el siguiente Cuadro se muestran el nivel y las condiciones del estancamiento de agua en el Área del Estudio en las inundaciones con 5, 10, 20, 30 y 50 años de retorno al mantenerse las condiciones actuales de los ríos. Estos datos fueron calculados mediante el modelo construido.

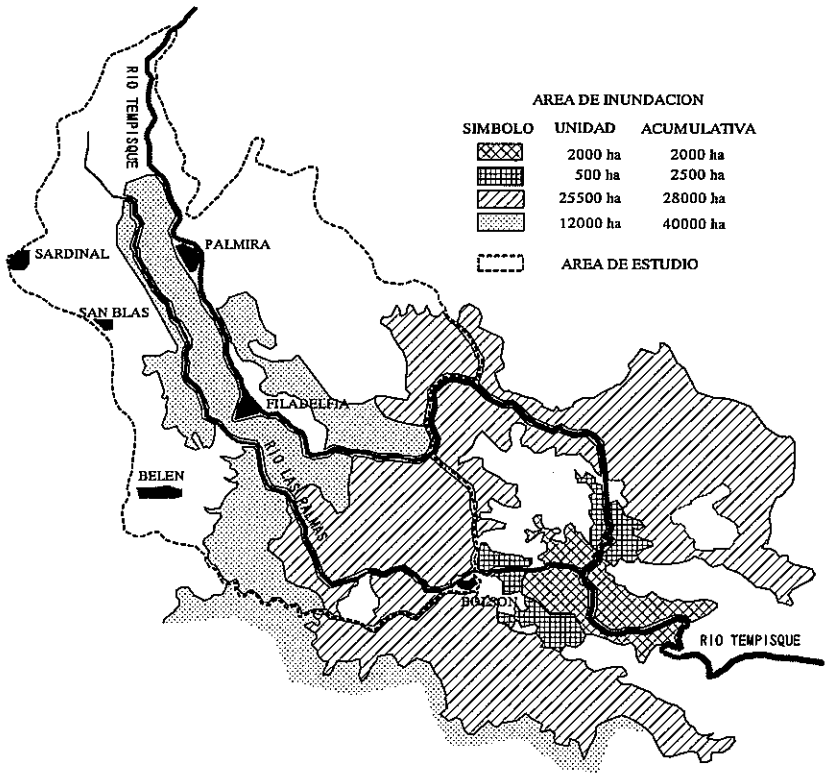
Bloques de Reservorios	Nivel mínimo de agua en BRR	1/50		1/30		1/20		1/10		1/5	
		N,A Máx,	Área máx,	N,A Máx,	Área máx,	N,A Máx,	Área máx.	N.A Máx.	Área máx.	N.A Máx.	Área máx.
(BRR) No.	(m)	(E,L,m)	(ha)	(E,L,m)	(ha)	(E,L,m)	(ha)	(E.L.m)	(ha)	(E.L.m)	(ha)
101	21,5	23,9	54	23,7	47	23,6	42	23,3	32	23,1	23
201	18,0	20,0	181	19,9	170	19,8	163	19,6	150	19,5	137
301	8,0	14,3	598	14,2	574	14,1	548	13,4	352	12,9	180
401	5,0	10,4	2615	10,2	2570	10,1	2529	9,8	2329	9,4	2106
501	5,0	10,4	1570	10,2	1537	10,1	1507	9,8	1363	9,4	1258
601	4,0	10,4	3092	10,2	3087	10,1	3083	9,8	3060	9,4	3034
701	6,0	10,3	1023	10,2	935	10,1	856	9,7	745	9,4	666
801	2,0	10,3	8953	10,2	8765	10,1	8592	9,7	8224	9,4	7899
901	7,5	9,7	665	9,4	560	9,1	480	8,6	339	8,2	206
1001	5,0	10,3	787	10,1	680	9,8	592	9,2	483	8,4	350
1101	2,0	10,3	6451	10,1	6283	10,0	6136	9,7	5887	9,3	5653
Total			25989		25208		24528		22964		21512

A continuación se muestra el mapa de superficie inundada según el Cuadro anterior.



H.2.4 Plan de Prevención de Inundaciones

Tal como se describió en el apartado de la situación actual del Area en Estudio, la mayoría de los daños de inundaciones estacionales es producida por el desbordamiento del agua del Río Tempisque por falta de capacidad de escurrimiento en el sector de La Guinea, la cual es drenado en dirección de los ríos Palmas y Bolsón, donde a su vez, presenta el desbordamiento por falta de capacidad en las localidades de Corralillo, Ortega y Bolsón. El área afectada constantemente por el estancamiento de agua representa aproximadamente 28.000ha (incluye las 3.000 ha aproximadamente del área influenciada por las mareas y unas 600ha del Parque Nacional Palo Verde), que son tierras con elevaciones menores a 10 m.s.n.m., tal como se puede observar en la siguiente figura. Sin embargo, la cuenca de los ríos Palmas - Bolsón que discurren dentro del Área en Estudio, sólo tiene una extensión de 300km^2 y dado que estos son los colectores de las aguas provenientes de las llanuras aluviales y lomas de la margen derecha del Río Tempisque, estos ríos son angostos, con capacidad insuficiente para poder recibir el agua desbordada del Tempisque. Esta situación hace que cuando lleguen inundaciones grandes, el agua del Río Tempisque se desborda también aguas arriba de Filadelfia, y los ríos Tempisque y Las Palmas forman una sola corriente.



Por lo tanto, el plan de prevención de inundaciones a ser propuesto dará mayor prioridad a la mitigación de los daños de las inundaciones en las áreas constantemente afectadas, y consistirá, básicamente, en tratar en el propio cauce de cada río las aguas de las inundaciones de hasta una determinada magnitud (volumen proyectado de las inundaciones). Adicionalmente, se propone diseñar un plan que garantice la seguridad de la vida humana, aún en las inundaciones que superen la magnitud proyectada. Los aspectos fundamentales del plan de prevención de las inundaciones son los siguientes:

- Mitigar el desbordamiento del agua de la margen izquierda de la cuenca media del Río Tempisque;
- Facilitar el escurrimiento de las aguas de los ríos Palmas - Bolsón;
- Proteger los poblados de Filadelfia, La Guinea y Corralillo donde ocurren los grandes daños del estancamiento del agua; y,
- Asegurar las vías de comunicación de Ortega y Bolsón que, si bien es cierto que los daños son menores por ubicarse a determinadas elevaciones, suelen quedarse aislados al inundarse los caminos.

H.2.5 Análisis de las Alternativas de Prevención de Inundaciones

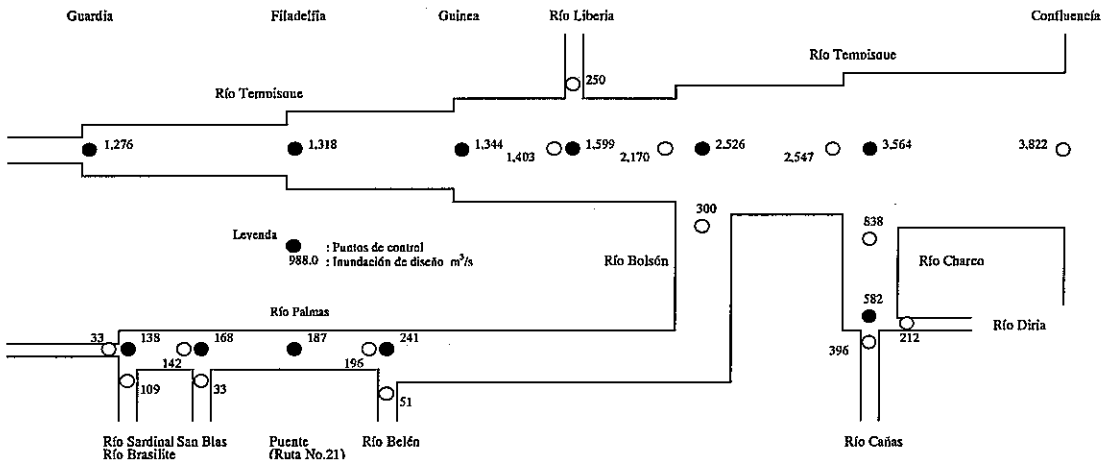
Tomando en cuenta los elementos y las áreas que deben protegerse contra las inundaciones, se conciben diferentes métodos del manejo viables en el marco del presente Plan. Estos son: mejoramiento del cauce, construcción de la presa de control hidrogeológico, diques perimetrales, y "válvula de escape". Para determinar la magnitud idónea de cada obra en el Area en Estudio, es necesario buscar la posibilidad de aprovechar la infraestructura de prevención de inundaciones existente, y basarse en la filosofía de convivir con las inundaciones, considerando los ríos como elementos naturales, y no tratar de encerrar las aguas en los cauces.

(1) Alternativa de mejoramiento de los cauces actuales

Para el componente mejoramiento de los cauces, el Plan contemplará manejar las

inundaciones de los ríos en el propio cauce de cada río, dejando como tal los cauces actuales influenciados por las mareas, conservándolos como zonas inundadas.
El tramo del Río Tempisque que se propone mejorar, abarcará desde Guardia (extremo aguas arriba de la llanura aluvial) hasta el Canal de SENARA, por un largo de 40km, y se excluirá el tramo aguas abajo del Canal de SENARA vinculado con el Parque Nacional Palo Verde. El tramo desde Guardia hasta Palmira tiene actualmente una sección de 1.700m^3/s aproximadamente que corresponde al caudal con probabilidad de excedencia de 20 años. Mientras tanto, el caudal de la misma probabilidad de excedencia en la confluencia de los ríos La Guinea y Liberia, donde la sección es la más reducida dentro del tramo estudiado, se calcula entre 1.800 y 2.300 m^3/s, lo que quiere decir que se requiere de 15 a 20 veces la sección actual. Considerando estas condiciones, en este tramo el caudal de proyecto se define en el caudal base de 10 años de probabilidad de excedencia. El mejoramiento de la sección consistirá, básicamente, en mantener la pendiente del cauce actual y utilizar la sección actual como canal de temporada, y en crear la zona de inundación construyendo el dique que cubra la sección faltante. El dique será construido en la margen derecha que es más bajo que la margen izquierda, por un tramo de 13km, excluyendo el tramo que ya cuenta con un dique existente (de 14km). En el río Las Palmas - Bolsón, por su parte, el cauce se hace más angosto en el tramo desde la confluencia con el Río Belén hasta la confluencia con el Río Tempisque, por lo que se contempla ampliar un tramo de 16,5km desde la confluencia con el Río Belén hasta Puerto Ballena (límite del área de influencia de las mareas) con el fin de mitigar el desbordamiento y estancamiento del agua en la cuenca media. Debido a que la mayor parte de las márgenes de los ríos está destinado a la agricultura extensiva, no se propone asegurar el cauce de las aguas mediante la construcción de los diques. Tampoco el Plan incluirá el "atajo" con el fin de proteger los bosques ribereños, determinando el volumen proyectado de inundaciones en cinco años de probabilidad de retorno.

En la siguiente figura se muestra el volumen proyectado de inundaciones para las obras de mejoramiento de los cauces. El caudal de los ríos Tempisque y Liberia se determina en 10 años de probabilidad de excendencia, mientras que en los demás ríos, en cinco años de probabilidad.



(2) Alternativa de construcción de presas

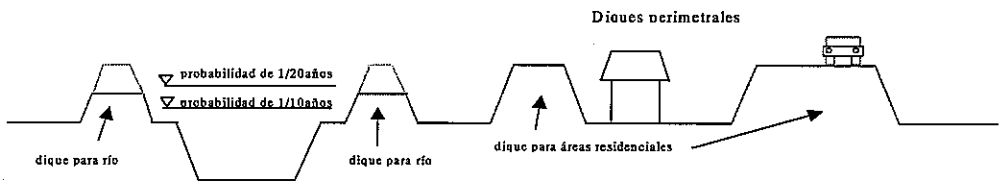
Para el plan de construcción de la presa en la cuenca del Río Tempisque, se vino analizando principalmente la posibilidad de ubicar la presa en las cercanías de La Cueva, para asegurar el agua de riego. Los efectos de regulación de las inundaciones que tendrá dicha presa, identificados utilizando los resultados del análisis, son los siguientes:

- La alternativa de regular las inundaciones sólo con la presa, no elimina el desbordamiento del río que se produce estacionalmente en La Guinea.
- En el caso de construir una presa y mejorar el cauce del río (aplicando una probabilidad de retorno de 10 años), como se describió anteriormente, el río podrá soportar las inundaciones con período de retorno de hasta 20 años, si la presa tuviese una capacidad de regulación de 70,5 MMC.
- Para soportar las inundaciones de hasta 50 años de probabilidad, la presa debe tener una capacidad reguladora de 129MMC.

Para la alternativa de construir una presa, se debe hacer una comparación de la dimensión de la presa y de la sección a ser mejorada del río. Tomando en cuenta el lapso de tiempo entre la terminación de la construcción hasta la puesta en marcha de la presa, se debe considerar el efecto regulador de las inundaciones de la presa como una medida de seguridad adicional en el Area en Estudio, lo que no debe reducir la magnitud de las obras de mejoramiento del cauce del río. Por otro lado, en el plan de construcción de la presa en La Cueva como una fuente de agua a utilizarse en el plan de riego, se debe atribuir a la misma la función reguladora de inundaciones durante la época de lluvias.

(3) Alternativa de construcción de diques perimetrales

La construcción de diques perimetrales que circundan los poblados para proteger la vida humana, viviendas y otros bienes es una modalidad utilizada tradicionalmente en las tierras bajas propensas a sufrir constantes daños de las inundaciones. Esta medida es adecuada para aplicarse en el Area en Estudio donde las comunidades son pequeñas y dispersas, a fin de proteger los poblados. El Plan contemplará construir los diques perimetrales en tres comunidades: Filadelfia, La Guinea y Corralillo. Al mismo tiempo, se propone elevar el terraplén de los principales caminos existentes para no aislar las comunidades durante las inundaciones. Las estructuras de los diques perimetrales y las obras de elevación de los caminos serán diseñadas para soportar la elevación del nivel de agua, con un caudal cuya probabilidad sea de 1/20 años para el Río Tempisque, protegiendo contra el desbordamiento. En la siguiente figura se esquematizan los diques perimetrales y el alcance de las obras:



Obras	Sitios	Longitud (km)	Observaciones
Diques perimetrales	Filadelfia	14	1 conducto de evacuación
	La Guinea	8	1 conducto de evacuación
	Corralillo	9	1 conducto de evacuación
Total		31	3 conductos de evacuación
Elevación de caminos	Filadelfia - Belén	6	Un puente
	Filadelfia - Corralillo	10	-
	Palo Blanco - Guinea	5	-
	Corralillo - El Viejo	4	Un puente
	Had El Viejo - Bolsón	3,5	Un puente
Total		28,5	Tres puentes

(4) Alternativa de construcción de reservorios de retardación de flujo

Al tomarse en cuenta los patrones actuales de uso del suelo, se considera adecuado no

proyectar la construcción de los diques en el área influenciada por las mareas de la cuenca baja del Río Tempisque, ni en la cuenca baja de los ríos Bolsón - Charco, sino tolerar el desbordamiento de agua en ambas riberas durante las inundaciones. Se efectuaron los estudios para minimizar los daños mediante la construcción de pequeños reservorios de retardación de flujo en el área, pero se encontró que no existen infraestructuras con suficiente eficacia, por lo que en el Area del Estudio no se propone construir tampoco este tipo de Reservorios.

(5) Alternativa de construcción de la "Válvula de Escape"

Esta alternativa consiste en derivar parte del agua o desviarla hacia otras áreas, a fin de reducir el volumen de agua que se debe manejar en el cauce principal del Río Tempisque. Se conciben tres posibles rutas para aliviar las inundaciones en las cercanías de Filadelfia. Estas rutas son las siguientes:

- Descarga de parte del agua de las inundaciones desde Monte Galán hacia el Golfo de Papagayo (Océano Pacífico) mediante un túnel.
- Descarga de parte del agua de las inundaciones desde Palmira hacia el Río Liberia (con el debido mejoramiento del cauce del Río Palmira) mediante canal
- Descarga de parte del agua de las inundaciones desde Guardia hacia el Río Palmas (con el debido mejoramiento del Río Las Palmas) mediante canal

La construcción de la "válvula de escape" implica alterar la cuenca, además que las estructuras deben consistir en túnel, canal enterrado o canal amplio, etc al considerar las elevaciones del cauce del Río Tempisque, lo cual implica la necesidad de conseguir un elevado monto de construcción para poder controlar las grandes inundaciones. Por lo tanto, se concluye que en este momento no es un plan realista al considerar sus costos y el grado de urgencia.

H.2.6 Plan de Prevención

La prevención de las inundaciones en el Área en Estudio deberá hacerse en forma gradual y progresiva de acuerdo a su grado de urgencia, efectos, inversiones y beneficios. Los resultados del cálculo preliminar muestran que el estancamiento en el Área del Estudio será considerablemente aliviado al implementar las obras de mejoramiento de cauce propuestas en el presente Proyecto. Las áreas que quedarán inundadas después de la ejecución de estas obras serán solamente las tierras agrícolas planas y bajas (predominantemente pastos) de menos de 6 m.s.n.m., que de por sí son zonas de mal drenaje. Por otro lado, algunos tramos de los caminos principales de la zona quedan intransitables por su elevación baja. Por lo tanto, después de haber analizado diferentes alternativas se ha decidido que el Plan de Prevención de Inundaciones que se propone aquí consistirá en el mejoramiento de cauce y en la elevación de la rasante de los caminos existentes con el fin de asegurar las vías de comunicación.

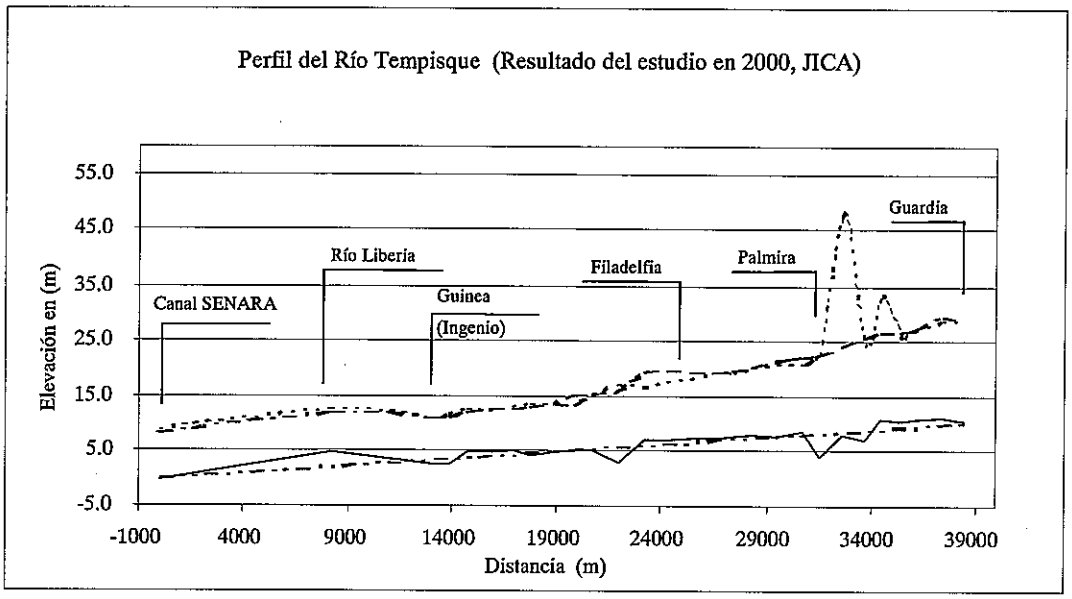
H.2.6.1 Proyecto de Mejoramiento del Cauce

El caudal de inundaciones de diseño en el proyecto de mejoramiento del cauce serán los siguientes: para los ríos Tempisque y Liberia se ha aplicado el caudal con probabilidad de excedencia de 10 años, y de 5 años para los demás ríos.

(1) Río Tempisque

El levantamiento del Río Tempisque, entre Guinea (Ingenio) hasta La Guardia fue realizado en la primera etapa del estudio en Costa Rica. Con base a los resultados del levantamiento complementario del río, realizado en la segunda etapa, se esclareció el

perfil del río entre el extremo inicial del Canal de SENARA hasta La Guardia, lo cual se ilustra en la siguiente figura.

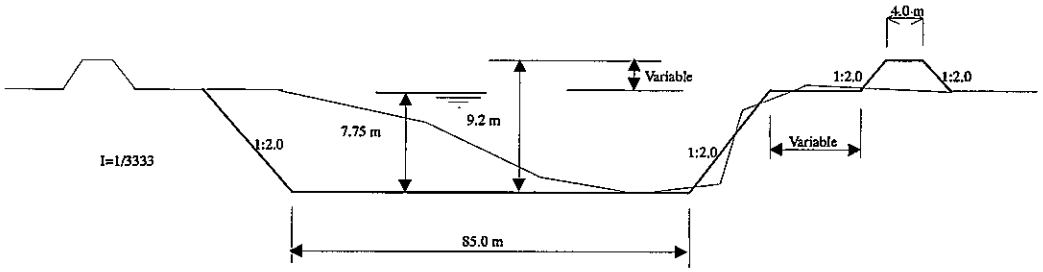


La curva aproximada basada en la altura actual del lecho del río es de y = 0,0003X+3,1498. Por lo tanto, la pendiente del lecho será de 1/3333.

El mejoramiento del cauce del Río Tempisque consistirá en dar al río, entre La Guardia y el extremo inicial del Canal de SENARA, una capacidad para drenar el caudal de inundaciones con 10 años de retorno. La capacidad máxima del río según el cálculo de flujo uniforme en cada punto, utilizando la pendiente de lecho indicado arriba y las secciones reales del río, es la que se muestra en el siguiente cuadro. "C.S.No." en este cuadro significa el número de sección del río; "R.L." de la elevación significa la altura del borde máximo; "R.B." es la altura del lecho, y "$Q_{1/10}$" es el caudal de inundaciones con retorno de 10 años.

Ubicación	C.S. No.	Elevación (m)			W.D. máx	Area de flujo	Velocidad	Qmáx	$Q_{1/10}$
		R	L	R.B.	(m)	(m^2)	(m/s)	(m3/s)	(m3/s)
Canal SENARA	37	8,30	9,53	-0,29	8,59	565	1,31	740	1599
Río Liberia	45	12,20	13,46	4,72	7,48	856	1,29	1059	1599
Guinea	51	11,26	11,73	2,77	8,49	389	1,00	388	1344
Filadelfia	61	19,71	17,86	6,98	10,88	957	1,76	1686	1318
Palmira	68	23,18	22,54	18,31	18,31	1535	1,86	2861	1276
La Guardia	75	28,31	28,71	17,79	17,79	1274	2,40	3178	1276

Entre La Guardia y Filadelfia, el río tiene una capacidad de drenaje para un caudal de inundaciones de 10 años de retorno. Sin embargo, esta capacidad se reduce en Filadelfia, después del tramo propuesto para instalar el dique. Aguas abajo de La Guinea (Ingenio) será excluido del presente proyecto, puesto que ya está incluido en el plan de mejoramiento del cauce de SENARA (para responder a las inundaciones hasta 10 años de retorno). En este Estudio, se define para el tramo entre Filadelfia hasta La Guinea (Ingenio), que tiene un largo de 9km, una sección para drenar el caudal de inundaciones con probabilidades de 10 años.



Los datos hidrológicos de la sección anteriormente indicada, serán los siguientes.

$$A=779\ m^2,\ V=1{,}725\ m/seg,\ R=6{,}51\ m,\ Q=1.344\ m^3/seg$$

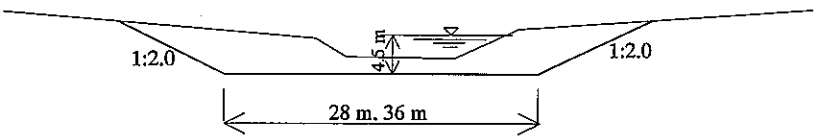
Se propone mantener el cauce de aguas baja hasta las orillas, y dejar el dique de la margen izquierda en estado actual. Si falta la altura de la margen derecha, incluyendo el bordo libre, se levantará el dique. El bordo libre del dique para inundaciones de 10 años de retorno se define entre 1,0 y 1,5m.

(2) Río Las Palmas

Con el fin de mitigar el desbordamiento y el estancamiento de agua en la cuenca medida del Río Las Palmas – Bolsón, se propone abrir la sección en un tramo de 16,5km entre la confluencia con el Río Belén hasta el Puerto Ballena (extremo superior del área de influencia de la marea). Debido a que la mayoría de las tierras contiguas al cauce actual son utilizadas para la ganadería extensiva, no se propone levantar los diques para mantener el curso del río. Asimismo, con el fin de proteger los bosques ribereños, no se hará el "shortcut" (corte) del curso, y para el caudal de inundaciones de diseño se aplica el valor correspondiente a probabilidades de excedencia de 5 años.

Con base al mapa de zonificación de la cuenca, el caudal de inundaciones de diseño del Río Palmas entre la confluencia con el Río Belén y la confluencia con el Estero Caballos se define en 241 m^3/s, y el del Río Las Palmas – Bolsón, entre la confluencia del Estero Caballos hasta el Puerto Ballena, en 300 m^3/s. La pendiente de cauce se define en 1/2000 con base en los resultados del levantamiento puntual realizado en el presente Estudio y el mapa topográfico de escala 1:10.000.

Del caudal de diseño y de la pendiente del lecho, se define la sección de diseño para este Proyecto, en los ríos Palmas y Bolsón, de la siguiente manera.



Cuando el caudal de inundaciones de diseño es de 241m^3/s, el ancho de fondo del cauce de aguas bajas será de 28m, mientras que cuando se 300m^3/s, el ancho será de 36m. En el siguiente cuadro se muestran los datos hidrológicos de cada sección.

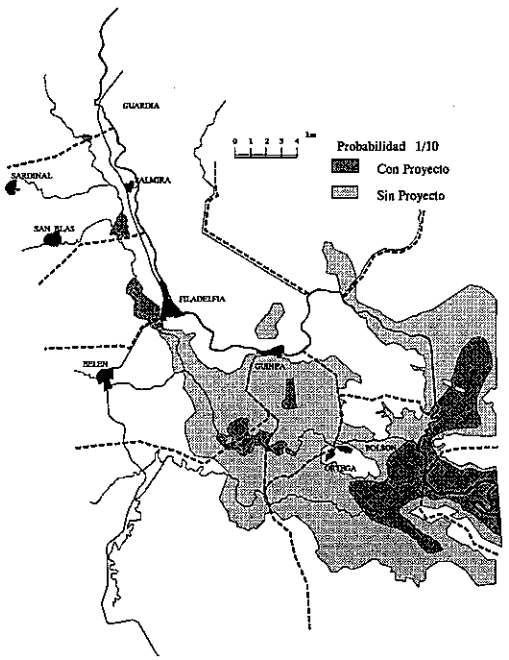
Descarga de diseño m^3/s	Ancho base m	Prof. de agua m	Area de flujo m^2	Velocidad m/s	Descarga calculada m^3/s
241	28	4,476	165,4	1,457	241
300	36	4,463	200,5	1,496	300

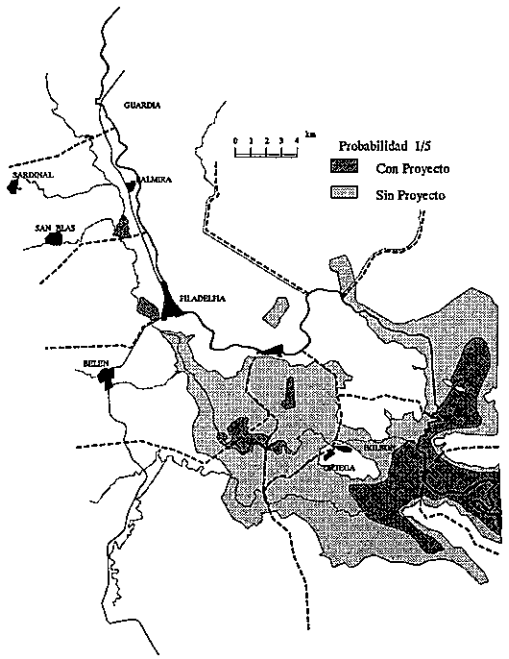
(3) Variación del área inundada después de mejorar el cauce

Aquí se calcula la variación del área inundada después mejorar el cauce de los ríos Tempisque y Las Palmas (incluyendo las obras que SENARA está realizando en el Río Tempisque después de La Guinea). El caudal de inundaciones probable será de 1/5 y de 1/10, y la sección fluvial en el modelo de análisis de inundaciones construido anteriormente, se definió en la sección de diseño arriba mencionada. Los resultados del cálculo son los siguientes.

Bloque Reserv. Retard.	Nivel mínimo de agua en RBB	1/10						1/5					
		Sin Proyecto		Con Proyecto		Diferencia		Sin Proyecto		Con Proyecto		Diferencia	
		N.A. Max.	Area Max.	N.A. Max.	Area Max.	N.A. Max.	Area Max.	N.A .Max.	Area Max.	N.A. Max.	Area Max.	N.A .Max.	Area Max.
(RBB) No.	(m)	E.L. m	ha	E.L. m	ha	E.L. m	ha	E.L. m	ha	E.L. m	ha	E.L. m	ha
101	21,5	23,3	32	23,3	32	0,0	0	23,1	23	23,1	23	0,0	0
201	18,0	19,6	150	19,6	150	0,0	0	19,5	137	19,5	137	0,0	0
301	8,0	13,4	352	13,4	352	0,0	0	12,9	180	12,9	180	0,0	0
401	5,0	9,8	2329	6,3	415	-3,5	-1914	9,4	2106	6,3	390	-3,1	-1716
501	5,0	9,8	1363	6,3	258	-3,5	-1105	9,4	1258	6,2	240	-3,2	-1018
601	4,0	9,8	3060	5,1	220	-4,7	-2840	9,4	3034	5,0	129	-4,4	-2905
701	6,0	9,7	745	6,4	53	-3,3	-692	9,4	666	6,3	45	-3,1	-621
801	2,0	9,7	8224	5,0	3894	-4,7	-4330	9,4	7899	5,0	3837	-4,4	-4062
901	7,5	8,6	339	8,6	336	0,0	-3	8,2	206	8,2	202	0,0	-4
1001	5,0	9,2	483	7,7	226	-1,5	-257	8,4	350	6,2	93	-2,2	-257
1101	2,0	9,7	5887	5,0	1793	-4,7	-4094	9,3	5653	4,9	1730	-4,4	-3923
Total			22964		7729		-15235		21512		7006		-14506

Con el Proyecto, el estancamiento de agua en el Area del Estudio se verá considerablemente aliviado. La mayor parte de las áreas inundadas después de la implementación del Proyecto, corresponde a la confluencia del Río Bolsón-Charco con el Río Tempisque y la margen opuesta de este punto, que son de por sí llanura de inundación por su topografía.





H.2.6.2 Proyecto de Elevación de Rasante de los Caminos Principales

Con el fin de prevenir que las comunidades se queden aisladas durante las inundaciones, se propone elevar la rasante de los caminos principales. La altura se define según el nivel de agua de las inundaciones con 1/20 años de retorno, según el cálculo de inundaciones. El alcance del proyecto será el siguiente.

Sitio	Largo (km)	Notas
Filadelfia-Belén	6	1 puente
Filadelfia-Corralillo	10	-
Palo Blanco-Guinea	5	.
Corralillo-El Viejo	4	1 puente
Had. El Viejo-Bolsón	3,5	1 puente
Total	28,5	3 puentes

De acuerdo con los resultados del análisis de inundaciones, la altura de la rasante de diseño se define en el nivel de agua estancada menos el bordo libre (entre 1,0-1,5m). Los resultados del cálculo son los siguientes.

Sitios	Largo (km)	N.A. en inundaciones (E.L. m)	Altura de diseño (E.L. m)
Filadelfia-Belén	6	14,1	15,1 - 15,6
Filadelfia-Corralillo	10	10,1	11,1 - 11,6
Palo Blanco-Guinea	5	10,1	11,1 - 11,6
Corralillo-El Viejo	4	10,1	11,1 - 11,6
Had El Viejo-Bolsón	3,5	10,1	11,1 - 11,6

H.2.6.3 Plan Regulador y Sistema de Alerta Temprana

(1) Plan regulador en relación con las inundaciones

Para los efectos del plan regulador Filadelfia se divide en cuatro zonas de riesgos en función de las inundaciones del Río Tempisque. Ellas se fraccionan de la manera siguiente:

Zona 1 zona de riesgo debido al desbordamiento del Tempisque
Zona 2 zona de riesgo debido al desbordamiento de Las Palmas
Zona 3 zona de alto riesgo en el caso de un rompimiento de una parte del dique
Zona 4 zona de medio riesgo en el caso de un rompimiento de una parte del dique

La Zona 3 es la franja de 15 metros desde el pie del dique donde se propone prohibir toda nueva construcción y trasladar las viviendas existentes. También se proponen trasladar las viviendas existentes en las Zonas 1 y 2 ubicadas a las inmediaciones del río. La Zona 4 corresponde a la franja de 50m de ancho desde el pie del dique, y aquí se recomienda evitar nuevas construcciones.

Las Zonas 3 y 4 según el Plan Regulador están sujetas a reglamentos establecidos para los efectos de la seguridad de los habitantes en el caso del rompimiento del dique. Sin embargo, para la definición de la distancia de las estructuras desde el pie del dique, deben analizarse los efectos que tales estructuras puedan tener sobre la estabilidad del dique, incluyendo la variación del equilibrio de la carga provocada por las excavaciones, la distribución de tuberías, estudio de la superficie húmeda del dique, etc. Por lo general, se traza una línea con pendiente de 1:2 desde el pie del dique, y se considera que las estructuras ubicadas más arriba de esa línea inclinada no afectan la estructura del dique. Desde este punto de vista, se considera que las prohibiciones y restricciones que se aplican en las Zonas 3 y 4 en el municipio de Filadelfia son totalmente adecuadas, y que el nuevo dique también deberá estar sujeto a tales regulaciones.

(2) Sistema de alerta temprana

El sistema actual de evacuación durante las inundaciones consiste en que los bomberos vigilan la subida del nivel de agua de los ríos y avisan a la población en caso de emergencia. Con el fin de agilizar el proceso de evacuación de manera segura, es necesario implementar un sistema de sirena que se activará automáticamente cuando el nivel del río alcanza una altura crítica. Normalmente un sistema de alerta temprana está constituido por una estación principal que controla y vigila y otras estaciones secundarias operadoras de sirena, o está constituido solamente por las estaciones de sirena. El primero puede transmitir los datos u órdenes de operación entre la estación principal y secundarias a través de la radio o líneas telefónicas comerciales. Mientras tanto, el segundo consiste en la operación independiente. En ambos casos, se requiere de una fuente de energía, aunque en el caso de las estaciones secundarias también pueden operar con energía fotovoltáica (aproximadamente 50W).

El limnígrafo instalado en Guinea en el presente Estudio, es del tipo que acumula los datos registrados en el registrador a través de señales eléctricas. Por lo tanto, puede ser conectado fácilmente a un sistema de sirena que se activa automáticamente cuando el equipo haya registrado una altura de agua crítica.

Por lo anterior, para agilizar y asegurar el proceso de evacuación de la población en caso de las inundaciones, se propone instalar el sistema de sirena conectado a los limnígrafos en los ríos cercanos a las principales comunidades incluyendo Filadelfia, Guinea, Corralillo, Bolsón, Ortega, etc.

Informaciones referenciales

Proyecto de construcción de los diques perimetrales

Los poblados que van a ser rodeados por los diques perimetrales son tres: Filadelfia, La Guinea y Corralillo. Los diques contiguos al río tendrán una altura para el nivel de agua alcanzado en el cauce del Río Tempisque con una tormenta de 1/20 años, y las estructuras serán dimensionadas para que sean seguras aún cuando el agua del río se desborde. Para el caso de Corralillo que está más alejado del río, la altura será para el nivel del agua estancada con una tormenta de 1/20 años, de acuerdo con los resultados del análisis de inundaciones de la zona.

(1) Altura de los diques perimetrales

La altura de la corona de los diques de Filadelfia y La Guinea, contiguos al río, será para el nivel de agua alcanzado en el cauce del río con una tormenta de 1/20 años. Para los efectos de dar mayor seguridad, el nivel de agua fue calculado tomando en cuenta la altura de la parte más alta de ambas márgenes actuales del río.

Ubicación	C.S. No.	Elevación (m)			W.D. máx	Area de flujo	Veloc.	Qmáx	$Q_{1/20}$
		R	L	R.B.	(m)	(m2)	(m/s)	(m3/s)	(m3/s)
Guinea	51	11,26	11,73	3,43	8,64	1052	1,71	1801	1801
Filadelfia	61	19,71	17,86	6,98	10,94	963	1,86	1786	1786

De acuerdo a estos resultados del cálculo, el nivel de inundaciones en La Guinea se define en 3,43 + 8,64 = E.L.12,07m, y en Filadelfia 6,98 + 10,94 = E.L.17,92 m. La altura de la corona de los diques propuestos se define agregando a estos valores el libre-bordo (entre 1,0m y 1.5m). Los resultados son los siguientes.

Guinea E.L.12,07m +1,0-1,5m = E.L.13,07 m-E.L.13,57 m
Filadelfia E.L.17,92m +1,0-1,5m = E.L.18,92 m-E.L.19,42 m

El nivel del suelo en Guinea a la fecha es de E.L.11,0m aproximadamente, y se propone construir levantar aproximadamente 2,0m. Los diques perimetrales contiguos al río, también servirán como diques del río y camino principal. La altura del dique existente en Filadelfia oscila entre E.L.20,0m y E.L.21,0m, y se propone utilizar el dique existente en el tramo donde ya se tiene instalado. La corona del dique contiguo al Río Palmas tendrán también triple funciones: dique fluvial, perimetral y camino principal. El nivel de inundaciones de diseño a la altura de Corralillo se definió en el nivel de estancamiento de agua con tormentas de 1/20 años del Bloque de Reservorio 601, según los cálculos, es decir, E.L.10,1m. Por lo tanto, la altura de la corona del dique será de E.L.10,10m +1,0-1,5m = E.L.11,10 m-E.L.11,6 m. Parte del dique perimetral de Corralillo también servirá de camino.

(2) Drenaje del interior de los diques

El agua del interior de los diques perimetrales será drenada mediante gravedad y por bombeo. El volumen máximo de drenaje para determinar la dimensión de las infraestructuras, se define en el caudal de inundaciones con probabilidades de 1/20 años en el Area del Estudio, según el cálculo de inundaciones. A continuación se indican el caudal específico máximo de las inundaciones probables según los cálculos.

Guinea 1,316 $m^3/s/km^2$
Filadelfia 1,927 $m^3/s/km^2$
Corralillo 1,740 $m^3/s/km^2$