

INUNDACIONES DE RIO SIXAOLA EN COSTA RICA Y PANAMA

CONTENIDO	PAGINA
CAPITULO	
1. Introducción	3
2. Descripción de los Ríos	7
3. Descripción del Río Sixaola	12
4. Causas de las inundaciones en las planicies	18
5. Posibles contramedidas en contra de las inundaciones	24
6. Estrategias desarrolladas para MAAS	30
7. Sugerencias para Río Sixaola	37
8. Soluciones viables para Río Sixaola	43
9. Conclusiones y Recomendaciones	54

Con 12 Figuras

INUNDACIONES DEL RIO SIXAOLA EN COSTA RICA Y PANAMA

1. Introducción:

A través del Programa de Consultoría del Reino de los Países Bajos (PCPB), la Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA), en Costa Rica, aplicó para un programa de Asistencia Técnica en relación a las frecuentes inundaciones en las planicies del Río Sixaola, el cual se forma en la parte Sur-Este de la Provincia de Limón frontera con Panamá.

En las planicies la mayoría de la población trabaja en diferentes tipos de sembradíos, de los cuales las plantaciones de banano a ambos lados son las más importantes.

Por la descripción del problema, es claro que la asistencia de un ingeniero con conocimiento y experiencia en este campo sería lo más recomendable.

De los candidatos recomendados, Romke van der Veen, ingeniero consultor en asuntos fluviales, suelos y dragados ha sido propuesto y fue aceptado por JAPDEVA. Ha dado su asistencia en representación del Programa de Consultoría de los Países Bajos dos veces en 1993 y 1994.

Arribó a Costa Rica el 29 de enero de 1995 y estará por un espacio de 10 semanas.

Este reporte contiene:

- Una descripción general de los ríos y las propiedades los cuales son importantes para resolver el problema.
- Descripción general de algunos datos acerca del Río Sixaola.
- Causas de las inundaciones en las planicies.
- En general, contramedidas en contra de las inundaciones.
- Estrategias descritos en el reporte Holandés "De Maas Meester", confeccionado después de la inundación del Río Maas en diciembre de 1993
- Sugerencias para mejoras del reporte del CNE acerca de las inundaciones del Río Sixaola, diciembre/1993.
- Opciones viables para resolver el problema por daños a causa de las inundaciones del Río Sixaola y,
- Conclusiones y recomendaciones.

El autor está muy agradecido por la asistencia recibida de parte del Ing. Alfredo Grant, Hidrólogo de JAPDEVA, el cual es el Director de la Comisión Regional de Emergencia en Limón, y del Ing. Julio Masis de la Comisión de San José, porque sin la ayuda de ellos no hubiera obtenido información acerca del Río Sixaola y sus problemas.

Datos acerca del Programa de Consultoría de los Países Bajos.

En 1978 dos organizaciones para empleados de los Países Bajos (NCW y VNO) iniciaron el Programa de Manejo de Consultoría para asistir a las industrias en países desarrollados con el fin de que los empleados pensionados, los cuales poseen mucha experiencia en su campo puedan dar asistencia a las compañías que se encuentran en necesidad de sus "conocimientos".

Cualquier compañía local que no sea subsidiaria de una compañía internacional tiene derecho a recibir ayuda del NMCP, el cual brinda asistencia a los sectores tanto privados como gubernamentales.

Las actividades de NMCP son ampliamente dirigidas a las pequeñas y medianas compañías que apenas puedan sufragar una consultoría comercial independiente.

Para estas empresas, un costo menor, un asesor del NMCP es una propuesta muy atractiva. De esta forma, el programa está ayudando a desarrollar los sectores privados en los países desarrollados, y desde 1990 en el centro y este de Europa.

Los consultores enviados por el NMCP trabajan de forma voluntaria y sin retribuciones económicas. Los costos de pasaje, seguro, y una módica suma para gastos del consultor son pagados por el NMCP. La compañía que requiere los servicios del consultor pagan los costos locales como hospedaje, transporte, costo de vida y facilidades de oficina.

Datos del autor:

Romke van der Veen nació en el norte de Holanda en 1929.

Estudió medicamentos técnicos en la Universidad Tecnológica del Delft y recibió el grado de Master en 1954.

Después de trabajar un tiempo en aviación, en 1959 se convirtió en Delegado Director del Servicio Técnico de la Autoridad Holandés Lighthouse .

Seis años después se unió al grupo Ballast Nedam, una de las compañías líderes en dragado, como Jefe del Laboratorio de Dragado.

En 1973 fue invitado como asesor de la Dirección General de Comunicaciones marítimas en Indonesia en materia Técnica para la seguridad en navegación.

En 1976 se repatrió, e inició su propia firma de consultoría, dando asesoría entre otros, la División de Dragado de Rijkswaterstaat y el Departamento Civil de los Puertos de Delfzijl y Eemshaven.

Luego sirvió como consultor independiente en varias misiones en el exterior para clientes en Suecia, Indonesia, Irán, Trinidad & Tobago, India, Japón y Arabia Saudita.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS RÍOS

Nuestro planeta físicamente consiste en la mayor parte de materiales sólidos (magma, rocas, suelos) otra parte de agua de la cual varias sustancias están en suspensión o solución y el restante de gases (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, bióxido de carbono, moléculas de agua ozono y otros gases todos, juntos llamados atmósfera).

Gracias a la gran cantidad de agua, la (hidrosfera) en los materiales sólidos y, (la litosfera) la vida es posible, y fue creado sobre la tierra, formando la biosfera.

Los ríos en el paisaje y las cadenas montañosas son uno de los fenómenos más visibles desde un aeroplano a una latitud alta.

Los ríos son el resultado de un movimiento cíclico de aguas sobre la tierra y es capaz de transformar la superficie del terreno por medio de la erosión y la sedimentación.

En la naturaleza el agua siempre está en movimiento, ya sea en estado líquido como húmedo.

La evaporación en los océanos se dirige en la atmósfera a latitudes altas a las nubes de aguas frescas (condensación).

A través de varios mecanismos, movimientos horizontales y verticales de la rotación de la tierra, radiaciones solares y diferencias en la temperatura, y variaciones en las altitudes de las masas de tierra, la condensación puede crecer considerablemente en alguna localización, formando gotas que caen a la tierra, haciendo de esta manera la superficie más húmeda o saturada con una gran cantidad de agua, trayendo con ellas siempre unas partículas de tierra y escombros.

Los ríos se inician en la parte alta de la montaña como pequeñas corrientes, cada una en su propio lecho no muy bien definido con pendiente y las velocidades más altas de agua; llegan cerca de otras corrientes se unen y crecen en dimensiones, con altas velocidades y caídas, irradiando partículas de la tierra que salen en medio de las rocas y los pedregones atacando parcialmente la parte química e hidráulica y ahondando más el lecho del río, el cual sigue de acuerdo a la ley de gravedad, el camino más recomendable de la región montañosa que va de un lado por el afloramiento de rocas, acercándose a la región baja al pie de las montañas, en donde el agua no solamente consiste de la precipitación de las montañas sino del superfluo de los suelos de los acuíferos

La característica del río cambia drásticamente cuando se acerca a parte baja de la región, en primera instancia, por lo bajo de la pendiente la velocidad de la corriente disminuye. La cantidad de agua fluvial por unidad de tiempo a través de una sección de cruce (descarga) permanece casi de igual manera, por lo que, el ancho y la profundidad del río aumenta firmemente, el material grueso no se moverá por la velocidad baja de la corriente y este material lentamente está llenando el lecho del río en la región baja.

Este proceso ocurre continuamente, en parte por la historia del río porque en principio de acuerdo a la tendencia general, las pendientes bajas y la disminución en la velocidad de la corriente, no permite el transporte de material grueso, aumentando de esta forma el ancho y la profundidad, pero al mismo tiempo disminuyendo la profundidad por la sedimentación de las partículas más gruesas el cual dá un estímulo extra al aumento de la anchura causando erosión en los bancos del río.

La colocación en donde el diámetro de algunas partículas llegan a descansar, están cambiando constantemente por la variedad en las descargas, pero en general, entre más cerca se está a la boca del río, más fino será el sedimento y el movimiento de las partículas, principalmente en la parte baja del río que fluye a través del material que ha estado allí toda la vida. Esta área siempre es muy fértil (arcilla - cieno) y la pendiente del río en esta planicie, el llamado área de inundación - es la más baja de todas.

Todavía se transporta material dependiendo de la descarga, y parte de ella tiene el lecho cargado de partículas gruesas, la otra parte tiene la carga suspendida - partículas que no tocan la profundidad pero por la turbulencia del agua, siempre está en movimiento con el agua, en particular en la capa sobre la profundidad, mientras que la partícula más fina como la arcilla y la marga (lutum) están mezcladas en el río de abajo hacia arriba (carga lavada).

De esta manera, el río trae material desde las pendientes de las montañas hacia las planicies y finalmente hacia el mar. Durante este proceso de transporte, las partículas han disminuido de su forma original. Cada río continuamente está moliendo grava y abrazando la rocas más duras.

Por la característica del área de inundación (fertilidad y pendiente baja) las personas lo consideran un lugar atractivo para vivir porque el transporte en el río es más fácil para los materiales de construcción y los productos de los sembrados, es más accesible en la mayoría de los casos. Por lo tanto, no es una sorpresa que a lo largo de las regiones bajas del río se encuentra concentrada la población con ciudades muy desarrolladas, a pesar de el tratamiento prolongado de los desbordamientos producto de las mas altas y extremas descargas del río.

En la planicie las inundaciones son consecuencia natural de las propiedades del río supracitadas y completa las funciones del río en el paisaje, esparciendo los finos materiales de la montaña sobre los terrenos humildes y aumentando la fertilidad del lugar.

Sin embargo, la humanidad ha experimentado problemas de inundaciones regulares: pérdida de propiedades, destrucción de tierras para la agricultura, daños en carreteras y caminos, y en casos extremos el peligro de ahogarse (personas y ganado).

No obstante, mientras pasa el tiempo, y no se hace nada al respecto, por varias razones el nivel de las aguas durante las inundaciones aumentan lentamente.

Primero: El nivel del suelo a cierta distancia del río está disminuyendo (posible consolidación de la tierra).

Segundo: Por el agrandamiento del lecho del río a raíz del transporte y sedimentación de partículas gruesas, además los movimientos tectónicos que influyen estos niveles de agua, los cuales pueden estar en sentido negativo, así como positivo y combinado con la inclinación de la superficie de la tierra, empujando el río en dirección levemente contraria; toma bastante tiempo antes de que el río encuentre su equilibrio.

Aparte de las características generales de los ríos mencionados anteriormente, cada río mostrará su propia característica dependiendo de la ruta por donde pasa el río, y la composición de la tierra, la edad e historia del río, el largo, el promedio de la pendiente, la ubicación del terreno, el tipo de vegetación y muy importante la precipitación en el área de captación, el cual se determina por la distancia más larga, la descarga del río y la variación día a día y de estación a estación. Por último se debe mencionar la cantidad de sedimentación transportada. Al parecer la mayoría de los ríos poseen sus propias características los cuales difieren el uno del otro.

3. DESCRIPCION DEL RIO SIXAOLA

El Río Sixaola se origina desde el Cerro Chirripó, el pico más alto 3820 M. de la cordillera montañosa (Cordillera de Talamanca) en el sur de Costa Rica y el norte de Panamá

La primera parte se denomina Río Telire, el cual fluye en dirección noreste de las pendientes en el Valle de Talamanca en donde se unen tres ríos al lado derecho del Río Telire, por ejemplo Río Cuen, Río Larí y Río Urén, respectivamente.

Entre Bratsi y Bribri, a una altura de aproximadamente 30 Mts. sobre el nivel del mar, un quinto río originario de Panamá llamado Río Yorkín, entra en la parte baja de esta unión llamándose Río Sixaola.

La parte baja del Río Yorkín y más adelante el Río Sixaola en la boca de la Costa Atlántica forma la línea fronteriza entre Costa Rica y Panamá.

El área total de captación es 2706 Km². La longitud máxima del río es de 146 Km., la circunferencia del área de captación es 276 Km. (Literatura 2 - Fig. 1).

El porcentaje mensual de descarga (en M³/S) del Río Sixaola, en Sixaola debajo del puente de acero se muestra en figura 2. El porcentaje de precipitación en el área de captación, medidas en dos estaciones, Amubri y Sixaola, es de aproximadamente 2700 M M/año (figura 3), aunque en Literatura 7 se menciona que el valor es de 4790 M M.

Esta última figura es de más estaciones por lo que es más confiable

El promedio anual de descarga (en M³/S) y la descarga momentánea total (en M³/S) de los años 1973 a 1994 se muestran en figura 4.

Desde el mapa topográfico en el área de captación el contorno longitudinal del lecho del río se puede esbozar como en la figura 5.

Son visibles tres pendientes diferentes.

1. La Pendiente Montañosa

El más empinado desde el origen del río hasta el primer afluente.

2. La Pendiente del Valle:

El menos abrupto en donde el pedrejón mas largo y las piedras vienen a descansar a ambos lados de Bratsi.

3. La Pendiente Areas de inundación:

El menos empinado antes de que el río llegue al mar.

Una característica especial de Río Sixaola es que la parte más baja de 65 kilómetros de longitud fluye entre una la faja de meandros casi paralela a la costa a una distancia de aproximadamente 8 kilómetros porque una cordillera montañosa está situada entre el río y la costa.

En las zonas de desbordamientos el río tiene un meandro muy activo, pero debajo del puente de hierro en Sixaola el río aparenta ser muy estable.

De la literatura 6, se encontró que el Río Telire muestra el contenido de un sedimento suspendido (medida en gram /litros/) comparado a Río Matina (formado por la suma del Río Chirripo y Río Barbilla (Figura 6) El Río Sixaola en el pueblecito de Sixaola manifiesta un contenido más alto, demostrando el hecho de que en el área de inundación al parecer una masa de partículas de tierra es añadido, atrayendo el transporte de sedimento cerca del Río San Carlos. En la Figura 7, el promedio mensual por tono sobre muchos años se señalan en donde el mes de diciembre dá la probabilidad más alta de descargas extremas y transporte de sedimento.

El Río Banano es un río con contenido bajo de sedimento, pero ahí la estación de medida tiene una elevación de 156 m sobre el nivel del mar, eso quiere decir que todavía está en el área de la pendiente montañosa.

El 22 de febrero, durante el viaje en bote desde Bri Bri hasta el puente, fueron estudiados los cambios de sedimentos en el lecho y al parecer de acuerdo a la tendencia de los ríos entre más cerca se está de la boca, los materiales en el lecho son más finos demostrando de esta forma que la pendiente está disminuyendo casi a zero en la boca. Un poco más abajo de Bri Bri el banco estaba formado de arena gruesa con muchos adoquines y las puntas de las barras estaban llenas de grava.

En varios puntos, la profundidad era solamente de 0.3 -0.6 m, causando aceleración en las corrientes locales. A veces el flujo iba a ambos lados en lo poco profundo en medio del río (trenzando)

gradualmente el tamaño de los granos de la grava en las barras disminuyeron y la profundidad del río aumento mientras navegamos.

En muchas partes a lo largo del río los bancos estaban bajos. (Ver fotografía Figura 8), porque el nivel estaba bajo, por lo que, es claro que las altas descargas en las zonas de inundación se vieran afectadas. Entre más alto el nivel del agua, más se inundará la planicie.

La parte del río localizada en el sector panameño al lado derecho de la ribera, mostraba groynes, construido con bolsas de arena o piedras entrelazadas con alambres de acero (maccaferri gabions).

Aparentemente estas estructuras en lugares aislados no pudieron evitar que el río erosionara la orilla porque en cierta área tres de estos "gabions" fueron vistos en medio del río con la corriente fluyendo entre las estructuras y la costa panameña. En otros lugares también funcionaban pero la pregunta es desde cuando?

Al mismo lado del río algunos diques fueron construídos, los cuales son visibles desde el río. A raíz de esto una segunda pregunta surge. Si en realidad los bancos se inundan y si la corriente toca los diques tan cerca del río podrán ellos resistir las fuertes erosiones del agua? En varios lugares del el río se observan árboles caídos y troncos de bambú, provocando la resistencia y flujo por estos sectores.

Del boletín Hidrológico del ICE (Lit. 2 y 12) se puede hacer una relación entre las escalas y las descargas de Bratsi y Sixaola (Fig. 9 y Fig. 10).

Si las escalas no han sido cambiadas durante los últimos 20 años, es claro que durante estos 20 años, en ambas localidades, por ejemplo Bratsi y Sixaola, el cruce del río cambia drásticamente y en una sola dirección. La poca profundidad o ampliación del banco del río por medio de la sedimentación, en cualquier caso la elevación de los niveles de agua a una descarga comparable hace las inundaciones más frecuentes y serias.

Desde un análisis de regresión con el dato de la figura 4, acerca de los porcentajes de descarga en Sixaola no se encuentra una tendencia de aumentar la descarga en los últimos 20 años, pero una pequeña disminución por la cantidad de años se puede sacar una conclusión. Si el análisis de retroceso es aplicable a los valores de escala de la descarga, entonces en ambas localidades hay una gran tendencia de elevación en las aguas (Fig. 11)

Para llegar a conclusiones confiables, más datos y figuras sobre un período más largo debería estar disponible y también acerca de la precipitación en el área de captación. (Lit. 7, 9 y 11), la historia de las inundaciones (hay historias acerca de las inundaciones extremas en 1935 y 1970, pero una lista confiable, con información acerca de dónde precisamente y a qué altura y por cuantas horas no se encuentra hasta el momento), también se necesita saber cuáles fueron los daños y las pérdidas, los cambios en el curso del río, cambios en la vegetación en el área de captación a largo del río. También es importante la información acerca del subsuelo debajo del río y los bancos.

4. CAUSAS DE LAS INUNDACIONES EN LA PLANICIE

Las inundaciones en la planicie son un fenómeno normal de cualquier río que se acerca al mar, en particular cuando se considera que durante la vida de un río mucha agua y sedimentos son transportados desde una área montañosa. Si la zona montañosa y el valle consisten de capas de materiales granulados sobre material rocoso, entonces el río transportará material sólido hacia la montaña y a raíz de la disminución de la pendiente, parte del material se establecerá y mostrará una elevación en el nivel del suelo al pie de la montaña.

Si aparte de la elevación de estas localidades el nivel es bajo, el agua irá allí y traerá nuevos sedimentos. Por la variedad de las descargas a veces una área más amplia se puede llenar con agua que fluye y en lugares más altos materiales finos se quedaran cuando el nivel de agua baja al promedio del agua.

En la vida de un río estos cambios en niveles ocurren tan frecuentemente que si en cada inundación solo una capa de 1 mm. se esparciera sobre el área inundada entonces en 1000 años el aumento en el nivel del suelo sería de 1 Mt. si hay una inundación por año. En este aspecto las planicies inundadas se forman, teniendo el porcentaje del nivel del suelo más alto al promedio del nivel de agua pero siempre hay una oportunidad que una descarga alta traiga el nivel del agua sobre el nivel del suelo de la planicie.

El que las personas utilicen las planicies que se inundan es un problema en el que se debe medir los riesgos. La atracción de obtener más beneficios era más fuerte que el miedo de perder, por lo tanto en general las áreas de inundación mas cerca del río son explotados.

De la Literatura 1 hay un pasaje interesante acerca de las experiencias en Holanda, el cual se citará:

"Hemos hecho el aro dorado (Ese es el dique protector, VDU) no solamente a lo largo de la costa sino también a lo largo de las bancas de Rhine y Maas y sus influencias. Al parecer los dos ríos se han sometido al impedimento de nuestros diques, y han iniciado una ofensiva lenta pero a grandes pasos naturales, y pacientemente se han elevado sobre la tierra. Las arenas fluviales traídas del interior, han elevado poco a poco la profundidad del río ahora que se encuentran los diques por lo que esas arenas ya no podrán esparcirse por el país.

Los ríos se obstruyeron con su propia arena, la navegación tediosa y todos los inviernos ocurre represión de hielo.

Durante la construcción de los diques, iniciamos una competencia entre el hombre y la naturaleza

El hombre ha elevado los diques y la naturaleza el fondo de los ríos. Nuevamente el hombre ha elevado el dique y así sucesivamente.

Pero en el transcurso de varios siglos, el hombre ha llegado a su límite, mientras que la naturaleza continuará trayendo arena del interior.

Por lo tanto, cuando el hielo obstruye los ríos, en este caso era un problema de todos los inviernos, los diques se quebraban. cuando se represaba el hielo y las aguas peligrosamente se elevaban, las campanas desesperadamente aviban a todos los del pueblo que recogieran sus pertenencias y el ganado y se refugiaron en el dique que es el único lugar más alto del país. En tiempos de peligro toda la población permanecía en los diques. Los hombres y mujeres los elevaban con sacos de arena, con palos de madera y tablas o con césped.

Cuando la presión del agua presiona por debajo, cabezas de pozos aparecían detrás de los diques o el agua corría por encima cuando encontraba un lugar bajo, creando al instante un riachuelo.

Los hombres corrían a cierto lugar para salvarse pero frecuentemente los diques se quebraban y entonces las aguas retumbaban una vez más por las brechas.

¿Cómo se podría resolver este problema? Algunos dijeron: Hay que hacer los diques más fuertes y altos. Otros dijeron que no hay que pelear contra la naturaleza, hay que demoler los diques. (Los últimos prefieren las inundaciones naturales a las catastróficas).

Una tercera categoría sugiere el abandono de las áreas menos importantes de inundaciones, y salvar las mejores áreas.

Este problema es frecuente en todos los terrenos aledaños a las bocas de grandes ríos que llevan materiales arenosos.

La última sugerencia de hacer derramaderos fue considerado la mejor opción.

Pero qué de los habitantes de la región que eran abandonados a las inundaciones? Si nuestros vecinos del lado opuesto de la costa hubieran tenido un dique más débil y bajo que el de nosotros, entonces las inundaciones serían para ellos y no para nosotros. Esto ha sido una competencia de quien tiene el dique más alto el cual ha conducido a diques muy altos en ambos lados.

Pero ahora quién debe ordenar cual dique debería ser más bajo? Debería ser mi terreno afectado antes que el del vecino, el salvarse y yo ahogarme? Para tomar una decisión al respecto no es un trabajo fácil para ningún gobierno. Los derramaderos se hacían por donde los ríos permanecían más frescos en hielo pero no a causa de la arena.

Las arenas fluviales permanecían dentro del dique, pues los ríos no podían llevar esta arena al mar o por las travesías o el hacer aliviaderos en una área bien poblada y fértil era una solución muy pobre, pero la causa de todo el problema, era la arena que se reunía en el interior y no se removía hasta ser llevado al mar. Por lo que esto era algo que no podíamos permitir que hicieran los ríos. Aún en 1850 no hemos resuelto este problema tan difícil

La navegación a través del Rhine tuvo muchas dificultades a causa de la arena. Después de la locura napolitana, cuando el Rey William de Orange quiso inspeccionar este importante río, su yate de

solamente 3 pies encalló. Por lo que consideramos que era una vergüenza que nuestro río estuviese en tan malas condiciones pero no podíamos hacer nada al respecto hasta que en 1860 la draga de vapor traía la solución. Toda la arena que venía del interior tenía que ser dragado.

Esta es la conclusión del Dr. J. Van Veen (1892 - 1959) el padre del plan Delta. Cuál plan podría iniciarse pronto después de la desastrosa inundación del Mar Norte en el sur - este de Holanda, el 10. de febrero, 1953, gracias a los trabajos preliminares (expresados por él) antes de las inundaciones.

Algunas de las observaciones no son aplicables a Costa Rica, por ejemplo la presencia del hielo en los ríos. Sin embargo, la elevación del lecho del río sobre los terrenos aledaños, el cual no es solamente por la construcción de los diques al lado de los ríos, es posible en el caso de Aguas Zarcas (Río Banano).

La causas de las inundaciones en las planicies son múltiples pero están son las más importantes.

1. La característica irregular de la precipitación dando la variación de descargas y niveles de agua en el río.
2. El flujo rápido de las aguas de las montañas a las áreas de inundación, que las salidas hacia la boca del río a causa de las pendientes más empinadas aguas arriba del río, comparadas a las cuestas en las planicies de inundación (y también hay un intervalo entre la afluencia del agua y la pendiente elevada del área de inundación el cual es necesario para aumentar la salida en la boca).
3. La capacidad limitada (contenidos) entre los bancos del río en las planicies de inundación para contener temporalmente el excedente de agua.
4. La elevación lenta del lecho del río por la progresiva sedimentación.

Otras causas experimentadas en Holanda, por la represión de hielo en los ríos durante el invierno y tormentas del oeste sobre el mar del norte, aumentando el nivel del mar y las aguas en la boca de río ocasionalmente por varios metros, son cosas poco probables en Costa Rica.

5. Posibles contramedidas en contra de las inundaciones

En el pasaje de la Literatura 1, que está entre comillas, algunas contramedidas han sido mencionadas respectivamente.

Primero la construcción de un dique para prevenir la inundación de extensas áreas.

Segundo, la aplicación de derramaderos y

Tercero, el dragado de arena de el lecho del río para ahondar los ríos y disminuir el nivel de inundación.

Una cuarta contramedida mencionada en el mismo libro (no aparece entre comillas) es el corte de meandros para enderezar el río con el fin de aumentar la pendiente en las áreas de inundación y a través de esto la salida del agua en la boca.

Estas contramedidas son las más importantes que se han aplicado en los Países Bajos.

La razón por el límite de contramedidas en este país es el hecho de que los Países Bajos son el área de inundaciones de los ríos Scheldt, Maas, Rhine (con sus ramificaciones Waal y Ijssel), Vecht y Ems, ríos que se originan en Francia, Suiza y Alemania. Las contramedidas aguas arriba para disminuir las inundaciones no se pueden hacer en los Países Bajos sin ayuda bilateral o internacional.

Sin embargo, en Costa Rica la mayoría de los ríos son originarios en bocas dentro del territorio del país. Por lo que las contramedidas en las partes aguas arriba pueden ser consideradas y varios de ellos son posibles para mejorar la situación.

Se debe imaginar que la cuenca completa de un río (el área de captación y el mismo río) es una gran nave abierta en donde la precipitación es la afluencia y la descarga en la boca es la salida, ya que una parte de la precipitación es consumida por la flora y fauna o en la cuenca en donde una parte se evapora y la otra está penetrando el subsuelo. Lo importante del comportamiento son las dimensiones de la nave, porque una gran porción de la precipitación puede ser almacenada en la nave sin causar una inundación.

Si la precipitación de la afluencia es temporalmente muy larga en cantidad por unidad de tiempo ($L_1 M^3/S$) puede suceder que el desagüe "presión" y la "salida" "apertura" no sean suficientemente extensos para alcanzar la misma cantidad por unidad de tiempo ($L_2 M^3/S$) como lo es la afluencia.

La diferencia entre afluencia L_1 y salida L_2 , la integración de $(L_1 - L_2) T$, en adelante T es el tiempo, tiene que ser almacenado en la cuenca del río (la "nave" abierta) del volumen V (en M^3).

Si el resultado de esta integración es temporalmente más largo que lo que V puede contener, puede continuar una inundación.

Con este simple cálculo matemático en mente uno puede hacer consideraciones como contramedidas en contra de inundaciones en principio.

- A. Influencia (ejemplo. Reducir) la cantidad de afluencia por unidad de tiempo.
- B. Influencia (ejemplo: extender) las dimensiones de la "nave" y;
- c. Influencia (ejemplo: aumentar) la cantidad de salida por unidad de tiempo.

Influencia en la afluencia:

Como es claro, influir en la cantidad de precipitación está lejos del ámbito de este reporte.

La afluencia de la corriente de agua en las áreas de inundación en principio puede ser influenciado por varias medidas y la primera de éstas se describe en literatura 10, en donde es tratado el "coeficiente de escorrentia" en el cual un caso muy interesante es mencionado acerca de un proyecto de reforestación en los Estados Unidos. La menor cantidad de superfluo de agua baja durante un periodo largo de tiempo, empañando el pico de la precipitación.

Lo mismo se puede alcanzar con la construcción de una presa, que retiene una gran cantidad de agua por algún tiempo en las partes, aguas arriba del río o en sus afluentes.

La represa que se forma de estas presas en principio siempre están vacías, pero se llenarían tan pronto se extiende la afluencia dentro de las planicies de inundación.

Otra medida influyente para disminuir la afluencia dentro de la área afectada puede ser la desviación de algunas partes del agua a otra área de captación, un lago, el mar u otro lugar abierto en dirección a un derramadero.

B. Influencia en la dimensiones

Entre más grande sea la diferencia de los niveles bajos de agua en las áreas de inundación y los niveles altos, antes de que se inicien las inundaciones y entre más ancho y largo sea el lecho del río, más agua se puede almacenar.

En principio es recomendable traer todos los materiales de la punta de las barras visibles en el río cuando el agua esta bajo y situadas en las regiones donde ocurren las inundaciones a las orillas del río sobre el nivel más alto del agua cada M 3 el cual es manejado en este aspecto como el aumento de las dimensiones de la "nave" con un M 3, contribuyendo a la dimensión del nivel del agua en los picos de descarga. Al mismo tiempo esta medida aumenta la afluencia por medio del río a una descarga alta y aumenta la salida.

La eliminación de las barras deben ser bien planeadas y coordinadas de manera tal que en otros lugares no ocurran inundaciones ni estimular la erosión en los bancos.

La construcción de diques a lo largo del río es el aumento de una "nave" abierta, pero al mismo tiempo la restricción de una área limitada y por consiguiente la reducción en la superficie de la "nave". Esto explica porque en principio los diques tienen que ser más altos que el nivel más alto de agua en las llanuras de inundaciones sin diques. Para prevenir la descollación del dique la parte superior tiene que estar a un nivel sobre el nivel más alto del que se espera en el futuro. En la práctica la base de esta altura con la probabilidad del excedente en determinada descarga (Lit. 8) el cual en los Países Bajos la descarga por escoger tiene una posibilidad de ocurrir una vez 1.250 por año o 1 / 1.250 al año.

C. Influencia en el desagüe

La velocidad de la corriente de desagüe en la boca del río está determinada por la fórmula de dotación:

$$V = \frac{1}{N} R^{2/3} S^{1/2}$$

en donde N es el coeficiente más grueso del río, R la radio hidráulica de la sección de cruce del canal, casi igual a la profundidad D (en M) en la boca y S la última parte de la pendiente del río. La totalidad de la salida (en M³/S) sería:

$$L_2 = V \cdot W \cdot D$$

Normalmente hay un estado de equilibrio en las dimensiones (ancho A y hondo H) en la boca porque fuera (del mar) entran sedimentos si la profundidad es muy grande y si la profundidad es muy pequeña la salida del río erosionará los sedimentos de la boca.

Por lo tanto la única medida cerca de la boca para aumentar la salida y reducir el nivel del agua tierras adentro es el aumento en la pendiente del río. (Si la profundidad en la boca es muy pequeña sobre una extensa cantidad de tierra adentro, entonces se debe considerar el dragado del río tierra adentro cerca de la boca). El aumento de la pendiente es posible si se endereza el río y se corta los meandros pero esto es una operación muy delicada que se debe realizar con mucho cuidado.

6. ESTRATEGIAS DESARROLLADAS DESPUÉS DE LAS INUNDACIONES DEL RIO MAAS

Después de un período de casi 70 años sin inundaciones la provincia de Limburg, localizado en la parte sur de Holanda, se confrontó con un nivel alto de aguas en el MAAS después de varios días de fuertes lluvias en el área de captación cerca de la Navidad en 1993. Cerca de 8000 personas tuvieron que ser evacuadas y los daños superaron los 254 millones de florines holandeses (cerca de 25 billones de colones). La descarga del río subió a 3120 M³/S, con una probabilidad de 1 en 155 años.-

El Ministro de Obras Públicas y Transportes de los Países Bajos instaló la Comisión de Inundaciones del MAAS en febrero de 1994 y esta Comisión dió orden para un proyecto de investigación y ser ejecutado por el Hidráulicos Delft el cual es el instituto que se encarga en Holanda de investigar todos los aspectos de estructuras relacionadas al agua. Otros institutos, firmas consultoras y especialistas del gobierno y universidades cooperaron en el estudio, en total cerca de 80 hombres y mujeres con sus herramientas.

En un año, los resultados del estudio fueron presentados en un paquete de 14 reportes, todos con el mismo propósito, y resumidos en un solo reporte (Lit. 14).

El MAAS es un río con una longitud de cerca de 7600 Km. alimentado básicamente por la lluvia, originario en Francia y fluye a través de una región montañosa en Bélgica en donde muchos tributarios se unen con el MAAS. El río entra a los Países Bajos en el extremo Sur-Este y en este país tiene una longitud cercana a los 300 kilómetros hacia el mar. La primera parte de los 65 kilómetros forma parte de la línea fronteriza entre Bélgica y Holanda

El nivel del banco en la entrada de Holanda es aproximadamente 41 metros sobre el nivel del mar y la cuesta es comparable a la pendiente del poblado de Río Sixaola cerca de Bri Bri. La primera parte el banco consiste de barras de grava como el que está cerca de Bri Bri. La descarga está en el mismo orden como la descarga del Río Sixaola.

En la Provincia de Limburg no hay diques construidos a lo largo del río porque el río fluye a través de un lecho más profundo y ancho en los alrededores del paisaje y varios ríos (pequeños) se unen al MAAS. Luego de abandonar la provincia la verdadera área de inundación se inicia en donde los diques están protegiendo los alrededores del río y durante el paso de las mismas inundaciones no surgen serios problemas.

El MAAS originalmente era un meandro caudaloso causando inundaciones en muchas oportunidades pero en el transcurso de la década de los 19 y 20 hubo un desarrollo con el corte de meandros, canalización y construcción de presas en algunas extensiones para la estabilización del nivel del agua (para la navegación y control de aguas de la profundidad)

Más adelante, el subsuelo en la provincia de Limburg parecía contener grandes cantidades de grava y arena, el cual es explotado para la industria en construcción, disminuyendo el nivel en el lecho y en consecuencia el nivel del agua, durante los últimos 60 años.

Para desarrollar estrategias que disminuyan el riesgo de los daños causados por las inundaciones a lo largo del MAAS en Limburg después de las inundaciones de 1993 todas las contramedidas posibles fueron sumadas y evaluadas para la aplicabilidad. Enderezando el río, por ejemplo, en general es una contramedida importante, ahora no es aplicable al MAAS porque ya se había utilizado anteriormente.

Las medidas seleccionadas más importantes fueron:

- Construcción de diques alrededor de grupos de casas humildes y áreas industriales.
- Hacer la infraestructura más resistente a las inundaciones (gas, agua y abastecimiento eléctrico), otras estructuras a un nivel de elevación más alto.
- Cambio de carreteras de manera que las mismas puedan ser utilizadas durante las inundaciones.

- Ampliar el lecho del río.
- Disminuir el nivel del lecho.
- Administración de presas en Francia y Bélgica.
- Renovación de obstrucciones locales, cerca de puentes, por ejemplo.

Las estrategias desarrolladas solamente harían uso de medidas selectas.

Después de la selección varios criterios fueron aplicados a las medidas como:

- ¿Cuál sería el efecto para la reducción de daños?
- ¿Cuáles serían los costos para las medidas?
- ¿Habrían beneficios, como por ejemplo, materias primas como la arena y grava o el mejoramiento del medio ambiente?
- ¿Lo aceptará la comunidad? y;
- ¿En cuánto tiempo podrá ser ejecutado?

De esta lista las siguientes estrategias para reducir los daños de las inundaciones causados por el MAAS en la Provincia de Limburg fueron exaltadas y evaluadas para la toma de decisiones.

1. Disminución del lecho del río sobre la altitud total con una localización crítica de un dique alrededor de un área baja.
2. Soluciones integradas:
 - 2.a En la parte Sur aumentar el lecho del río, en la parte central disminuir el lecho y en la parte Norte disminuir y aumentar el lecho del río con unos diques.
 - 2.b En la parte Sur aumentar el lecho del río, en el medio y en la parte Norte disminuir el lecho del río con unos diques.
 - 2.c En la parte Sur aumentar el lecho del río y en el medio y la parte Norte poner diques alrededor de las áreas más bajas.
3. Diques solamente alrededor de las partes del río que sean necesarias.

De las estrategias 1 y 2 resultaría la disminución del nivel de agua, pero en la estrategia 3 el nivel del agua sería casi igual que al inicio porque no se puede hacer nada por sí mismo en el río.

Interesante es el resultado total de los costos estimados.

Estrategia 1. - f 163 millones

Estrategia 2.a + f 26 millones

Estrategia 2 b - f 305 millones

Estrategia 2.c + f 146 millones

Estrategia 3 + f 248 millones

Las figuras negativas significan que la cantidad de arena y grava y la reducción en daños de estas estrategias tienen una estimación tan alta que la ejecución de la misma puede generar dinero.

Se espera que todas las estrategias produzcan en un periodo de 10 años una reducción en daños de un 60%. Es obvio que la estrategia 2b será escogido para la implementación.

Como se ha mencionado, el trabajo de investigación "MAAS" ha sido ejecutado por "Hidráulicos DELFT" o sea el Instituto que desarrollo en conjunto con el Instituto de Administración de Aguas tierras adentro y tratamiento en el desgaste de agua del Ministerio de Obras Públicas de Holanda, un programa llamado SOBEK, diseñado para personas encargadas del manejo y diseño de trabajos en ríos, canales, sistemas de irrigación y lagos, es decir todos los sistemas abiertos de canales.

La aplicación del programa y recomendaciones de un Instituto como DELFT será necesario para un diseño detallado de trabajos en Río Sixaola.

La función de este reporte es en primera instancia presentar un enfoque general de todas las posibilidades y dar un croquis de soluciones viables.

7. SUGERENCIAS PARA MEJORAR DESPUES DE LAS INUNDACIONES EN RIO SIXAOLA

En el mes de diciembre de 1993 cuando el MAAS estaba inundando una parte de la Provincia de Limburg en Holanda (8% 18.000 Ha.), el río Sixaola estaba haciendo lo mismo en la parte Sur de la Provincia de Limón.

Ambos ríos crecieron a causa de las abundantes lluvias en el área de captación: para los alrededores de la región del río Sixaola se declaró el Estado de Emergencia.

La Comisión Nacional de Emergencia coordinó la asistencia de la región y para enero de 1994 se produjo un reporte interesante (Lit. 13) en donde el impacto social de las inundaciones fueron evaluadas y hay sugerencias de parte de los vecinos de las comunidades de los alrededores del río Sixaola para prevenir lo más posible futuros daños

Las soluciones propuestas son:

1. Desarrollar un plan de reforestación para toda la región de Talamanca y así reducir la cantidad de caídas de agua y proveer orillas para los ríos con árboles y plantas que sostengan la tierra. Se debe de obligar a las fincas de banano para que ayuden.
2. Declarar las áreas en donde se inunda con frecuencia como Sixaola, Paraiso y Margarita, no recomendables para vivir y convertirlas en "zona de vida silvestre".
3. Construir un dique en áreas peligrosas entre Bribri y Sixaola. Varias firmas con equipo apropiado han ofrecido asistencia para este fin. Por lo que el Gobierno debería apoyar esta iniciativa.
4. Canalización del Río Sixaola y en particular dragado del río y la boca para que el agua pueda salir rápidamente y no ser entorpecido. El material dragado puede utilizarse para reforzar las orillas.
5. Hacer otro curso para el río desde Paraiso hasta Gandoca para poder obtener otra boca hacia el mar.
6. Organizar que todas las casas en las áreas peligrosas sean de dos plantas.
7. Que los especialistas estudien la zona de inundaciones para que indiquen cuales áreas no son peligrosas para vivir y trabajar.

Comentarios acerca de las propuestas

1. En el capítulo 5, bajo el párrafo acerca de la influencia sobre la afluencia dentro de las áreas de inundación se hace referencia a un importante caso de reforestación. (Lit. 10).

En el caso del Río Sixaola se debe estar seguro de que la deforestación es una de las causas de inundaciones. En Lit. 5 la deforestación es llamada "la verdadera emergencia nacional" (y el contenido del folleto muestra una sombría foto del desarrollo de los bosques en Costa Rica, pero en particular el área de captación del Río Sixaola, región que todavía tiene bosques densos de acuerdo al folleto en el caso del año 1983).

Por lo tanto, es importante que las descargas e inundaciones en otras áreas en donde hubo deforestación sean analizadas cuidadosamente para ver si existe una correlación entre los cambios en el río y la deforestación.

También se ha dicho del Río MAAS, que una de las causas pudo ser la deforestación, pero en el área de captación del MAAS fue un aumento de bosques en las últimas décadas. No obstante, la conclusión de la investigación de MAAS, fue que las descargas en el pico tienen una relación pobre con la presencia de bosques ya que estos picos ocurren después de que la tierra y los bosques están completamente saturadas con agua. Lo que produjo las inundaciones fue el superfluo de agua del MAAS.

Para detener lo más posible la erosión de las orillas, con la siembra de árboles y otras plantas que sostengan el suelo, siempre es recomendable porque entre más rápido sea transportada la tierra por el río, más rápido se va la poca profundidad del lecho del río aguas abajo. Sin embargo, la pérdida de tierra también es pérdida de fertilidad aguas arriba.

2 y 7, son propuestas complementarias y se pueden manejar como una, pero es una decisión típicamente política.

6 pertenece también a la misma categoría política.

3, 4 y 5 son soluciones de ingenieros hidrólogos y algunos de estos han sido o serán discutidos en este reporte.

Propuesta 3. El problema de la construcción de un dique fue mencionado en el capítulo 5 en el párrafo acerca de la influencia en las dimensiones en la cuenca del río, y también en el capítulo 4 donde aparece entre comillas en la Lit. 1. Para determinar la altura del dique la probabilidad de un excedente a cierto aumento en la descarga.

Como se explica en el siguiente capítulo, para determinar la altura del dique, se debe conocer la probabilidad de un excedente a cierta altura en el aumento de la descarga. La construcción de un dique demasiado bajo puede dar la impresión de mucha seguridad pero en algunos casos de inundación este

dique puede sobrellenarse y los daños serían mucho más serios comparados al caso anterior. Las áreas de inundación del Río Sixaola ya están habitadas y en uso, pero se debe considerar que el espacio entre el río y el dique debe declararse inhabitable (Ver propuestas 2 y 7).

La construcción de diques son una buena medida en contra de los daños causados por inundaciones, pero no siempre es el mejor, ni la solución más económica (ver resultado de la estrategia para el desarrollo del Río MAAS).

Otro factor complicado alrededor del Río Sixaola sería el caso de las regiones montañosas de ambos lados del río porque en principio un dique sería una puerta cerrada para todas las aguas de estas montañas. En varios lugares fluyen arroyos procedentes de las montañas sobre la carretera de Bribri hasta Sixaola, después de las fuertes lluvias. Para sacar estas aguas del dique, se deben construir estaciones de bombeo para drenar el área entre el dique y las montañas. Lo mismo es válido para el lado panameño en donde otros pequeños arroyos desaguan en el Río Sixaola.

Por último pero no el menos importante, un meandro activo para las necesidades del Río Sixaola y que los diques sean construídos fuera de los posibles alcances de los meandros porque un dique para prevenir las inundaciones no puede evitar la erosión en el banco del río.

Por las razones mencionadas anteriormente, la construcción de diques no es la solución viable para el caso del Río Sixaola, en todo caso es un muy tarde para ello.

Propuesta 4. Es la solución más viable aunque costará un poco de dinero. No obstante, los materiales dragados pueden ser utilizados para otros propósitos por lo que sería más económico que la construcción del dique. (Ver los resultados de la investigación del MAAS). Si la arena es utilizada para aprovechamiento agrícola o áreas de vivienda la misma debe someterse a una prueba por si está contaminada

Como se explicó anteriormente, en cualquiera de las soluciones el hundimiento del río aguas abajo es una necesidad para vencer las inundaciones.

Propuesta 5. No está claro si todo el agua debería ir desde Paraíso hasta Gandoca o solamente parte de ella, pero en todo caso es la creación de un nuevo lecho para el río. Para que sea significativo, el lecho de este río (o canal) debe tener una descarga de aproximadamente 2000 M³/S, como un pico de descarga y debe ser una construcción cuidadosamente diseñada.

El camino entre Bribri y Sixaola tiene que construirse al igual que el largo del puente. La propuesta se puede ver como un "derramadero" para los picos de las inundaciones (el puente siempre va a ser necesario) pero solamente funcionaría durante las altas descargas del río.

8. SOLUCIONES VIABLES APLICABLES AL RIO SIXAOLA

Antes de que se formulen y diseñen soluciones debería haber disponible más información acerca del Río y sus alrededores. Es importante saber exactamente que partes se inundan alrededor del río, si aumenta el nivel del agua en escalas de 0.5 M. relativo a las pendiente normal del río.

¿Qué nivel es aceptable como nivel alto de agua?

¿Cuál descarga irá a través del río con ese nivel?

¿Cuál es la probabilidad de excedente y altas descargas?

¿Cuál es la forma más probable del oleaje de la descarga?

Estas preguntas son el punto de partida de una buena administración del río.

En Holanda, se dijo del MAAS que la descarga de 3.120 M³/S tenía una probabilidad en 155 años. Para el Río Rhine la política de diques tiene como objeto una aceptación probable de inundación de uno por 1.250 años (Lit. 8). Una descarga determinante de Rhine de 16.500 M³/S en Lobith, un pueblo cerca de las fronteras con Alemania en donde el Rhine entra a Holanda, es utilizado para los diseños, porque esta descarga tiene un excedente frecuente de aproximadamente 1/1 250 por año. El uso posterior esta hecho de la forma del diseño de la ondulación de la descarga, lo cual tiene que ver con la caracterisitica individual del río, por ejemplo, el Rhine dos días antes del pico de 16.500 M³/S la descarga todavía esta entre 16.500 y 12 000 M³/S y luego baja en un período de 8 días a 5.000 M³/S aproximadamente. (Todavía se desconoce cual era la descarga y como el nivel alto de agua en febrero de 1995 se ajustó a este reporte).

Para el Río Sixaola la ondulación del diseño de descarga debería ser diferente ya que el río es mucho más corto y nunca mostrará una descarga de 16.500 M³/S. En diciembre de 1974, por ejemplo, hubo una descarga ondulada que dió al cuarto día un porcentaje de descarga de 1 020 M³/S, el quinto 1 960 M³/S (con un pico momentaneo de 2.260 M³/S), el sexto 1.650 M³/S y el sétimo 760 M³/S, demostrando una corta duración que la onda diseñado del Rhine.

Los cálculos mensuales hechos por el ICE de las descargas altas tomadas de las medidas diarias del nivel del agua en el Sixaola (puente de hierro) una curva para estimar la frecuencia del excedente de la descarga puede basarse en los datos del año 1972 a 1994 (Fig. 12). Los puntos cuadrados en la figura son el resultado de las observaciones y los cálculos.

La línea a través de estos puntos son de un análisis de regresión (el porcentaje de curva más probable del excedente por año para las descargas momentaneas) y las líneas en las pendientes más bajas es la línea del cual se puede estimar que la probabilidad del porcentaje de una descarga a un determinado valor, los valores de Y equis durarán un día en 24 horas.

Estas últimas descargas mencionadas con sus probabilidades en tiempo por año se dan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Frecuencia en el excedente de las descargas del Río Sixaola.
(descarga que duran 1 día - 24 horas)

<u>DESCARGA (M³/S)</u>	<u>FRECUENCIA (Y AÑO)</u>	<u>PERIODO (AÑO)</u>
1.000	2	0.5
1.450	1	1
2.750	0.1	10
4.030	0.01	100
5.325	0.001	1.000
5.450	0.0008	1.250

Las probabilidades se calcularon basado en los últimos 22 años mientras que la curva de excedente para el Rhine es de 75 años de observación. Esto se menciona porque algunos testigos dicen que en el año de 1935 y 1970 ocurrieron grandes inundaciones en Sixaola (Costa Rica) y Guabito (Panamá) con el nivel del agua casi sobre la cubierta del puente de hierro, permitiendo que solamente el puente y los caminos adyacentes estuvieran libres de las aguas. Si se llegó a esta altura y se aplica el índice de la curva del año 1972, entonces la descarga tuvo que haber sido más de 10.000 M³/S, un valor que según la curva de la figura 12 tiene una probabilidad una vez en 100.000 años.

Por lo tanto se puede concluir que las descargas de los últimos 22 años no son una buena serie para el Río Sixaola, y ser utilizados en periodos de por ejemplo más de 100 años.

Teóricamente, es posible que hayan tomado un cambio fundamental en el curso y/o la configuración del río y sus alrededores después de 1970 o estas grandes inundaciones eran de un origen totalmente diferente (tormentas tropicales o bloqueo en la afluencia de los escombros?) y no de la salida normal del agua.

En todo caso, aquí se debe mencionar que los grandes desbordamientos de 1935 y 1970 no están en concordancia con la figura 12. Se desconoce la razón para esta discrepancia, lo cual hace que los planes basados sobre esta figura sea discutible.

A. Control de la descarga con represas

Para el diseño de una represa, con una salida con portones, para un control de descarga con la función de retener temporalmente una gran cantidad de aguas arriba cerca o debajo de Bribri, es necesario saber cual descarga pasará sin problemas.

Por ejemplo, 1.,250 M³/S, lo que significa que 4.000 M³/S vienen del Valle de Talamanca (con una probabilidad de uno en 100 años de acuerdo a la figura 12 de la tabla 1), que el volumen de 2 750 X 24 X 3.600 = 237.600.000 M³ debe ser almacenado durante el día

Una represa con una capacidad de 300 Mm³ (=300 millones M³ con una longitud de 20 Km, con un ancho de 1.5 Km y una profundidad de 10 Mts.) cumple con este requerimiento (si se considera que el porcentaje anual de la cantidad de agua que fluye a través del río es de aproximadamente 7 500 M m³, sobre un periodo de 365 días, entonces 300 M m³ debe ser razonable para iniciar un diseño)

Para un control de la descarga la represa debe estar prácticamente vacía antes de los grandes aguaceros, lo que significa que la función de la represa es totalmente diferente comparado a una represa construida para fuerza estacionaria, navegación, propósitos de irrigación

En frente de la presa, habrá un espacio muy amplio el cual puede ser llenado parcialmente con agua a cierto nivel, creando un lago artificial, que puede ser utilizado para varios propósitos. A estas alturas es claro, que para el diseño se debe recopilar más datos, así como del río, la topografía, y el subsuelo, pero con esos datos hay una buena posibilidad de optimizar la localización, la dimensión y el diseño para una suave y confiable ondulación de las inundaciones y de esta forma reducir los daños en las áreas de inundaciones del Río Sixaolas lo más extenso posible

La construcción de la presa es un gran proyecto a un costo elevado y de consecuencias, pero no el único en el mundo. Es una solución comprobada para los problemas a lo largo del Río Sixaola, en particular a causa del pico de descarga comparado con Rhine. Esta solución se recomienda tomar en primera instancia.

B. Desviación de la parte superior de las ondas de desbordamiento

El Río Sixaola tiene otra característica especial y es la posibilidad del desvío de la parte superior de las ondas de navegación hacia el mar, porque en Bribri la distancia hacia el mar es de aproximadamente 8 Km. mientras que el río tiene que ir cerca de 65 Km. a través de la planicie de inundación

Que la posibilidad de un desvío en el desbordamiento de las ondas no se mencionará previamente en este capítulo, tiene que ver con el hecho de que si se toma en cuenta esta solución es recomendable hacer uso de aumento del nivel del agua en la represa para salvar la energía en el agua pero que los derramaderos o túneles por el elevado terreno entre el río y el mar tendría un mínimo de necesidades en la remoción del suelo

Por lo tanto se hace referencia de esta solución como una precaución adicional para garantizar la completa libertad de los desbordamientos en las áreas de inundación. Estas garantías son de mucho valor porque el uso de terrenos humildes no son tratados como lugares de posibles inundaciones

C. Enderzamiento de los meandros del río

Como se explicó en el párrafo acerca de la influencia de la salida del río, el enderezamiento es en primer lugar una medida para aumentar la pendiente del río cerca de la boca.

El paso más importante del enderezamiento y que aumenta el desagüe en la boca, es el corte en la distancia hacia el mar haciendo de la boca (o una segunda boca) cerca de Gandoca, en dado caso a un nivel alto de agua en el río.

Esto significa que el lecho del río hacia Gandoca siempre debe de mantenerse en buena forma, pero a un nivel bajo de agua con una presa de piedras que podría detener la salida en Gandoca para que el camino corto hacia el mar, cerca de Gandoca, funcione como un humilde "derramadero" para las altas inundaciones

Es innecesario recalcar que dicha construcción artificial necesita un diseño cuidadoso; pero es una medida que disminuirá ciertamente el nivel de los desbordamientos cerca de Sixaola. La propuesta 5 del reporte de evaluación del CNE (Lit. 13) debe ser estudiado como otra opción para la segunda boca en Gandoca.

D. Engrandecer el contenido de la cuenca del río

Dependiendo de la localización en donde ocurren los problemas más serios de inundaciones en estos lugares, en particular desde la punta de las barra deberían traerse a las orillas o ser utilizados como materia prima en la industria de construcción.

Más adelante debe de considerarse la construcción de "aliviaderos" entre los meandros del río para acortar el fluido de altas descargas de una curva a la otra al mismo lado del río. Esto se quiere de la excavación de un tipo de canal, engrandecer el espacio de la cuenca del río, pero al mismo tiempo influenciar en la altura del oleaje de inundación a razón de la creación de diferentes tiempos para los oleajes de inundación a lo largo de las rutas hacia las partes aguas abajo del río, haciendo el pico menos agudo.

E. Ahondamiento del río

A causa de la lenta elevación del lecho del río, un fenómeno natural pertenece a una administración normal de un río para revisar la profundidad del río regularmente sobre la longitud total con el fin de seguir los desarrollos.

Es claro que no se realiza ningún tipo de mantenimiento en las profundidades de los ríos de Costa Rica, en todo caso no se hace en los ríos que fluyen al Mar Caribe. Se realizan algunos dragados en el Canal del Tortuguero pero en muchos lugares el río muestra serios problemas de poca profundidad (las aguas poco profundas hay grandes bancos de arena sobre el agua) y para reducir la probabilidad de

desbordamiento tierra adentro, estos bancos de arena deben de ser removidas entre las áreas afectadas por las inundaciones y el mar

Ahondando los ríos en la extensión en frente de las bocas aumenta la salida, porque se baja la resistencia del río trayendo la pendiente del agua más rápido hacia la boca.

Se debe de tomar en cuenta después del ahondamiento, umbrales sumergidos (hechos por ejemplo de largos pedrejones de las partes río arriba) perpendicular a la dirección de la corriente en el río para estabilizar el banco y para prevenir la rápida sedimentación y erosión en localizaciones no deseadas. Dichos umbrales son energías absorbiendo estructuras y en algunos lugares son recomendables para suprimir daños de las aguas que bajan el cual está lleno de energía. La tendencia del río de atacar las orillas con la necesidad de expandir el ancho es suprimido.

Por último, varios objetos en los ríos como árboles caídos o troncos de bambú deben ser removidos; sino no es para la navegación, entonces que sea para disminuir la resistencia en particular en las áreas río abajo, en donde regularmente se inunda.

F. Combinación de las medidas

Como se ha mencionado en el B. de este reporte, es nuestro deber pensar primero en la A. antes que el B pueda ser aplicado. Por lo que se sobreentiende que por ejemplo, profundizar el río aguas abajo, (solución E), la descarga máxima permitida y sin conseguir desbordamientos, pueden elevarse posiblemente de 1.250 a 1.750 M³/S. Esto puede influir en el diseño de A. porque entonces una represa más pequeña será suficiente la medida D. también puede dar una contribución a una descarga más amplia y segura, y si sucesivamente.

Por lo tanto para resolver los problemas en Río Sixaola de la manera más eficiente y económica posible, es recomendable formar un grupo de especialistas (como el que se hizo para la investigación del MAAS) para presentar un número limitado de soluciones de los cuales las autoridades responsables puedan escoger. Es lógico que los especialistas deben ser de Costa Rica y Panamá

De la lista de literatura al final de este reporte, es claro de que aquí hay disponibles varios especialistas.

Para algunos temas, se debe utilizar expertos internacionales con experiencia en física y matemática para el modelado de los ríos.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La inundación de los ríos en las áreas de inundación es un fenómeno natural. Las personas prefieren utilizar las áreas de inundación por la fertilidad y del paisaje.

Existen varias contramedidas en contra de las inundaciones pero es una cuestión de costos y beneficios de cual solución sea el más factible.

No se puede garantizar la imposibilidad de una inundación. La mejor solución sería el compromiso sobre la base de riesgos y probabilidades.

Recomendaciones

- 1 Este reporte debe ser discutido con otros expertos para conseguir comentarios adicionales
- 2 Convocar a un grupo de expertos de varias disciplinas para producir un número de planes con costos estimados por selección.