

## ***ESTUDIO SOBRE EL PASO DEL RIO TUIS EN LA SUIZA DE TURRIALBA***

### ***1. ANTECEDENTES***

*El estudio tiene su origen en el Decreto Ejecutivo N° 24973 MOPT y del Acuerdo N° 027996 de la Comisión Nacional de Emergencias:*

*“Ordenar a la Administración proceder de la manera inmediata a la contratación de hidrólogos de la más alta calificación posible para que procedan a realizar los estudios pertinentes para el diseño de las obras necesarias para el encauzamiento y construcción de los diques de protección en los ríos de la Vertiente Atlántica y Norte que se desbordaron con el temporal del 11 al 14 de febrero de 1996, conforme a lo dispuesto por el Decreto Ejecutivo N° 24973 - MP - MOPT, del 14 de febrero de 1996. Asimismo, para que se proceda a la contratación de la fotografía aérea de la zona afectada con el Instituto Geográfico de Costa Rica”.*

*El contrato que ampara este estudio fue firmado entre la Comisión de Emergencias y la Fundación de la Universidad de Costa Rica por la Investigación (FUNDEVI).*

*Las especificaciones y referencias fueron definidas por la Comisión Nacional de Emergencias.*

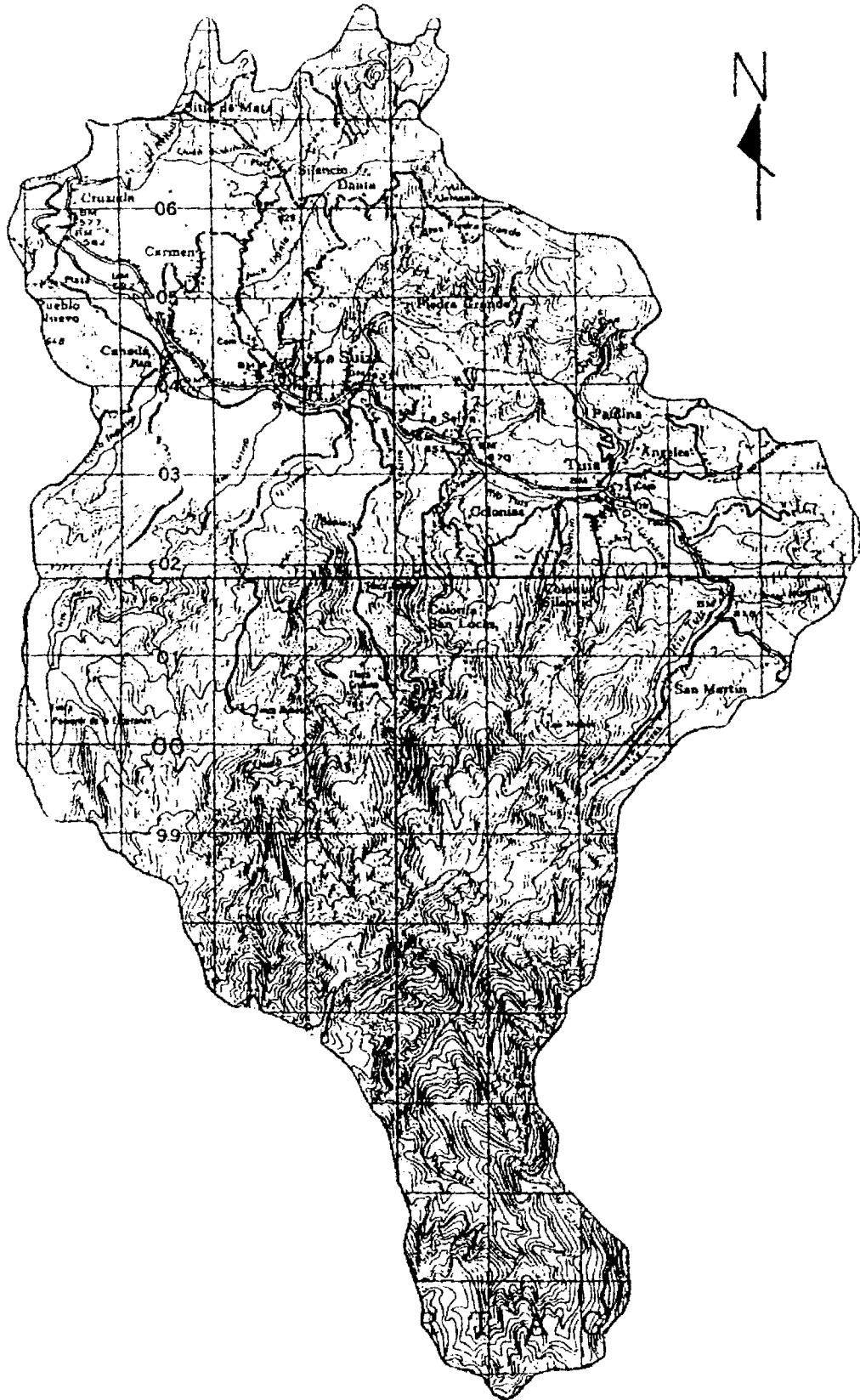
## **2. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA CUENCA DEL RIO TUIS**

### **2.1 Generalidades de la cuenca**

*El área de trabajo la define la cuenca del río Tuis, localizada en el cantón 5° Turrialba, la cual está enmarcada dentro de la cuenca del río Reventazón, de la provincia de Cartago. Incluye los distritos 2° La Suiza, 7° Tuis, y parte de los distritos 6° Pavones y 8° Tayutic, todos del cantón de Turrialba. Concretamente está ubicada en las coordenadas geográficas 9° 45' y 9° 53' Latitud Norte, y 83°33' y 83°38' Longitud Oeste, en las hojas topográficas Tucurrique N° 3445 I y Pejibaye N° 3445 II (ver figura 2.1).*

*La cuenca se localiza en un medio tropical húmedo, a ocho kilómetros al sur - este de la ciudad de Turrialba. Presenta dos vertientes bien definidas: norte y sur, las cuales están separadas por el río Tuis en su recorrido por el valle principal a partir del giro de casi 90° desde la Quebrada Puente Marimba para tomar rumbo este - oeste hasta su confluencia con el río Reventazón. El 23% del área total de la cuenca forma parte de la zona Protectora del río Tuis, ubicada en la parte superior de la vertiente sur. La altitud oscila entre los 558 m y 1980 m en la parte baja y más alta respectivamente. (Araya 1993).*

Figura 1.1  
La Cuenca del río Tuis



*La zona está caracterizada por una topografía accidentada, pendientes que oscilan entre 10% y 50% y una alta precipitación pluvial que alcanza los 3200 mm anuales promedio. Incluye áreas naturales con limitaciones severas para la producción y buen desarrollo de los cultivos debido a la fragilidad a los suelos, así como por poseer una estructura geológica que le define una inestabilidad a sus laderas de especial atención.*

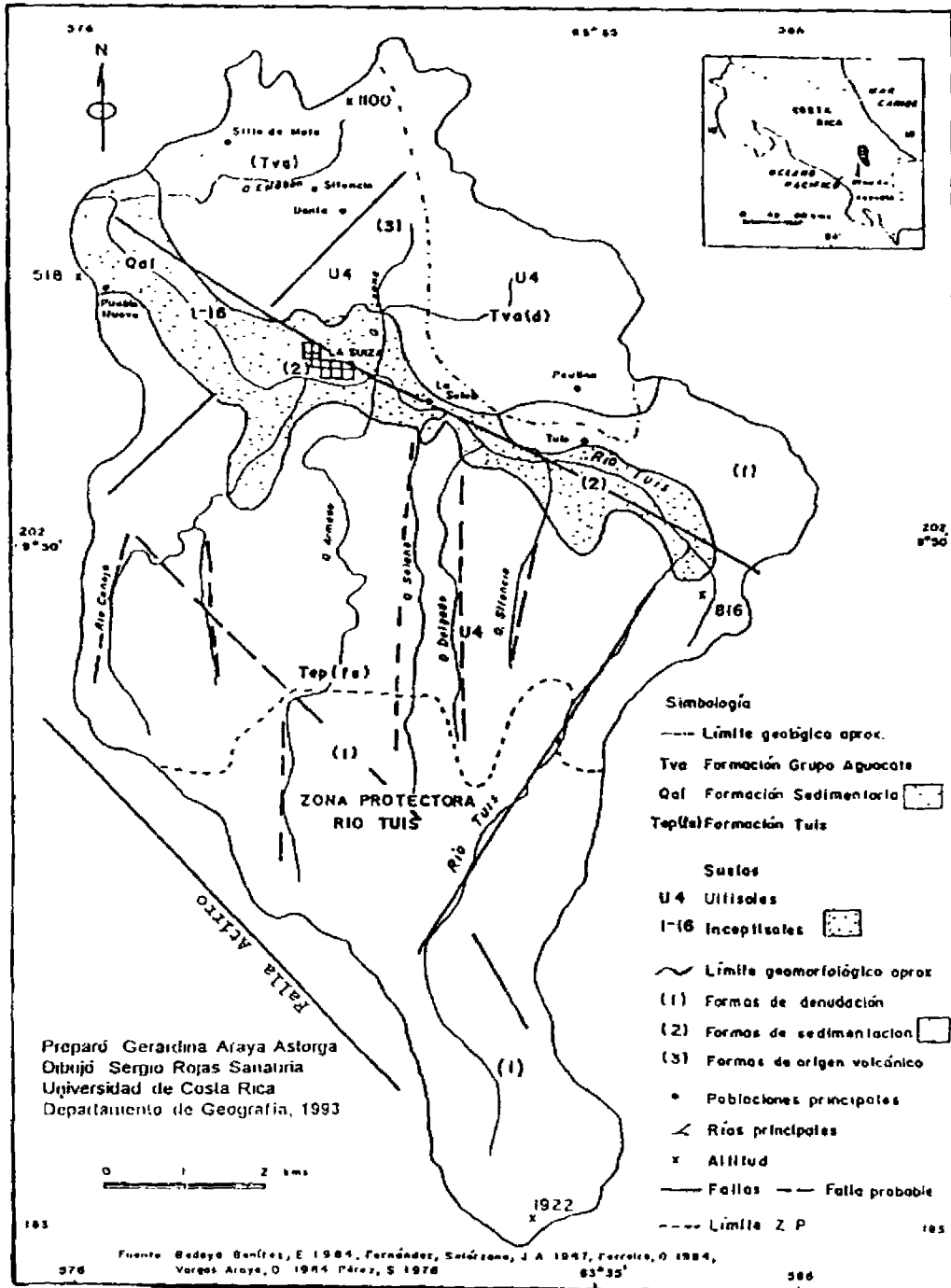
*Las principales características geomorfológicas de la cuenca son (Madrigal 1995):*

<i>Area</i>	<i>76.77 km<sup>2</sup></i>
<i>Perímetro</i>	<i>47.52 km</i>
<i>Elevación máx</i>	<i>1989 msnm</i>
<i>Elevación mínima</i>	<i>558 msnm</i>
<i>Cauce principal</i>	
- <i>Altitud máxima</i>	<i>1922 msnm</i>
- <i>Longitud</i>	<i>22.46 km</i>
<i>Número de orden</i>	<i>3</i>

*Los principales promedio de la cuenca oscila entre los 2500 mm (en la Sutzá) y los 5500 mm (en los altos de río Tuis).*

Figura 1.4

Mapa de Geología - Geomorfología y Suelos de la Cuenca del río Tuis



*Entre los meses de enero y abril se presenta el período menos lluvioso del año, siendo marzo el mes más seco ( $P_{prom} = 51 \text{ mm}$ ). El período lluvioso es de mayo a diciembre, con una ó dos semanas del mes de agosto en las cuencas se da un período seco. Junio es el mes más lluvioso ( $P_{prom} = 301 \text{ mm}$ ).*

*La temperatura promedio anual oscila entre los 15.4 y 23°C.*

## *2.2 Actividades económicas y uso del suelo*

*Para el campesino la tierra es el recurso más valioso, y esta debería ser su prioridad, ya que constituye la base de su desarrollo económico y social. Esta prioridad se refiere a la toma de decisiones acerca de cual uso es mejor, tanto en la explotación agrícola, pecuaria o forestal, como en la utilización para otros fines (viviendas, vías de comunicación, servicios públicos y privados); sin embargo, los fines y objetivos de la sociedad aledañas para satisfacer sus propias necesidades, normalmente originan conflictos y cambios en el uso de la tierra. Por otro lado, los intereses y políticas a nivel nacional y la demanda internacional de abastecimiento de materias primas, así como de bienes y servicios, crean una interdependencia y a veces un desajuste en el uso de la tierra.*

*La economía y el desarrollo en la cuenca del río Tuis están basados en la producción agrícola. Los productos agrícolas determinantes de la zona son el café y la caña de azúcar. Los diferentes patrones que integran los usos de la tierra son:*

*café, caña de azúcar, bosques totales (tipo de cobertura vegetal), pastos, frutales y zona urbana; predominando el uso agrícola como una actividad importante (Araya 1993).*

*De acuerdo con la figura 2.2 se tiene que en 1988 el uso predominante correspondía a bosques (43.6%), segundo por pastos (23.5%), cultivos de café (16.7%) y caña de azúcar (10.6%). Los valores observados en el cuadro nos muestran que el cultivo de caña de azúcar ha sido sustituido por el café y los totales. La sustitución del bosque primario ha sido por cultivos agrícolas y pastizales pues en 1961 el área de bosque correspondía a 62.1% en comparación con el 43.6% para 1988. Todo este desequilibrio en el uso del suelo provoca una inestabilidad del geosistema y del balance hídrico de la cuenca, ya que se modifican las propiedades de absorción, almacenamiento y descarga del agua.*

*En toda la cuenca se presenta una explotación irracional del bosque, especialmente en las zonas bajas y en las zonas donde existe mayor población. El aumento de población provoca la construcción de caminos de acceso, causando una mayor tala de árboles, lo cual se convierte en una aceleración del proceso de deterioro.*

*La cuenca puede clasificarse en tres unidades geomórficas (ver figura 2.4) (Araya 1993):*

*a- Las formas de Desnudación :*

*Son productos de la meteorización, de la erosión laminar, de las aguas de escorrentía y en menor grado se atribuyen a procesos erosivos fluviales. Está formada por rocas sedimentarias continentales que abarcan la mayor área de la cuenca. Localizada en la vertiente sur y en el extremo este de la cuenca. Las pendientes oscila entre el 35 - 60 %.*

*b- Las formas de Sedimentación Aluvial, Coluvial y Lacustre:*

*Están constituidas por sedimentos fluviales (ríos y quebradas), con o sin influencia coluvial y por sedimentos fluviales (ríos y quebradas), con o sin influencia coluvial y por sedimentos de origen fluvio - lacustre. Las rocas que la componen son brechas, conglomerados, arenas no consolidadas y bloques de composición ígnea extrusiva y sedimentaria. La pendiente es menor de 15%. Los coluvios se localizan a lo largo de las márgenes del río Tuis y sus afluentes. Estos depósitos son los que le dan una topografía bastante plana al sitio (donde se ubica parte de la ciudad de la Suza).*



*Los abanicos coluvio - aluviales de esta zona se han formado durante eventos atmosféricos extremos por el arrastre de materiales de las laderas cercanas. Representan la transición de relieve montañoso a plano, donde se da la sedimentación de materiales transportados por el agua en forma de abanico. Un ejemplo de esto es la confluencia de la quebrada Leona y el río Tuis.*

c- *Formas de Origen Volcánico:*

*Están integradas por la acumulación de depósito de rocas ígneas extrusivas, lavas, aglomerados, conglomerados, lutitas y basaltos, y se localizan en la vertiente norte de la cuenca. La topografía está formada por valles en forma de "V", con un drenaje de corrientes discontinuas y cauces poco profundos. Las pendientes oscilan entre el 15 - 35%.*

**Suelos**

*Según Núñez (1986) y Ferrerio (1984) se distinguen tres órdenes de suelos (ver figura 1.4):*

a- *Inceptisoles: se localizan principalmente en la llanura de inundación del río Tuis y constituyen un área muy pequeña. Son ácidos y de textura franco arcillosa, tiene buen drenaje y su profundidad es mayor a los 2 metros. Fueron formados por los aluviones recientes con abundancia de materiales sedimentarios.*

b- *Utisoles: se encuentran en la yamor parte de la cuenca y se derivan de rocas de origen volcánico. Por lo general son ácidos, arcillosos, pedregosos de profundidad variable y baja permeabilidad.*

c- *Entisoles: se encuentran distribuidos a lo largo de las laderas escarpadas de la cuenca superior del río Tuis, y su llanura aluvial. Son suelos que varían de franco arenoso a franco arcillosos, con una moderada a buena capacidad de drenaje.*

### **3. ACCIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.1 Acciones a corto plazo**

*Estas son medidas preventivas que tiene como objetivo, mitigar la magnitud de un desastre natural y preparar a la población, para que sepa cómo actuar en caso de que se produzca un desastre. Entre las medidas que se recomiendan están:*

- 1- *Establecer un sistema periódico de vigilancia visual por parte de los vecinos, para cada uno de los tramos de riesgos más alto en sus afluentes. Esto con el fin de evitar una acumulación de material en una sección determinada que forma una especie de presa. Esta impedirá el paso del agua y provocando que en un determinado momento se rompa e inunde zonas aledañas a los afluentes.*
  
- 2- *Efectuar un plan de limpieza en forma periódica de las zonas anteriormente mencionadas.*

### 3.2 *Acciones a mediano plazo*

*Estas acciones son principalmente obras civiles que ayudarán a resolver el problema en forma parcial, ya que poco a poco se irán deteriorando, el material es arrastrado por el río o extraídos por los habitantes de la zona, hasta que la obra deje de servir y se presenta de nuevo el problema.*

*Las obras de protección longitudinales, de acuerdo con su posición con relación al eje de su cauce, se utilizan para la rectificación del eje de la corriente evitando los desequilibrios producidos por curvaturas excesivas y logrando secciones de flujo con radios hidráulicos tales que los materiales del contorno no sean erosionados.*

*Para la evaluación económica de este tipo de obras, hay que tomar no sólo en cuenta el tipo de dimensiones de la estructura sino que también el tiempo de vida útil, manteniendo de maquinaria, utilizando de material en sitio, mano de obra disponible, etc.*

*La escogencia de las obras de mitigación depende de las características de la sección y las necesidades de control que existan (López, 1988):*

*a- Diques de corrección o perfiles escalanados con tramos no erosionables: están constituidos por muros longitudinales que fijan el cauce y estabilizar el techo, considerando que la margen opuesto tiene capacidad suficiente para ser inundado sin producir ningún daño; propio de las llanuras de inundación (ver figura 3.2).*

*La gran desventaja de este tipo de medida es que no ofrece ningún tipo de protección cuando se sobrepasa su capacidad de diseño, pues si el dique falla la inundación surge súbitamente. En estas obras también hay que tomar en cuenta que el almacenamiento ribero se reduce, provocando un aumento en el pico de la creciente aguas abajo, lo cual obliga a elevar aquellas estructuras que cruzan el canal en el tramo que se va a proteger. Tomando en cuenta los criterios más*

*importantes para la definición de los diques, ninguna de las secciones escogidas a lo largo del tramo estudiado cumple con ellos y por lo tanto una obra de este tipo sería irrealizable.*

- b- Revestimientos: se colocan en los lugares en los que no sea posible desviar las aguas por la existencia de un cauce angosto, y se trate de proteger las márgenes y aumentar su resistencia; se recurre a revestimientos tales como escolleras, corazas o plantación de cubiertas vegetales (ver figura 3.1).*

*Las protecciones marginales se apoyan directamente contra el talud de la orilla y el fondo del cauce. Se construyen con materiales que no pueden ser arrastrados por la corriente. Su principal ventaja es que fijan la orilla en forma definitiva, aunque requiere un procedimiento de construcción complicado y costoso; además de exigir un mantenimiento cuidadoso ya que una falla, aún de una porción pequeña, pone en peligro toda la protección. La falta de recursos económicos tanto para la construcción como para el mantenimiento de este tipo de obra hace que en nuestro caso resulte antieconómico.*

- c- Espigones: se colocan en lugares con problemas de erosión en las márgenes donde el cauce tenga suficiente anchura para la modificación de la dinámica torrencial sea admisible (ver figura 3.1).*

Figura 3.2

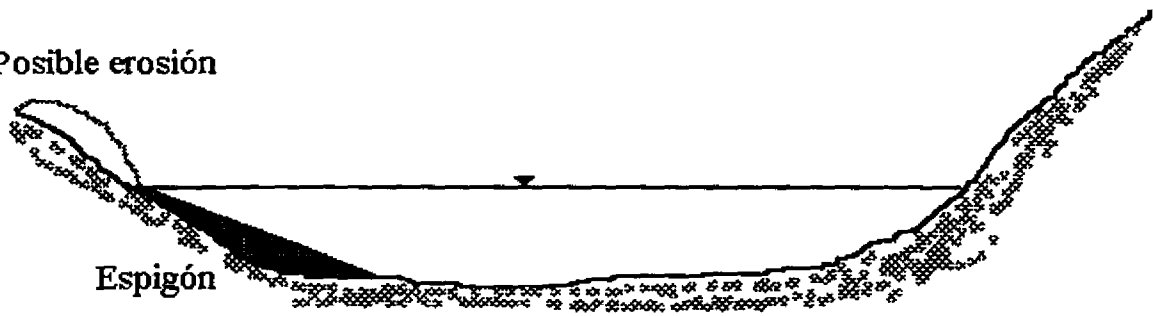
Obras de Control de Inundaciones

a) Diques de corrección :

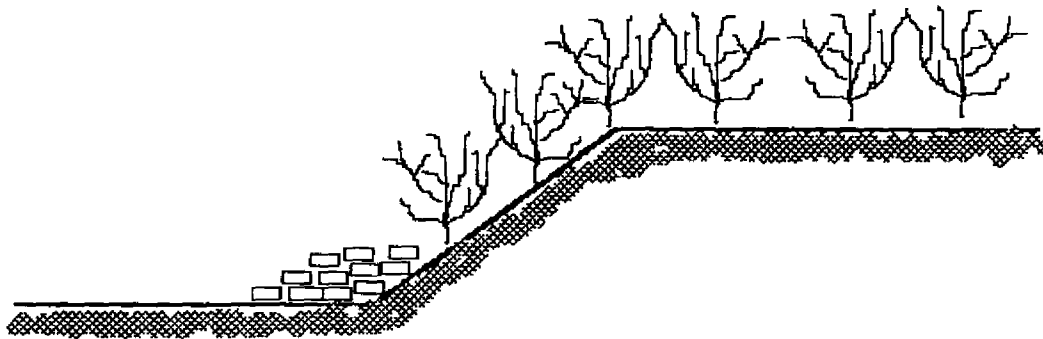


b) Espigones :

Posible erosión



c) Revestimientos :



- b- *Planificación y conservación del uso del suelo: se deben adaptar prácticas de conservación de suelo que estén basados en el cambio a nivel de grupo y/o individuo para responder a la hora de tomar decisiones. Entre los aspectos a tomar en cuenta están: dar una mayor y mejor solución con respecto a los efectos de la erosión; disminuir contrastes entre agricultura y usos de la tierra, sobre las cuales se toman decisiones; y por último se recomienda el uso de un reglamento que controle y restrinja el uso de la tierra. (Ver recomendaciones de ECODES).*

#### **4. SOLUCIONES PROPUESTAS**

*Las zonas que se presentan a continuación fueron identificadas con base en la visita de campo realizada y los datos suministrados por la División General de Obras Portuarias del MOPT (ver figura 4.1).*

*De acuerdo con las características de cada zona y el problema que las afecta más frecuentemente, se clasifican las zonas de la figura 4.1 en tres grupos.*

- a- *Zonas 4 y 5: Problema de socavación de la margen izquierdo.*
- b- *Zona 7: Problema de inundación y deslizamiento*

- c- *Zonas 1-3 y 6: Son zonas con problemas muy específicos que se salen de los objetivos del trabajo, por lo que no se analizarán.*

#### 4.2 *Solución al problema de inundación*

*Muchas veces las obras de protección o mitigación no resuelven los problemas de inundaciones y deslizamientos totalmente, pues cada vez más viviendas se colocan en los lechos de inundación de los ríos, o en lugares propensos a deslizamientos. Por esto es necesario complementar estas medidas con otras administrativas que nos van a ayudar a resolver el problema. Entre las medidas no estructurales podemos mencionar:*

- a- *Ordenación de la planicies de inundación:*

*Esta medida se refiere a un conjunto de acciones y políticas que nos ayudaran a implementar y ejecutar planes que conduzcan a un uso más racional de las planicies de inundación y de los lugares cercanos a taludes muy inclinados.*

*Este tipo de medida se aplica en tres áreas diferentes:*

- *Un área constituida por los lechos menor y mayor de río, en donde se permite ocupación humana permanente.*
- *La planicie de inundación del río, en donde se restringe la actividad socio-económica, en función de la frecuencia y violencia de las inundaciones.*



- *Area de emergencia excepcional, en la que hay actividades de todo tipo.*

*b- Evacuación temporal*

*Debe de haber una comisión que sea la encargada de concebir y simular un plan de emergencia que involucre directamente a toda la población, ya que a la hora que se presenta una inundación o deslizamiento; el tiempo es un factor de vital importancia para salvar una vida.*

*c- Evacuación permanente*

*Esta medida comprende la reubicación de los habitantes afectados en sitios en donde no haya peligro y la utilización de las tierras en actividades que no interfieran con el flujo de las crecientes.*

*Sin embargo hay que tomar en cuenta que una vez que una familia toma posesión de un lugar, es prácticamente imposible moverlos, además que el gobierno no cuenta con recursos necesarios para realizar esta labor.*

*d- Desarrollo urbano*

*Se debe establecer un programa en donde se asignen las tierras bajas para parques u otro tipo de usos no sujetos a daños de consideración por inundación y la reconstrucción en las tierras más altas.*

*e- Señales de advertencia*

*Estas señales indicarán los niveles alcanzados por las crecientes y las fechas en que han ocurrido. Esto ayudará a que la gente no se meta en los lugares en donde puede haber peligro.*

*f- Políticas de desarrollo*

*Estas políticas ayudan a frenar el desarrollo en las planicies de inundación. Se debe favorecer la construcción en las áreas seguras y dificultar el desarrollo en las áreas con peligro inminente.*

#### **4.3 Solución al problema de socavación**

*La socavación de las márgenes de un río es un efecto que debe tomarse en cuenta para la protección de estos, especialmente, si por este pasa la única carretera que une dos centros de población.*

Una de las formas más usuales de protección directa de la orilla son los espigones, los cuales tratan de que las líneas de corriente con alta velocidad se elejen de los materiales que forman la orilla y no puedan ser arrastrados.

Los puntos más importantes que se han de tomar en cuenta al diseñar una protección a base de espigones son: (López, 1988).

a- Determinación del caudal de diseño.

Con base en los datos de caudales diarios y máximos instantáneos de la estación La Suiza, para un período de registro de 5 años, la curva de descarga con la fórmula de Manning y un caudal máximo en el río se obtuvieron, en forma aleatoria, los siguientes caudales de diseño: 2, 5.4, 8.01, 13.2, 18.8 y 29 m<sup>3</sup>/seg.

Cuadro 4.1

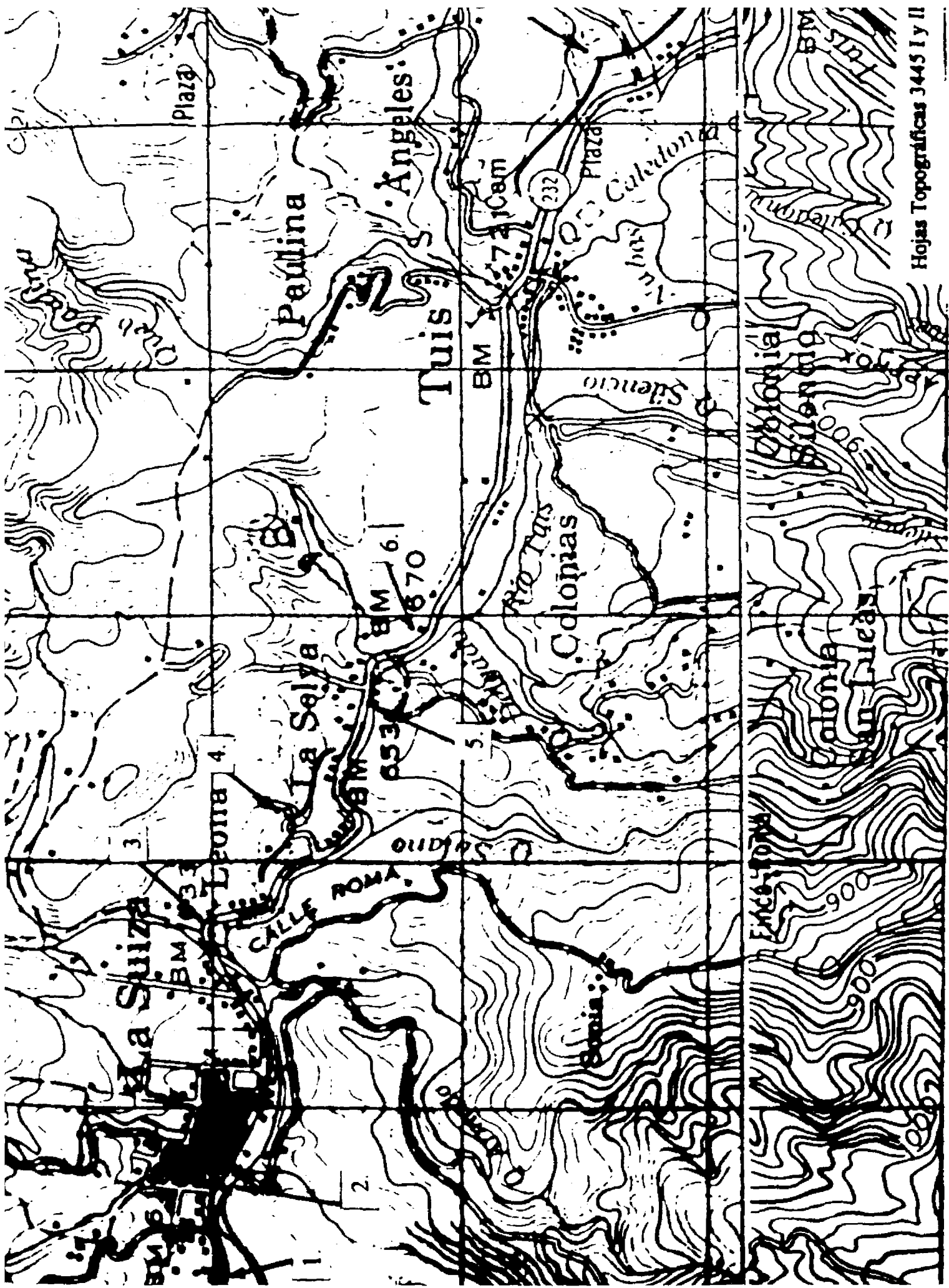
Caudales diarios para un período de 5 años

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Probabilidad de ocurrencia
< 5	78.00%
5-10	18.20%
10-15	2.52%
15-20	1.10%
>20	0.27%

*Cuadro N.4.2*

*Caudales máximo para un período de 5 años*

<i>Cudal (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Probabilidad de ocurrencia</i>
<i>&lt;20</i>	<i>29.8%</i>
<i>20-40</i>	<i>15.8%</i>
<i>40-60</i>	<i>26.3%</i>
<i>60-80</i>	<i>8.7%</i>
<i>80-100</i>	<i>5.26%</i>
<i>100-120</i>	<i>1.75%</i>
<i>120-140</i>	<i>1.75%</i>
<i>140-200</i>	<i>10.5%</i>
<i>200-400</i>	<i>1.75%</i>



*La longitud de trabajo, medida sobre la corona, se selecciona independientemente y se ha comprobado que conviene que esté dentro de los límites siguientes:*

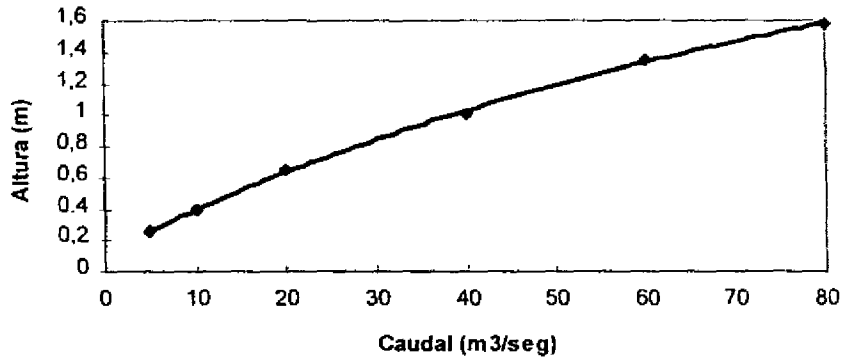
$$h \leq L_t \leq B/4$$

*donde: B es el ancho medio del cauce, y h es el tirante mdio; ambos para el caudal dominante.*

*Si se desea uqe los espigones tengan una longitud prefijada, la línea de proyecto se acercará o lejará paralelamente a la orilla central. Por economía convine que la ongitud dle anclaje se la menor posible. La técnica que se ha seguido es terminar los espigones directamente contra la orilla y algunos cerca de ella (aproximandemnte el 4%). Resulta menos costoso repara los daños que puedan sufrir unos pocos espigones que empotralos a todos. La reparación se efectúa durante el estiaje siguiente, y consiste en prolongar el espigón hasta unirlo a la orilla erosionada. Los espigones generalmente fallan durante el primer período de avenidas, pero una vez reparados, trabajan adecuadamente casi sin mantenimiento posterior. Cuando debe evitarse completamente la falla de cualquier espigón en un trmo de especial interés, conviene que la separación entre los espigones sea menor, o que todos sean empotrados en una longitud que como máximo sea 10gual a  $L_t/4$ .*

*Figura 4.2*

**CURVA DE DESCARGA DEL RÍO TUIS**



*b- Localización en planta*

*En la copia del mapa 3445 I y II de IGN (se adjunta), se ubican los espigones en la sección de reigos n2 (La selva).*

*Para la ubicación se traza en planta el eje del río y, en las orillas, delinear una línea paralela al eje, a la cual llegan los extremos de los espigones. La longitud de cada espigón estará dada por la distancia de la orilla real a esa línea.*

*Cuando sólo se desean proteger las orillas actuales de un río y no es posible hacer trabajos de rectificación, la línea que une los extremos de los espigones deberá trazarse lo más uniformemente posible, aunque no tendrá, necesariamente, un radio único.*

c- *Longitud de los espigones*

*La longitud total de un espigón se divide en longitud de anclaje o empotramiento y longitud de trabajo. La primera es la que inicialmente está dentro de la margen y la segunda la que está dentro de la corriente (Ver figura 4.3).*

*La longitud de trabajo, medida sobre la corona, se selecciona independientemente y se ha comprobado que conviene que esté dentro de los límites siguientes:*

$$h \leq L_1 \leq B/4$$

*donde: B es el ancho medio del cauce, y h es, el tirante mdio; ambos para el caudal dominante.*

*Si se desea que los espigones tengan una longitud prefijada, la línea de proyecto se acercará o lejará paralelamente a la orilla central. Por economía conviene que la longitud del anclaje se la menor posible. La técnica que se ha seguido es terminar los espigones directamente contra la orilla y algunos cerca de ella (aproximadamente el 4%). Resulta menos costoso reparar los daños que puedan sufrir unos pocos espigones que empotrarlos a todos. La reparación se efectúa durante el estiaje siguiente, y consiste en prolongar el espigón hasta unirlo a la orilla erosionada. Los espigones*



generalmente fallan durante el primer período de avenidas, pero una vez reparados, trabajan adecuadamente casi sin mantenimiento posterior. Cuando debe evitarse completamente la falla de cualquier espigón en un tramo de especial interés, conviene que la separación entre los espigones sea menor, o que todos sean empotrados en una longitud que como máximo sea igual a  $L_r + 4$ .

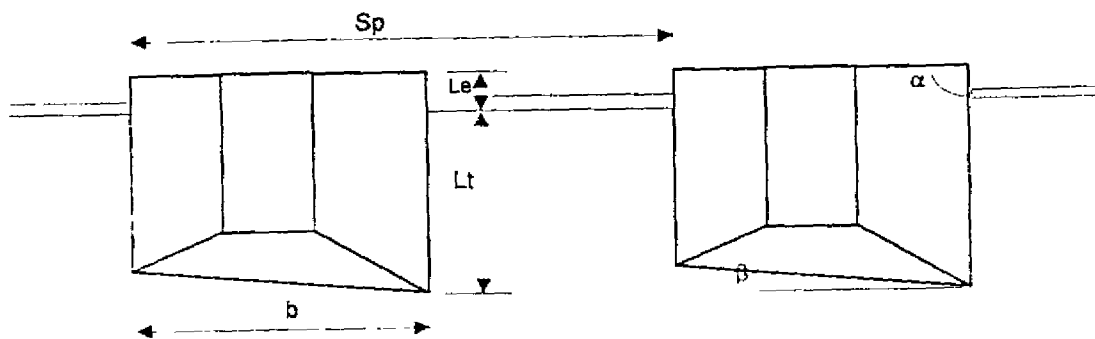
d- Separación de los espigones

La separación entre espigones se mide en la orilla entre los puntos de arranque de cada uno, y depende primordialmente de la longitud del espigón respecto a la orilla de aguas abajo y la ampliación teórica de la corriente ( $\beta$ ) al pasar por el extremo del espigón. El ángulo de esta ampliación es de  $9^\circ$  a  $11^\circ$  (ver figura).

Cuando se requiera construir espigones en tramos rectos y sin empotramientos en la margen, la separación deberá ser: (Ver figura 4.3)

Figura 4.3

Esquema típico de un sistema de espigones



Cuadro 4.3

$\alpha$	Separación $S_p$
90° a 70°	(4.5 a 5.5) $L_t$
60°	(5 a 6) $L_t$

*Si los espigones se empotran una longitud de 0.25  $L_t$  la separación puede variar de 5.1 a 6.3 de  $L_t$ . Cuando se desea efectuar una obra más económica, se pueden separar los espigones 8  $L_t$  en las rectas y al año siguiente, construir espigones intermedios de menor longitud aguas arriba de los que están amenazados o hayan fallado.*

*e- Elevación y pendiente de la corona*

*Se han construido espigones sin pendiente longitudinal hacia el centro del cauce y con pendientes de 0.02 a 0.25. Experimentalmente se han probado espigones con cresta horizontal y con pendientes de 0.1 a 0.5 y 1. Los espigones deberán construirse con pendiente hacia adentro del río. Deberán iniciarse a la elevación del margen a la elevación de la superficie libre al escurrir el caudal promedio. El extremo dentro del cauce deberá tener alturas máximas de 50 cm, sobre el fondo actual. Con ello se logran pendientes de 0.05 a 0.25 que han dado resultados satisfactorios.*

*El construir los espigones con pendientes tan grandes hacia dentro del cauce presenta las siguientes ventajas: no existe prácticamente socavación local en el extremo del espigón; sin el espigón se constuye con caras inclinadas y sus taludes son de 1.5:1, se produce un depósito inmediato y adyacente a su cara de aguas abajo que protege el mismo espigón.*

f- *Angulo de orientación de los espigones respecto a la orilla*

*Los espigones pueden estar dirigidos aguas abajo o aguas arriba, o también ser normales a la corriente. La orientación de los espigones se mide por el ángulo que forma su eje longitudinal con la dirección aguas abajo, de la tangente, referida al punto de arranque desde la orilla. En un tramo recto conviene que los espigones formen un ángulo de 70° con la dirección de la corriente. Orientaciones mayores de 90° obligan a menores separaciones entre los espigones, por lo tanto, a tener un mayor número de ellos para una misma longitud por proteger. Para ángulos entre 70° y 90° la longitud del espigón es prácticamente la misma. Como la corriente no es paralela a las márgenes, para todos los caudales es conveniente que los espigones no sean normales a la orilla.*

g- *Permabilidad del espigón; materiales de construcción*

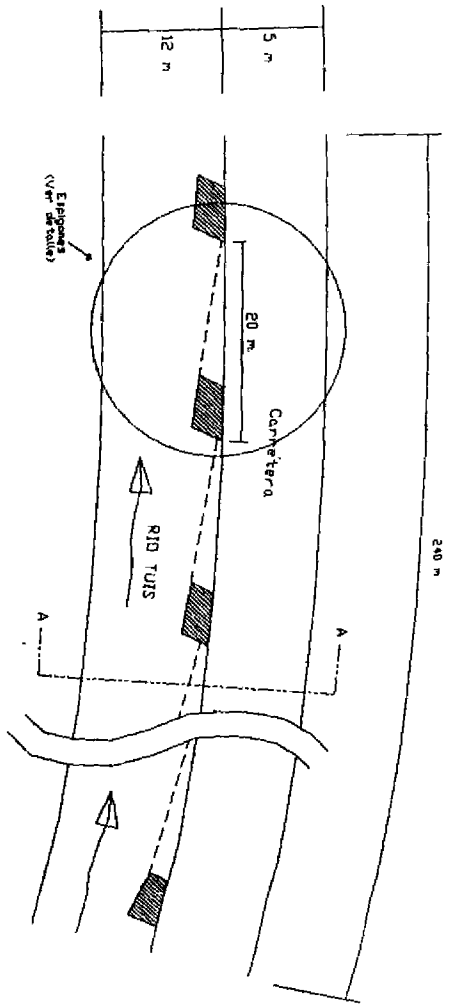
*Los espigones se pueden construir con una gran variedad de materiales, como madera, troncos y ramas de árboles, piedra, elementos prefabricados de concreto, acero y alambre, etc. Los materiales usados en la construcción de los espigones deben ser los suficientemente resistentes para soportar el empuje de la corriente; pero además, el empuje de los troncos árboles y cuerpos flotantes que pueda arrastrar el río. Por esto último, generalmente son destruidos los espigones formados por troncos y ramas de árboles.*

#### *h- Socavación local en los espigones*

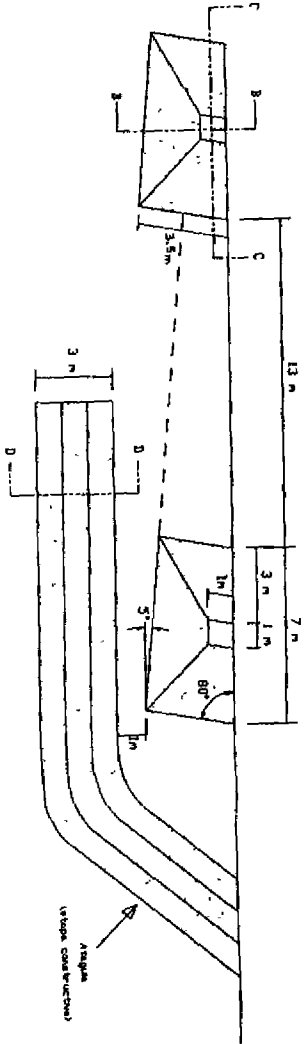
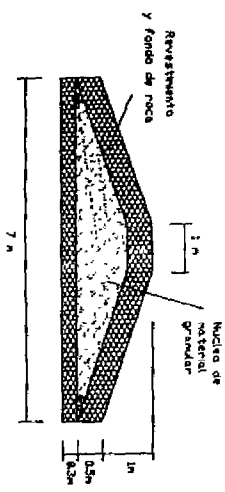
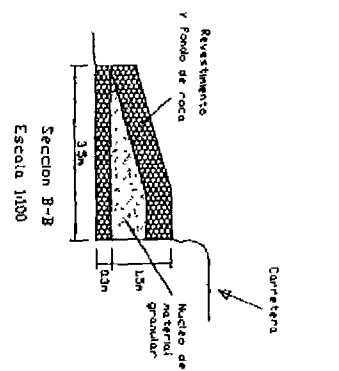
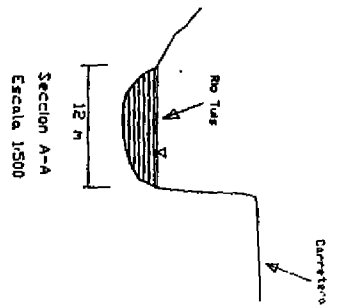
*La socavación local en la punta de los espigones es de importancia durante su construcción, cuando se utilizan elementos que están sueltos entre sí (bolsas, piedras, gaviones, etc). Si la velocidad de la corriente es mayor de 50 cm/s, conviene recubrir el fondo sobre el que descansará el espigón con una capa de piedras de unos 30 cm de espesor, y después construir el espigón de la orilla hacia el centro del cauce. De no colocar ese piso que evita la socavación local durante la construcción, se acumulan mayores cantidades de material. La socavación local en el extremo del espigón deja de tener importancia si el espigón se construye con una fuerte pendiente longitudinal.*

*Uno de los métodos que existen para prevenir la socavación en los bastiones de los puentes, consiste en colocar piedras alrededor del bastión. Para nuestro caso es necesario proteger las márgenes de un río y no una estructura. Sin embargo es posible hacer una analogía entre el método de protección de bastiones y la de la protección de espigones de roca.*

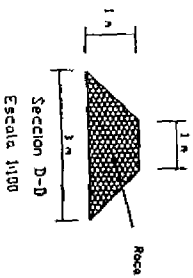
*Es necesario saber si la energía del río es tal que pudiera mover las piedras de su posición en el talud. Por esta razón es necesario determinar cual es el tamaño óptimo de las piedras para que el río no las pueda mover. Por medio de la ecuación 4.1 se determina que el río no tendrá suficiente energía para mover las piedras siempre y*



LOCALIZACION EN PLANITA  
Escala 1:500



DETALLE DE ESPIGON  
Escala 1:200



<b>PROTECCION DE LAS MARGENES DEL RID TUUS</b>	
Marco Antonio Galvo A. Ana Eliana Dincán D. María Fernanda Quesada P. Ingeniería Civil UCR	890680 910920 902879 Escala indicada

cuando el lado derecho de la ecuación sea mayor que el lado izquierdo de la misma.

Esta relación varía básicamente con el diámetro de las piedras. Se suponen esféricas).

$$Q = 2.3 \cdot \sqrt{g} \cdot (w^*/\gamma_s)^{1/6} \cdot [(\gamma_s/\gamma) - 1]^{1/2} \cdot \sqrt{b} \cdot d^{2/3} \cdot D_p^{1/4} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

$w$ : es el peso de la piedra

$b$ : es el ancho del espigón

$D_p$ : es el ancho de la capa protectora

$\gamma_s$ : es el peso específico de la piedra

$\gamma$ : es el peso específico de la arena

$d$ : es la profundidad promedio del cauce

$g$ : la aceleración de la gravedad ( $g = 32.2 \text{ ft}^2/\text{seg}$ ).

Utilizando la ecuación 4.1 con los caudales de diseño se obtiene el tamaño del material para que se este arrastrando o no por el río:

Cuadro Resumen 4.4

Caudal ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )	Socava	No socava
2	-	< 50 cm
5.4	-	< 50 cm
8.01	-	< 50 cm
13.2	< 15 cm	15 - 50 cm
18.8	< 35 cm	35 - 50 cm
29	< 50 cm	-

Tomando en cuenta las recomendaciones anteriores se diseñó un sistema de espigones para un tramo de 240 m. A continuación se presenta un plano que muestra las dimensiones y materiales utilizados para el proyecto, y un presupuesto general de la construcción de la obra.

### PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DE ESPIGONES

Item	Unidad	Cantidad	Precio unit.	Costo Total
<b>1. Costos Directos</b>				
1.1 Limpieza de terreno	m <sup>3</sup>	11.55	6.10	70.46
1.2 Núcleo del espigón (material granular)	m <sup>3</sup>	12.75	8.50	108.38
1.3 Capa de fondo	m <sup>3</sup>	8.40	8.00	67.20
1.4 Revestimiento de roca	m <sup>3</sup>	12.55	15.00	188.25
1.5 Ataguía (etapa constructiva)	m <sup>3</sup>	46.00	8.00	368.00
<b>2. Acarreo (4.5 km)</b>	m <sup>3</sup>	79.70	1.80	143.46
<b>3. Selección de material de relleno</b>	m <sup>3</sup>	12.55	10.00	125.50
Costo por espigón				1071.24
Costo de 12 espigones	\$			12354.88
<b>3. Costo Indirectos</b>				
3.1 Ingeniería y supervisión	10%			1285.49
3.2 Administración y gastos generales	8%			1028.39
3.3 Imprevistos	20%			2570.98

**Costo total de la obra**

**\$17,739.73 dólares**

**¢3,547,946.88 colones**